CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

El arándano o Vaccinium myrtillus es el fruto de una planta arbustiva perteneciente a la familia botánica de las Ericáceas, crece de manera silvestre en las regiones frías de Norteamérica y Europa, en cambio en el hemisferio sur la producciones importantes son en Chile, Argentina, Perú, Sudáfrica y Nueva Zelanda.

Esta baya es rica en antocianinas, pigmento que le otorga un color característico negro azulado, componente que le proporciona una propiedad antioxidante, que ayuda a neutralizar algunos de los radicales libres que pueden provocar daño al ADN, principal causa del envejecimiento y del cáncer. Además, presenta cualidades antibióticas, desinflamantes, reduce niveles de colesterol, infecciones urinarias y enfermedades cardiacas.

El presente estudio surge con la inquietud de desarrollar un producto que mantenga la apariencia del producto fresco, es decir, intentar conservar unas características de calidad semejantes a las del producto sin procesamiento como son color, textura y demás características organolépticas, junto con su calidad microbiológica. La finalidad de este proyecto es demostrar la industrialización del arándano al darle valor agregado por medio de la deshidratación osmótica.

A nivel mundial, Canadá y Estados Unidos son los principales productores de arándano ocupando un 95% de la producción mundial entre ambos países. A continuación se expone datos de la producción mundial de arándanos en el 2013, de acuerdo a las cifras publicadas por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

Tabla I-1 Producción mundial de arándano en toneladas, 2013

Países	Producción (toneladas)
Estados Unidos	239.071
Canadá	109.007
Polonia	12.731
Alemania	10.277
México	10.160
Francia	9.011
Países Bajos	5.498
España	5.000
Suecia	2.888
Nueva Zelanda	2.718

Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

Historia del arándano

El arándano es una baya silvestre muy antigua que crece originariamente en el norte de Europa y América. Los arándanos silvestres forman parte de la dieta en la fauna norteamericana para osos y distintas variedades de pájaros. En Europa a partir del año 1800 se empezó a consumir el arándano como fruta.

La norteamericana Elizabeth White fue la primera comerciante de arándanos, quien se adjudicó una gran variedad de plantas de origen silvestre que fueron sometidas a un proceso investigativo, proceso en el cual se pudo concluir que los arándanos necesitan un suelo ácido y de buen drenaje para su producción. De igual manera, innovó una técnica de multiplicación asexual, la cual fue usada como información base para el botánico Frederick Corville del departamento de agricultura de EE.UU, trabajando de manera conjunta con la señora White llegando así al año 1969 a obtener 30 variedades de arándanos, algunas de las cuales se cultivan hasta nuestros días.

Situación del arándano en Bolivia

Bolivia no es conocida por la producción de arándanos, dado que este fruto es originario de las zonas frías del hemisferio norte; sin embargo en el año 2006 por encargo de la Gobernación de Tarija con apoyo de la Fundación Valles, se realizó una investigación de adaptar el cultivo de arándanos en el Valle Central de Tarija, siendo una nueva alternativa productiva.

El inicio productivo de arándano en el Valle Central de Tarija fue en el año 2007, cuando se usaron 6 variedades de plantines importados de Argentina; a partir de ello se encontró que el tipo de arándano que más se adapta a las condiciones de suelo y clima de Tarija es el arándano "ojo de conejo" (rabbiteye) puesto que necesita menos requerimiento de frío**.**

Para el año 2010 se identificó al municipio de Entre Ríos (capital de la provincia O'Connor a 110 kilómetros de la ciudad de Tarija) como la zona de cultivo que cumple con las condiciones de clima y suelo lo suficientemente ácido, para otorgarle los nutrientes necesarios a fin de que el arbusto se desarrolle de manera óptima.

Actualmente la producción de arándanos en el Valle Central de Tarija es de 3.6 hectáreas distribuidas en pequeñas parcelas en las zonas de Canasmoro, Tomatas Grande, Tolomosa, La Victoria, Coimata, San Lorenzo, Turumayo y El Valle de la Concepción. En referencia a la provincia O'Connor: Entre Ríos, la producción es más elevada que en el Valle Central de Tarija, llegando a 14 hectáreas. La producción que se obtiene por hectárea cultivada de arándano es de 6 a 8 toneladas. *(La fuente que proporcionó los datos: Ing. Sergio Martínez, Gerente General de Marcal Productores).*

La cosecha del arándano en estas regiones se realiza dos veces al año, entre los meses de septiembre a diciembre y de abril a mayo. A partir del primer año la producción es mínima, en el segundo año se alcanza a tener entre un 20 y un 30 por ciento, y al tercer año se llega a un 50 por ciento de la producción.

El arándano producido en el municipio de Entre Ríos es distribuido a todo Bolivia, teniendo como mercado principal los departamentos de La Paz, Santa Cruz y Cochabamba, distribuyendo este fruto a supermercados, gimnasios, spas, restaurantes y hoteles. Incluso es vista con buenos ojos una futura exportación.

Actualmente se está implementando un proyecto de producción de arándano, en la zona de Valle del Medio ubicada en el municipio de Entre Ríos. El presente proyecto busca alcanzar una superficie de 50 hectáreas de cultivo, utilizando plantines importados desde Argentina. La producción de este proyecto se ve con fines de exportación abarcando un 70%, y un 30% para el mercado local. *(Fuente otorgada por el Ing. Cimar Rocha)*

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Deshidratar Arándano de la variedad Misty a escala de laboratorio, mediante el método de deshidratación osmótica.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar la caracterización física y química del Arándano (variedad Misty), que se empleará para la deshidratación osmótica.
- Efectuar los ensayos experimentales para optimizar las variables de operación en la deshidratación osmótica.
- Optimizar mediante ensayos experimentales las variables de operación en el secado por aire.
- Efectuar el análisis organoléptico del producto deshidratado.
- Caracterizar física y químicamente el producto deshidratado obtenido.

JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Debido a que el arándano es un fruto cuyo consumo se encuentra en incremento tanto a nivel departamental como nacional, se buscan alternativas de procesamiento con el fin de incorporar un valor agregado al producto, entre estas se puede mencionar la elaboración de jugos, concentrados, colorantes y su conserva como fruto deshidratado.

Si bien la producción de arándano en el país no es elevada, se están realizando proyectos de plantación que aumentará de manera significativa la producción de este fruto. Al darle un valor agregado a los arándanos, producirá una nueva fuente de ingresos económicos, proyectando una futura exportación del producto.

La deshidratación osmótica es un método para conservar alimentos que ofrece muchas ventajas, principalmente en el sentido de la conservación de propiedades nutricionales y organolépticas, lo cual permite extender la vida útil del arándano favoreciendo su consumo durante todo el año, y así aprovechar las cosechas de arándano realizadas en el departamento. Otra de las ventajas de este proyecto es que al contar con frutos deshidratados, se produce una reducción de su peso y su volumen, facilitando su almacenamiento, empacamiento, manipulación y transporte.

En relación a otro tipo de proceso, la deshidratación osmótica resulta favorable al aplicar a este fruto en estudio como lo es el arándano, debido a su composición nutricional que se puede ver afectada al usar otro método.

Esta nueva tecnología de conserva, es una alternativa viable de industrialización, que cuenta con baja inversión inicial de equipos, además permitirá reducir las pérdidas de la post cosecha y contribuirá a fomentar a la producción de arándano, generando nuevas fuentes de trabajo de manera directa e indirecta.

El arándano deshidratado actualmente es importado desde Estados Unidos, siendo una buena oportunidad de competir permitiendo reducir los niveles de importación y convertirse en una fuente de mercado segura para los productores agrícolas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Importancia del arándano

El arándano es considerado una "súper fruta" o también llamada la "fruta del siglo XXI" teniendo en cuenta que contiene varias propiedades y atribuye diversos beneficios a la salud, una de las más destacadas es su capacidad antioxidante por su alto contenido en antocianinas, que evita que los radicales libres que se producen en esta reacción dañen a las células, ayudando a prevenir enfermedades cardiacas, cáncer, envejecimiento y Alzheimer.

Además, según los estudios realizados, el arándano es considerada una fruta con alto valor nutricional, dado que contiene niveles bajos de colesterol, grasas y sodio y rico en fibras, vitamina C, colágeno, potasio, hierro y calcio, siendo de esta manera una fruta con propiedades desinfectantes, desinflamatorias y antibióticas.

En el siguiente cuadro se puede observar algunos de los beneficios de los componentes de este fruto.

Cuadro II-1 Beneficios de los compuestos del arándano

Compuestos	Propiedades Asociadas
Antocianina	Antioxidante, reductor de riesgos cardiovasculares, envejecimiento y cáncer
Vitamina C	Potencia el sistema inmunológico y reduce cuadros de anemia
Fibras	Mejora el tratamiento intestinal
Glucósidos (mirtillinas)	Optimiza sobre la salud visual, ayuda a prevenir el avance de cataratas
Taninos	Antiinflamatorios
Colágeno	Proteína importante que fortalece tendones, ligamentos y cartílagos y huesos.
Ácido gálico, málico y quercitina	Impide la reproducción de bacterias (Bacteriostáticos) previniendo infecciones urinarias, inflamaciones gastrointestinales, gastroenteritis y enfermedades en las encías

Fuente: Elaboración propia a partir de Centro de Información y Formación Agrarias.

El consumo mundial del arándano fue incrementado debido a sus propiedades nutritivas y terapéuticas, además de poseer un agradable sabor ácido y refrescante, teniendo a Japón, Inglaterra, Holanda y Bélgica entre los países con mayor demanda de arándano en el mundo. El mercado de este tipo de frutos denominados “berries” que se encuentra el arándano, cereza, frambuesa, mora y ciruela entre otros, es muy competitivo y a la vez muy versátil, teniendo en cuenta que se pueden consumir tanto como frutos frescos, extractos, jugos, dulces, zumos o alimentos procesados como helados y postres. De tal manera se puede considerar a este fruto de relevante importancia en el ámbito económico.

Desde el punto de vista ecológico esta planta es de suma importancia ya que protege el suelo de la erosión.

2.2. Características del arándano

El arándano es un arbusto cuyo tamaño puede alcanzar alturas entre 3 a 5 metros cuando se encuentra en estado de madurez, dependiendo su tipo. El fruto es una baya esférica con un tamaño aproximado 0.7 cm, llegando a alcanzar tamaños de 1.8 cm de diámetro, presenta un color desde azul claro hasta negro. Para el óptimo desarrollo del fruto, el suelo debe contener las condiciones de pH entre 4.0-5.0 y una buena porosidad.

En la tabla II-1 se presenta datos relevantes de caracterización para el arándano respecto a sus propiedades nutricionales.

Tabla II-1 Propiedades nutricionales del arándano

Componente	Valor nutricional en base 100g.
Agua	87.4 g.
Proteínas	0.3 g.
Fibras	1.7 g.
Calorías	42 kcal.
Vitamina A	30 UI
Vitamina B1	0.014 mg.
Vitamina B2	0.0024 mg.
Vitamina B6	0.012 mg.
Vitamina C	12 mg.
Ácido nicotínico	0.2 mg.
Ácido pantotónico	12 mg.
Sodio	2 mg.
Potasio	72 mg.
Calcio	14 mg.
Magnesio	6 mg
Manganeso	0.5 mg.
Hierro	0.5 mg.
Cobre	0.26 mg.
Fósforo	10 mg.
Cloro	4 mg.

Fuente: Infoagro, "El cultivo del arándano"; The Cranberry growing.

En la tabla II-2 se expone los datos de los componentes principales del arándano.

Tabla II-2 Composición química del arándano cultivado para 100g.

Nutriente	Cantidad por cada 100g.
Humedad	84.6 g.
Proteína	0.6 g.
Grasa	0.6 g.
Ceniza	0.3 g.
Azúcares	6.0 g.
Fibra dietética total	4.9 g.
Ácidos orgánicos	1.4 g.

Fuente: Senser y Scherz, 1999.

En la siguiente tabla se muestran las características químicas del arándano como ser el pH, °Brix, acidez y cantidad de antocianinas.

Tabla II-3 Características químicas del arándano

Parámetro	Unidad
pH	2.85 – 3.49
Acidez titulable (%) expresado como ácido cítrico	0.40 – 1.31
Sólidos solubles (°Brix)	11.20 – 14.30
Total antocianinas (mg)	84.00 – 270.00

Fuente**:** Angladn, 1994, Sapers, 1984.

2.3. Clases de arándanos

Entre las especies de arándanos se puede citar:

2.3.1. Arándano alto (Highbush)

Fue la primera especie que se introdujo en el cultivo, originario de la costa este de América del norte, puede alcanzar alturas de hasta 2.5 m. Este tipo de arándano fue sometido a varios procesos de mejoramiento genético, obteniendo 50 variedades diferentes, siendo así el tipo de arándano de mejor calidad en cuanto a tamaño y sabor (Muñoz, 1999).

A continuación en la figura 2-1 se puede observar el tipo de arbusto Highbush.

Figura 2-1 Arbusto de arándano Highbush

Fuente: Elaboración propia.

2.3.2. Arándano “ojo de conejo” (Rabbiteye)

Es el tipo de arándano con la domesticación más reciente, originaria del sur de América del norte, puede alcanzar alturas de hasta 4 m. Se puede destacar que esta clase tiene una tolerancia a un pH de suelo más alto, mayor resistencia a la sequía y una mayor producción y mejor conserva del fruto luego de la cosecha. Esta variedad se produce en el departamento de Tarija, considerando que necesita menos requerimiento de frío para su maduración (Muñoz, 1999).

En la figura 2-2 se puede apreciar el arbusto del arándano “ojo de conejo” (Rabbiteye).

Figura 2-2 Arbusto de arándano Rabbiteye

Fuente: González, 2009.

2.3.3. Arándano bajo (Lowbush)

Como su nombre lo indica el arbusto de arándano Lowbush crece cerca del suelo, es una especie aún silvestre originaria del norte de Europa y del sur de Canadá. Tiene importancia comercial debido a que su fruto se recolecta de los lugares en los que este crece en forma natural. El fruto es pequeño, pero apreciado por la industria

conservera por su peculiar aroma, sabor y su característico color azul oscuro a pesar de su reducido tamaño. Es una especie diploide que alcanza un tamaño máximo de 50 cm y que forma matorrales densos debido a la naturaleza de sus tallos rastreros (Muñoz, 1999).

En la figura 2-3 se puede observar el arbusto de arándano bajo (Lowbush).

Figura 2-3 Arbusto de arándano Lowbush

Fuente: González, 2009.

2.3.4. Vaccinium macrocarpon o Cranberry

También conocido como arándano rojo, es un arbusto cuya altura ronda entre los 10 y 20 cm, cuenta con tallos finos y pequeñas hojas. Nativo de Estados Unidos donde es utilizado en la elaboración de jugos, jaleas y mermeladas. El fruto es una baya auténtica de tamaño superior al de las hojas. Es inicialmente blanco, pero se vuelve rojo intenso al madurar. Es comestible con un sabor ácido que puede enmascarar su dulzor (Muñoz, 1999).

En la figura 2-4 se puede apreciar el arbusto del arándano Cranberry.

Figura 2-4 Arbusto de arándano Cranberry

Fuente: Acosta, 2015.

2.4. Conservación de frutos a través de la deshidratación

La deshidratación es uno de los métodos de conserva de alimentos más antiguos y utilizados. El objetivo principal de esta metodología es reducir el contenido de humedad de los alimentos, lo cual disminuye la capacidad de los microorganismos para desarrollarse, extendiendo su vida útil (Fellows, 1998).

Además, este método le añade un valor agregado a la materia prima utilizada y reduce los costos de transporte y distribución por la reducción de peso y volumen.

Asimismo, la deshidratación es el método más barato de conserva, especialmente apto para comunidades que no cuentan con posibilidades de conserva como freezers.

Una vez culminado el proceso de deshidratado, se pueden apreciar cambios físicos como encogimiento, endurecimiento y oscurecimiento, este último ligado por las reacciones de oxidación. De igual manera, pueden presentarse cambios químicos que afectan al sabor, viscosidad y valor nutritivo Estos cambios dependen del tipo de alimento, su composición y el método utilizado para la deshidratación.

2.5. Alteraciones en los alimentos deshidratados

Acabado el proceso de deshidratación del alimento, se producen cambios en su textura, aroma, color y valor nutritivo.

2.5.1. Textura

La pérdida de textura es el parámetro más visible de los alimentos deshidratados, es provocada por tensiones internas generadas por variaciones de contenido de agua que se encuentra en el interior del alimento. Estas tensiones dan lugar a roturas y compresiones que provocan distorsiones permanentes en las células, dándole al alimento un aspecto arrugado.

En la rehidratación estos alimentos absorben agua más lentamente y no llegan a adquirir de nuevo la textura firme característica de la materia prima original.

La variación en la textura depende de la temperatura, al usar temperaturas elevadas los cambios son más pronunciados que con temperaturas más bajas.

2.5.2. Aroma

Al aplicar calor en un proceso de deshidratación no solo provoca el cambio de agua a vapor, sino también la pérdida de algunos componentes volátiles del alimento. La pérdida de estos componentes depende de la temperatura de trabajo, la presión de vapor de los componentes volátiles y su solubilidad en el vapor de agua. Por ellos es recomendable deshidratar a bajas temperaturas, aquellos alimentos como hierbas, frutas y especias, de manera que conserven sus características aromáticas.

2.5.3. Color

Factores como la temperatura y las reacciones oxidativas, generan cambios químicos que se producen en los pigmentos como los carotenoides, clorofilas, antocianinas, β alaminas, entre otros. Las reacciones oxidativas se generan por la presencia de oxígeno, como consecuencia de la estructura porosa que se desarrolla durante la deshidratación.

Una manera de evitar o reducir que los alimentos tomen una tonalidad pardeada luego del proceso de deshidratado, es el escaldado como tratamiento previo a la desecación. En el caso de las frutas se realiza un tratado con ácido ascórbico para evitar su oxidación.

2.5.4. Valor nutritivo

La pérdida de vitaminas viene en función de su solubilidad en agua. Por ejemplo, el ácido ascórbico (vitamina C) se mantiene disuelto hasta que el contenido de agua en el alimento es muy bajo. La vitamina C también es sensible al calor y la oxidación, por ello los tiempos de deshidratación deben ser cortos. En cambio, otros nutrientes liposolubles son más estables a la oxidación y al calor, además están presentes en su mayor parte en la materia seca del alimento, por lo que su pérdida no se ve afectada durante la deshidratación.

Los metales pesados se encuentran disueltos en la fase acuosa del alimento; a medida que se elimina el agua, aumentan su reactividad, actuando como catalizadores de reacciones de oxidación de algunos nutrientes.

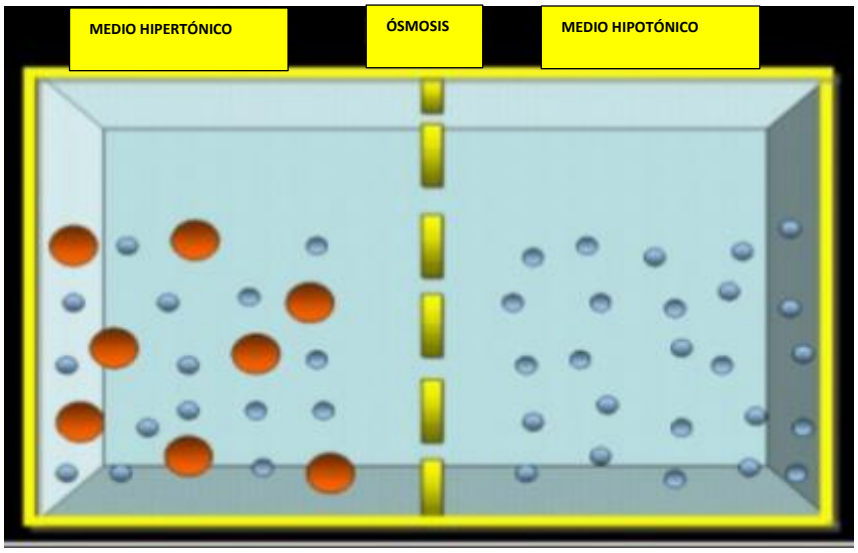
2.6. Proceso de deshidratación osmótica

2.6.1. Ósmosis

En primer lugar, para conocer el concepto de ósmosis, debemos aclarar qué se entiende por **difusión.** La difusión es un proceso físico por el cual dos cuerpos en contacto se van mezclando por sí mismos, debido a la energía cinética que presentan las moléculas que se encuentran en movimiento continuo.

La ósmosis es el fenómeno de difusión de una solución por medio de una membrana semipermeable, esta membrana no permite el paso de las moléculas de soluto, solo de las moléculas del disolvente. Estas moléculas se difunden desde la solución de menor concentración (hipotónica) hacia la de mayor concentración (hipertónica). Se dificulta el paso de las moléculas del disolvente de la solución hipertónica, puesto que en su camino se encuentra una mayor cantidad de moléculas de soluto ocupando varios espacios que les impiden pasar. Por lo tanto, el flujo se da en sentido contrario.

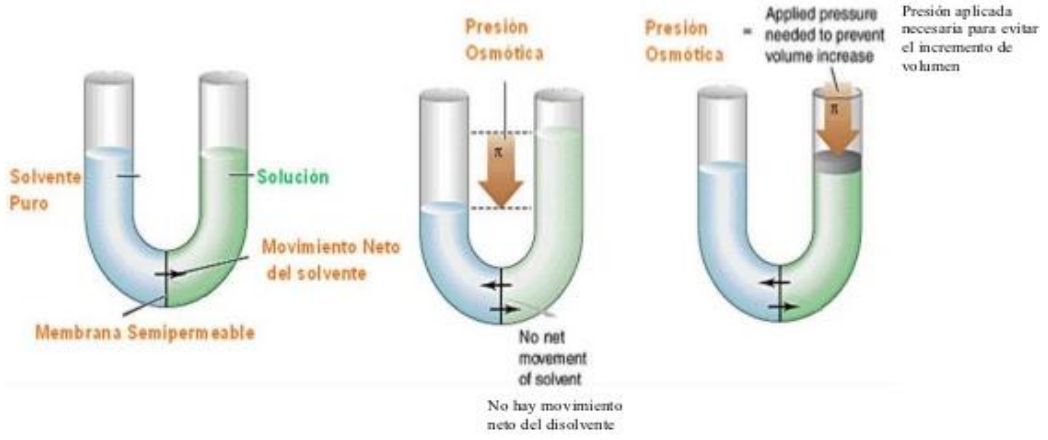
Figura 2-5 Fenómeno de ósmosis en medio hipertónico e hipotónico



Fuente: Procesosbio, 2012.

Al haber un flujo del disolvente a partir de la solución menos concentrada hacia la solución de mayor concentración, generará una diferencia de niveles entre ambas soluciones que se encuentran separadas por la membrana; en consecuencia a esto, la solución de mayor concentración ejerce una presión para detener el flujo del disolvente a través de la membrana y evitar el incremento de volumen; a esta presión ejercida se denomina como presión osmótica.

Figura 2-6 Efecto de la presión osmótica



Fuente: Infobiología, 2011.

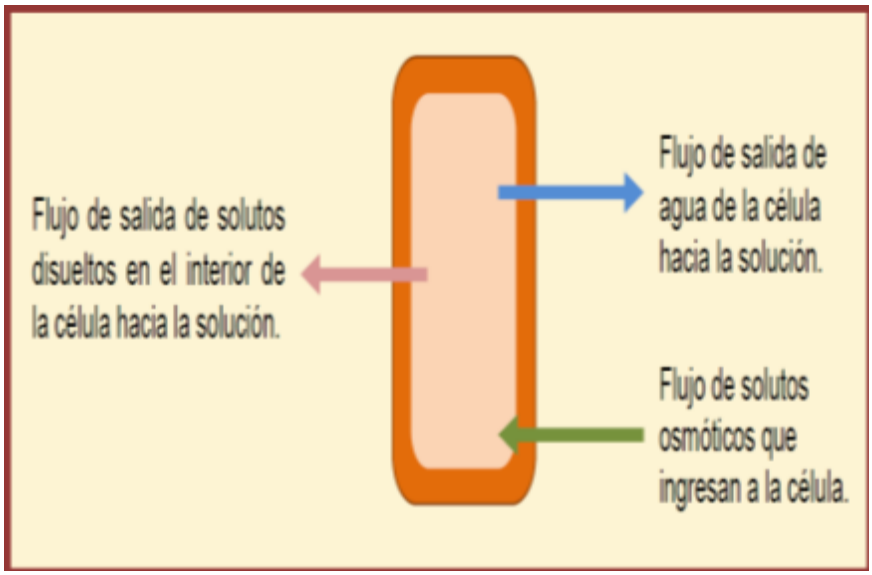
2.6.2. Deshidratación osmótica

La deshidratación osmótica **(DO)** es una técnica de remoción de agua, el proceso consiste en la inmersión de un producto alimenticio, un una solución hipertónica (presión osmótica mayor con respecto al material) provocando la transferencia de masa generada por diferencias de concentraciones. (Lenart y Flink, 1984; Molano, Serna y Castaño, 1996).

En consecuencia, se producen dos fenómenos de transferencia de masa:

1) Difusión o flujo de agua desde el interior del alimento hacia la solución hipertónica, donde la fuerza impulsora es la presión osmótica.
2) Difusión del soluto desde la solución hacia el interior del alimento, donde la fuerza impulsora es la diferencia de concentraciones.

Figura 2-7 Diagrama de transferencia de masa que ocurre en las células de los alimentos durante la deshidratación osmótica



Fuente: Suca Apaza Carlos Alberto, 2010.

Este proceso ocurre por medio de las membranas del alimento. Estas son semipermeables y permiten el paso del agua y muy poco el paso del soluto, produciéndose como efecto neto la pérdida del agua por parte del producto.

Cabe recalcar que la deshidratación osmótica ha sido utilizada como tratamiento previo a la liofilización y al secado de alimentos. Este método no es de gran requerimiento energético, por lo que no se precisa de elevadas temperaturas, de manera que no afecta al color, aroma, textura y sabor del alimento.

La remoción de agua durante la deshidratación por ósmosis se puede dar en dos etapas dependiendo del tipo de alimento:

- La primera etapa que dura aproximadamente dos horas, donde se deshidrata el alimento a mayor velocidad.
- La segunda etapa entre dos a seis horas, con una remoción de agua en decrecimiento.

2.7. Factores que afectan a la deshidratación osmótica

No todos los alimentos reaccionan de igual forma ante este proceso; los siguientes factores nos ayudarán a entender más sobre la cinética y la distribución de ganancia de sólidos en este proceso.

Los factores que influyen a la deshidratación osmótica pueden ser de dos tipos, intrínsecos y extrínsecos:

2.7.1. Factores intrínsecos

Son aquellos factores físicos y químicos que actúan dentro del alimento; el factor más destacado es la **naturaleza del alimento**. Los alimentos al ser derivados de organismos vivos, están compuestos por una estructura celular que le otorga la textura característica del alimento.

En los alimentos se puede encontrar una gran variabilidad relacionada con la compactación del tejido, contenido de sólidos solubles e insolubles, espacios intercelulares, presencia de gas, nivel de gelificación, etc. La compactación del alimento es una característica importante que esta está ligada con la densidad y la porosidad. Estudios realizados demostraron que a una mayor porosidad del tejido, se tiene una mayor permeabilidad; por tanto, aumenta la velocidad de transferencia de masa, y a su vez el proceso de DO (Suca Apaza Carlos Alberto, 2010).

2.7.2. Factores extrínsecos

Son aquellos factores que actúan fuera del alimento y que influyen en el proceso de deshidratación osmótica como ser: temperatura, tiempo de proceso, relación solución-alimento, agitación, presión, tamaño, concentración de la solución deshidratante y el pH de la solución.

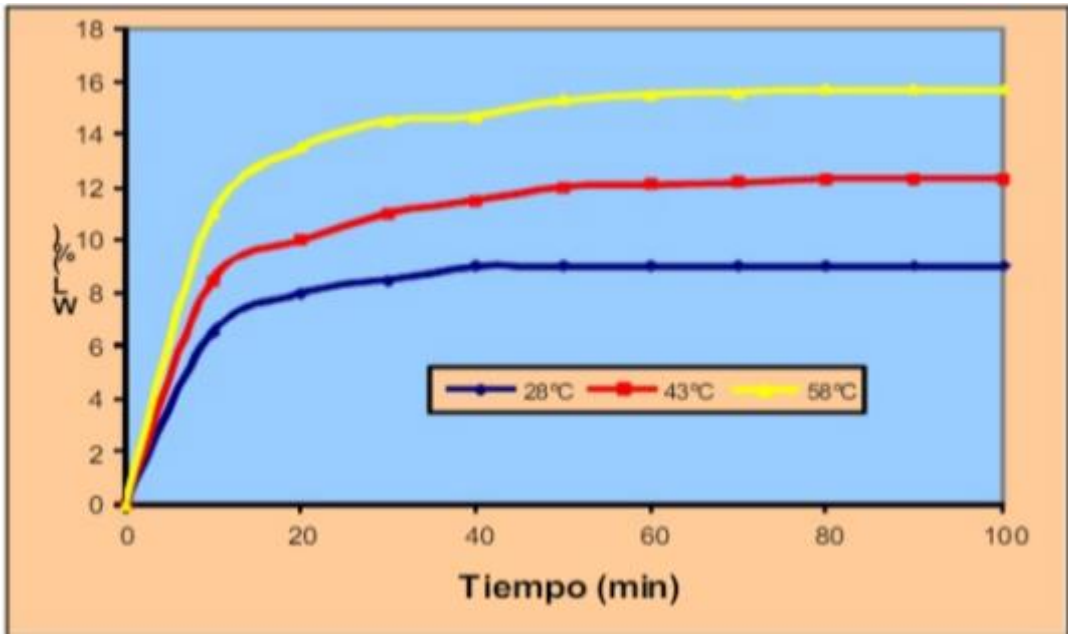
2.7.2.1. Temperatura

Las temperaturas de trabajo en este proceso rondan entre 20 y 60 °C. Al haber un aumento de temperatura, disminuye la viscosidad de la solución osmótica y ello promueve a que ésta fluya con mayor facilidad sobre el tejido del alimento. De igual forma produce cambios en la permeabilidad de la pared celular, generando una mayor velocidad de deshidratación, puesto que existe una mayor movilidad de las moléculas y pérdida de selectividad de la membrana, la cual permite un mayor intercambio de agua que sale del alimento, pero también un mayor ingreso de solutos de la solución deshidratante. Este fenómeno se debe a que hay un contacto más íntimo entre el alimento y la solución, que por acción del calor reduce su viscosidad y las paredes de las células.

Por otro lado, las temperaturas superiores a los 60 °C pueden afectar al tejido del alimento, causando pardeamiento, pérdidas de compuestos aromáticos o vitaminas, entre otros. Algunos parámetros usados de temperatura son de 25 °C, 30°C y 40°C.

Comparado con otros procesos como el secado y la liofilización, la deshidratación osmótica es más rápida debido a que la eliminación de agua ocurre sin cambio de fase (Ibarz, 2005).

Figura 2-8 Efecto de la temperatura del jarabe sobre la pérdida de agua (WL) a concentración constante



Fuente: Journal of Food Engineering, Gupta Mathematical Modeling of Mass Transfer in Osmotic Dehydration of Onion slices, 2007.

2.7.2.2. Tiempo del proceso

El tiempo de proceso está en función a las características del alimento y las condiciones de deshidratación. La pérdida de agua y la ganancia de sólidos son mayores durante las primeras horas de proceso, luego disminuye drásticamente como consecuencia de la disminución de la presión osmótica. Sin embargo, se ha encontrado que la transferencia de masa no es significativa después de 4 a 5 horas (Lenart y Flink, 1984).

2.7.2.3. Relación solución osmótica-alimento

Esta relación nos expresa la cantidad de solución requerida por unidad de peso de alimento a deshidratar.

Este factor es muy importante en el proceso de DO. Cuando se produce la inmersión del alimento en el jarabe, este empieza a eliminar agua a una velocidad proporcional al nivel de concentración de la solución. El agua se diluye en la solución osmótica a

la misma velocidad con que fluye desde el alimento, provocando un descenso de la concentración del jarabe, creando pérdidas en la productividad y rentabilidad del proceso.

Una forma de mantener constante la concentración de la solución osmótica es utilizando relaciones altas de solución-alimento, del orden 5:1, esta medida es viable a nivel laboratorio.

2.7.2.4. Agitación

La agitación es una operación física que hace la solución osmótica más uniforme, obteniendo así una mayor transferencia de masa.

A medida que el alimento se deshidrata, este se rodea de su propia agua, donde la diferencia de concentraciones entre la pared celular del alimento y la solución osmótica es menor, con lo que disminuye la velocidad de salida del agua. Si se cuenta con un sistema de agitación, el agua es removida y no entra en contacto con la pared celular del alimento, ese espacio es reemplazado por jarabe concentrado, donde la diferencia de concentraciones es mayor, generando un aumento de la velocidad de deshidratación.

El nivel de agitación va desde 80 a 120 rpm. La configuración del rodete y la velocidad de agitación no deben dañar el tejido alimentario (Suca Apaza Carlos Alberto, 2010).

2.7.2.5. Geometría y tamaño del producto

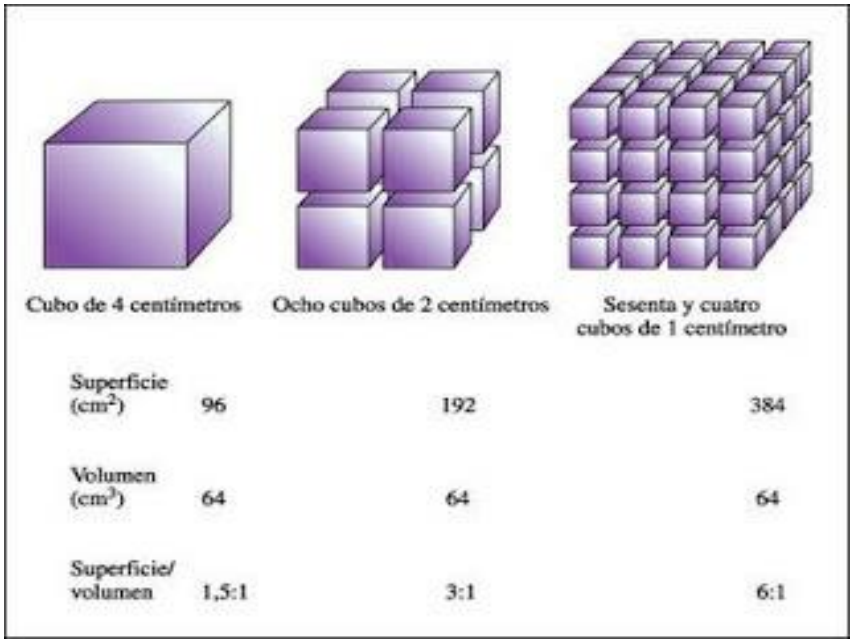
Dependiendo de la geometría y del tamaño del alimento, habrá una variación en su superficie por unidad de volumen expuesta a la solución osmótica.

Al tener productos de menor tamaño, la superficie por unidad de volumen aumenta, por lo que será mayor el área de contacto con la solución, por consiguiente, será mayor la velocidad de deshidratación.

En cambio, al contar con un producto con tamaños superiores, la superficie por unidad de volumen disminuye, reduciendo la pérdida de agua.

Ambos fenómenos se pueden apreciar de mejor manera en la siguiente figura, donde se observa un cubo que al tener mayor cantidad de cortes, aumenta su superficie de contacto.

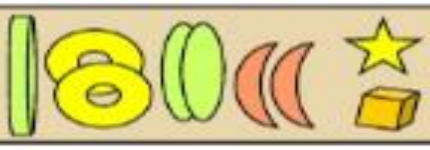
Figura 2-9 Relación superficie-volumen



Fuente: Curtis, Helena; Barnes “Biología”.

Para obtener mejores resultados, también es necesario que las unidades trozadas de alimento sean de la misma geometría y del mismo tamaño. El siguiente cuadro expone algunas formas en las que se puede reducir el tamaño de distintos tipos de alimentos.

Cuadro II-2 Distintas geometrías de reducción de tamaño en alimentos

Alimento	Geometria	Ejemplificación
Piña, melón, papaya	Cubos	
Bayas, frambuesas, fresas, moras, grosellas, ciruelas, duraznos.	Enteras o mitades.	
Pera, manzana, kiwi, pomelo, mango, piña, papaya, plátano, carambola	Rodajas, cubos.	
Manzana, piña	Cubos, tiras.	
Cebollas, pimientos	Cubitos	
Patatas, camote	Rodajas, tiras, cubos	
Carnes rojas	Paquetes musculares, filetes	
Carnes de pescado	Tiras, filete	

Fuente: Suca Apaza Carlos Alberto, 2010.

2.7.2.6. Presión

El proceso de deshidratación se puede acelerar al aplicar presiones de vacío; bajo estas condiciones se presentan un fenómeno llamado mecanismo hidrodinámico (HDM) el cual ocurre por las diferencias de presiones que se genera entre la parte interna de los poros del alimento y la fase líquida externa, provocando la salida de gases atrapados en los poros y el ingreso de solución osmótica a la estructura porosa del alimento, favoreciendo de esta manera la cinética de transferencia de masa.

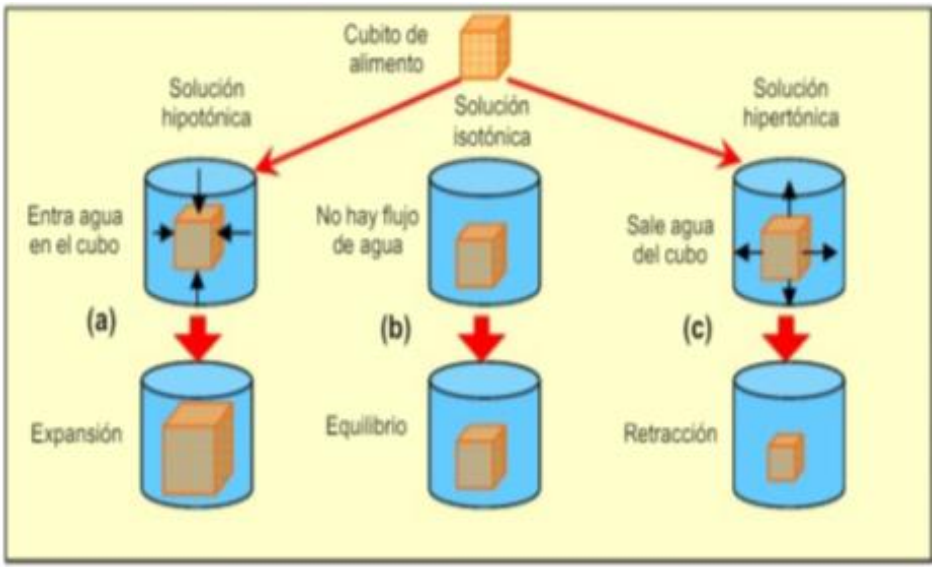
2.7.2.7. Concentración de la solución osmótica

El incremento de la concentración de la solución osmótica, favorece a la pérdida de agua. Mientras mayor sea la concentración de la solución, mayor será la diferencia de presión osmótica entre ésta y el producto, lo cual aumentará la velocidad de salida de agua del producto. Sin embargo se debe tener en cuenta que al usar soluciones con concentraciones muy altas, puede causar la formación de una capa sobre la superficie del producto, dificultando la pérdida de agua (Suca Apaza Carlos Alberto, 2010).

La solución osmótica según su concentración puede ser de 3 tipos:

- Solución hipotónica: aquella que tiene baja concentración de sólidos con respecto al producto a deshidratar.
- Solución isotónica: aquella que tiene una concentración de sólidos igual a la del producto a deshidratar.
- Solución hipertónica: es la que tiene una mayor concentración de soluto de terminado en relación al producto a ser deshidratado, y es el usado en la deshidratación osmótica (Suca Apaza Carlos Alberto, 2010).

Figura 2-10 Efecto del tipo de concentración de las soluciones sobre los alimentos tratados por ósmosis



Fuente: Suca Apaza Carlos Alberto, 2010.

2.7.2.8. pH

El pH de la solución: la acidez de la solución aumenta la pérdida de agua de modo que se producen cambios en las propiedades y en la textura de las frutas y vegetales, facilitando así la eliminación de agua (Della, 2002).

2.8. Comportamiento microbiano en función de la a_w del alimento

El desarrollo microbiano en los alimentos está condicionado por diversos factores: Extrínsecos e intrínsecos. Los factores ambientales como temperatura, humedad relativa y atmosférica son catalogados como extrínsecos. La actividad del agua a_w es uno de los factores intrínsecos, teniendo además el pH y la composición del alimento (Freitas, 1987).

La actividad de agua es la relación que existe entre la presión de vapor del alimento en relación a la presión de vapor de agua pura a la misma temperatura. La actividad de agua se encuentra relacionada con la humedad del alimento y la conserva de este debido a la proliferación o incremento microbiano (Freitas, 1987).

Uno de los factores que limita el crecimiento de las formas vegetativas bacterianas, hongos, levaduras y la germinación de esporas, es la actividad de agua. La a_w es una medida de la disponibilidad de agua necesaria para el crecimiento y desarrollo de microorganismos. Por lo tanto, a medida que la actividad de agua incrementa, el deterioro de los alimentos es más significativo (Sajur, 1985).

La actividad de agua se puede reducir:

- Aumentando la concentración de solutos en la fase acuosa de los alimentos mediante la eliminación de agua.
- Adición de nuevos solutos como sal o azúcar, el cual captura o absorben el agua de los alimentos, ocasionando que el agua no esté disponible para el crecimiento de microorganismos.

Mientras más alta sea la a_w y más se acerque a 1, que es la del agua pura, mayor será su inestabilidad. En general, el límite inferior de actividad de agua para el crecimiento

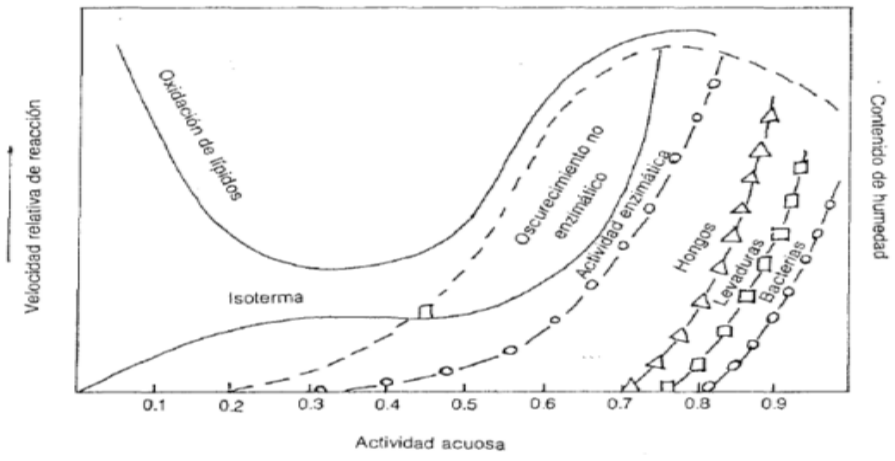
microbiano es 0.9 de la mayoría de las bacterias, 0.87 para la mayoría de las levaduras, 0.8 para la mayoría de los hongos y 0.7-0.8 el límite de a_w para el desarrollo de mohos.

Los alimentos en función de la actividad acuosa pueden clasificarse en:

- Alimentos de baja actividad acuosa ($a_w < 0.6$), microbiológicamente estables y sin evidenciar cualquier proceso de deterioro microbiano (Freitas, 1987).
- Alimentos de alta actividad acuosa ($a_w > 0.85$), permitiendo el crecimiento de una amplia variedad de microorganismos y siendo altamente perecibles (Freitas, 1987).
- Alimentos de actividad acuosa intermedia, involucrando una serie de productos naturales o parcialmente deshidratados, con niveles de humedad entre 20% a 50% y una actividad acuosa que se encuentra entre 0.6 y 0.85. Estos son más estables que los productos de alta actividad acuosa, pero también estarán sujetos a procesos de deterioración, provocados principalmente por mohos y levaduras (Freitas, 1987).

Puede observarse la importancia de la actividad del agua para la estabilidad de los productos alimenticios, además que la velocidad relativa de alteración no es siempre proporcional a la actividad acuosa, como se puede apreciar en la siguiente figura.

Figura 2-11 Velocidad de alteración de los alimentos, en función de la a_w



Fuente: Labuza, 1971.

La figura 2-11 es el “mapa de estabilidad” propuesto por Labuza. Este mapa incluye los aspectos de crecimiento microbiano, reacciones enzimáticas, oscurecimiento no enzimático y oxidación de lípidos. Según la gráfica, los alimentos deshidratados (a_w < 0.62) son relativamente estables a los cambios deteriorativos, especialmente el oscurecimiento no enzimático, las reacciones enzimáticas y el ataque microbiano; dependiendo de su actividad acuosa, pueden ser atacados por la oxidación de lípidos (Cancesco, 2002).

2.9. Ventajas de la deshidratación osmótica

- Al ser un proceso que utiliza temperaturas relativamente bajas a comparación con otros procesos de secado, se evita la pérdida de aromas de los alimentos, especialmente de las frutas. Aromas que se volatizarían o descompondrían a altas temperaturas en otros procesos de secado.
- Existe la posibilidad de formular un alimento valiéndose del proceso de impregnación, lo que permite obtener productos con características nutricionales y organolépticas superiores. La textura final mejora considerablemente ya que las células no colapsan al perder agua y, además, la incorporación de solutos tiene un efecto protector sobre la estructura celular, haciendo al alimento más resistente a tratamientos posteriores.
- Se obtiene una buena apariencia del producto final, sin muestras de pardeamiento, debido al uso de bajas temperaturas y la ausencia de aire en el interior de la masa del jarabe donde se encuentra sumergido el alimento, se evitan las reacciones de oxidación que afectan a la apariencia del producto final.
- El producto obtenido presenta un alto contenido de conserva, tanto desde el punto de vista nutricional como organoléptico.
- En el caso de la deshidratación de arándanos por ósmosis, al ser un proceso de difusión, existe la entrada de soluto en el fruto (en este caso sacarosa) que actúa como bactericida, evitando el desarrollo de levaduras y hongos. Además de aplicarle un sabor más dulce y agradable.

- Al reducir el contenido de agua disminuye el peso del producto, lo cual reduce los costos de empaque y transporte.
- Es un proceso relativamente económico, que cuenta una baja inversión de equipos cuando se trata de volúmenes pequeños o a nivel piloto, y no requiere demasiado consumo de energía eléctrica.
- La solución osmótica o jarabe, puede ser preparada a base de azúcares (deshidratado de frutas) y de salmueras (deshidratado de carnes o verduras), los cuales son de fácil adquisición.
- Reutilización de la solución osmótica tanto como para posteriores procesos de deshidratado, como para la elaboración de otros productos como jugos, concentrados, en el caso de deshidratado de frutas, a fin de aprovechar su poder edulcorante y contenido de frutas y aromas de la fruta deshidratada.

2.10. Desventajas de la deshidratación osmótica

- Es un proceso que no se puede aplicar a todo tipo de alimento, solo a aquellos que presenten una estructura sólida, y que puedan cortarse en trozos.
- Es un proceso que muchas veces no alcanza un grado de humedad lo suficientemente bajo, por tanto debe ser complementado con otras técnicas como secado con aire, solar, liofilización, congelamiento, etc.
- Ósmosis parcial de la fruta, generada por la flotación de los alimentos que son menos densos; se puede solucionar este inconveniente utilizando cestos o jaulas de inmersión.
- Enturbiamiento del jarabe por desprendimiento de partículas del alimento.
- Conserva o tratamiento del jarabe para evitar su fermentación.

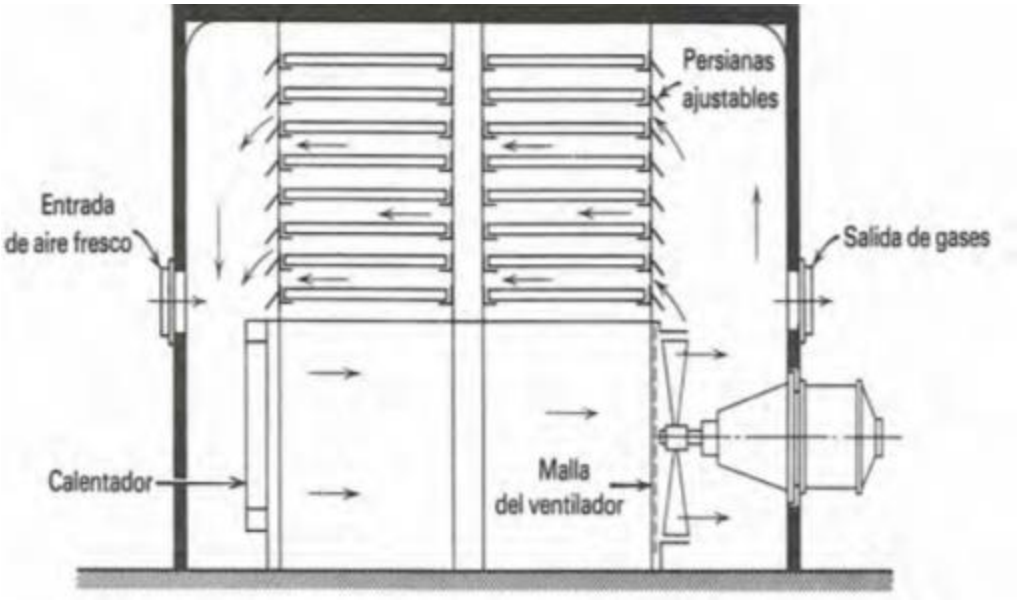
2.11. Secado por aire caliente

Considerando que los alimentos deshidratados osmóticamente aún contienen niveles de humedad, se aplican otras técnicas de secado complementarias, para extender la vida útil del alimento. Uno de estos procesos es el secado por aire caliente.

La configuración básica de este equipo es una cámara donde se introduce el alimento; el equipo cuenta con un sistema generador de aire caliente y una serie de

conductos que permite la circulación de aire caliente alrededor y a través del alimento. El aire caliente es generado ya sea por medio de resistencias, gases producidos por combustión o mediante vapor.

Figura 2-12 Configuración básica de un secador de aire atmosférico



Fuente: Alan S. Foust, 1987. Principios de las operaciones unitarias, segunda edición.

Cuando un sólido húmedo es sometido a un proceso de secado, se presentan dos subprocesos.

1. Transferencia de humedad interna del sólido a la superficie de este y su posterior evaporación.
2. Transferencia de energía en forma de calor, del ambiente que rodea el sólido para evaporar la humedad de la superficie.

Cuando el alimento húmedo es sometido al secado térmico, existe un intercambio de calor y masa. La humedad contenida en el alimento sólido, es evaporada debido a la diferencia de presión de vapor ejercida por el sólido húmedo y la presión parcial de vapor de la corriente gaseosa. Cuando estas dos presiones se igualan, se dice que el sólido y el gas están en equilibrio y el proceso de secado cesa. (Kasatkin. 1985).

El secado de alimentos mediante tratamiento térmico, permite eliminar microorganismos e inactivar las enzimas que pudiesen alterar al producto y hacerlo impropio para el consumo. Sin embargo, este tratamiento presenta algunos inconvenientes, generando cambios en el producto que afectan a la calidad y al valor nutritivo del mismo, como la destrucción de vitaminas, desnaturalización de proteínas, caramelización de azúcares, gelificación de almidones, destrucción de pigmentos, modificación de sabores y texturas, pérdidas y cambios de aroma e incluso producción de substancias tóxicas. (Aleixandre, 1977; Casp, 1999).

2.12. Agente osmótico

Es una solución de elevada concentración, que permite la remoción de agua del alimento. Para seleccionarla se debe tomar en cuenta las características sensoriales del producto a deshidratar, el costo del soluto y el grado de solubilidad del soluto en agua.

Los agentes osmóticos más usados son soluciones hipertónicas de sacarosa para frutos y cloruro de sodio para carnes y vegetales. Otros agentes osmóticos pueden ser:

- Fructosa
- Dextrosa
- Lactosa
- Jarabe de maíz
- Glicerol
- Mezcla de jarabes

Existen otros agentes osmóticos que no son muy utilizados por su disponibilidad, altos costos y en algunos casos pueden causar un sabor desagradables al alimento. Entre estos se pueden citar:

- Etanol
- Alanina
- Polietilenglicol
- Caseína

- Glutamato monosódico

El Cuadro II-3 muestra algunas características de los agentes osmóticos comúnmente utilizados en la deshidratación osmótica.

Cuadro II-3 Usos y ventajas de algunos agentes osmóticos utilizados en la deshidratación osmótica.

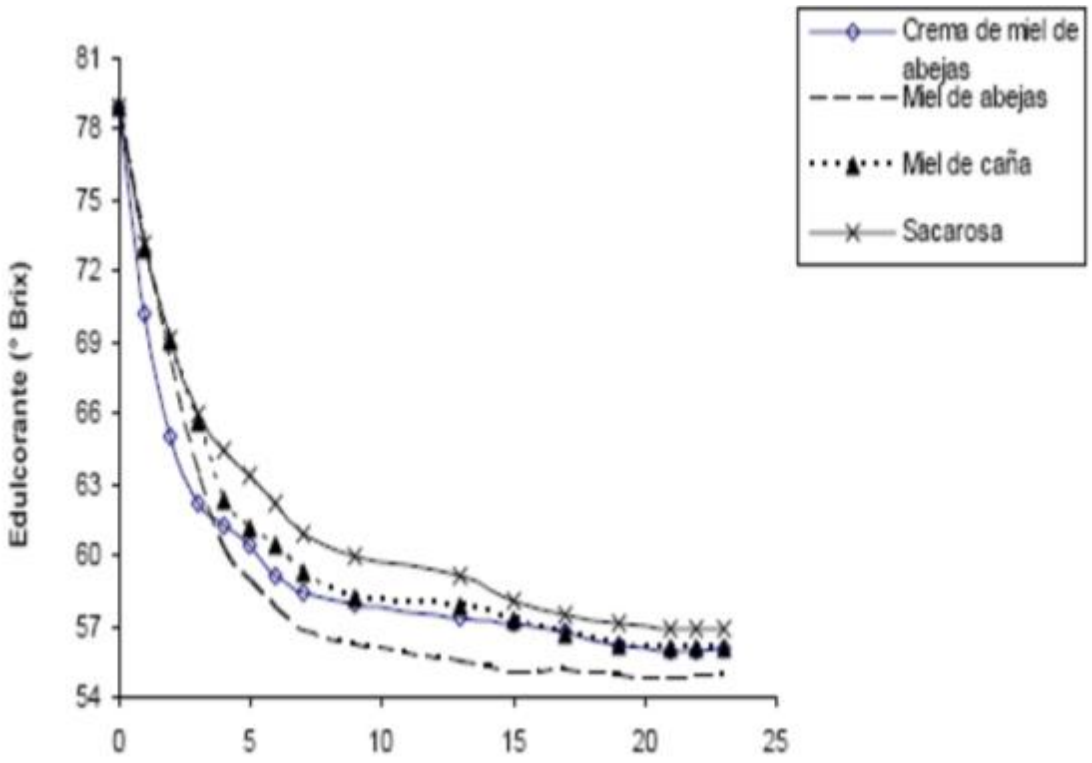
Nombre	Usos	Ventajas
Cloruro de sodio	Carnes y verduras	Alta capacidad de depresión de la actividad del agua.
Sacarosa	Frutas principalmente	Reduce pardeamiento y aumenta retención de volátiles.
Lactosa	Frutas principalmente	Sustitución parcial de sacarosa.
Glicerol	Frutas y verduras	Mejora la textura.
Combinación	Frutas, verduras y carnes	Características sensoriales ajustadas, combina la alta capacidad de depresión de la actividad de agua de las sales con alta capacidad de eliminación de agua del azúcar

Fuente: Barbosa – Cánovas y Vega – Mercado, 2000.

Los jarabes usados y resultantes de la 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 como edulcorantes de productos específicos o ser reutilizados como jarabes para posteriores osmodeshidrataciones si son llevados a concentraciones adecuadas para regenerar su fuerza osmótica, evitando la fermentación. Cabe agregar que las frutas sumergidas en estos jarabes poseen características sensoriales mejores que las osmodeshidratadas en los jarabes iniciales (Camacho Olarte, 1990).

En la figura 2-13 se exhibe el comportamiento de diferentes agentes osmóticos utilizados para la DO de la papaya.

Figura 2-13 Tendencia cinética de diferentes agentes osmóticos utilizados para la deshidratación osmótica de papaya hawaiana



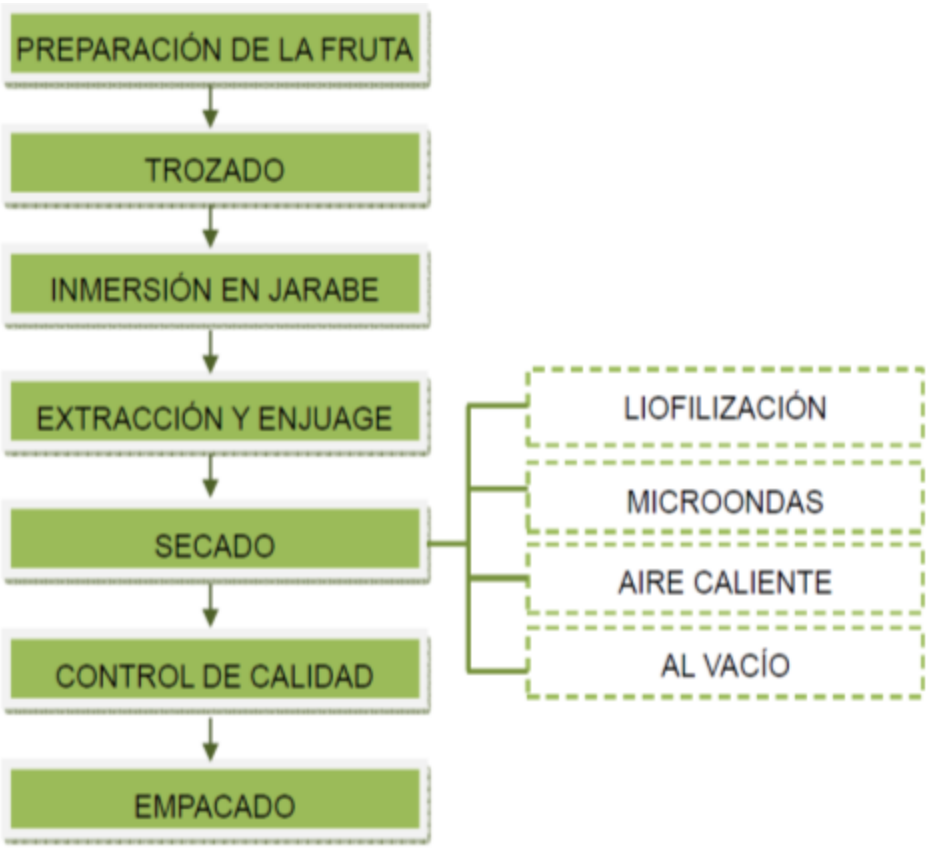
Fuente: Facultad Nacional de Agronomía Medellín 2005.

Como se puede apreciar, el jarabe con mayor poder osmodeshidratante es el de la miel de abeja y el de menor poder la sacarosa. Además, la figura nos muestra la pérdida de sólidos solubles totales del jarabe, representada por los °Brix, y por lo tanto un aumento en la eliminación de agua en los frutos de papaya, indicando que la velocidad de deshidratación es más pronunciada en el rango comprendido entre las cinco y seis primeras horas del proceso (Ciro, 2005).

2.13. Proceso de deshidratación osmótica en frutas

El siguiente proceso de DO de frutas es el más utilizado en la industria y del cual hay a disposición en el mercado equipos e insumos. Este proceso es sencillo y de bajo costo. A continuación se expone el diagrama de flujo del proceso.

Diagrama de flujo II-1 Deshidratación osmótica en frutas



Fuente: Alimentos Argentinos – MinAgri.

A continuación se detalla cada etapa:

- **Preparación de la fruta**

Para la eficiencia del proceso se debe optar con frutas que posean una estructura rígida o semi rígida, con el fin de que esta pueda ser cortada en trozos como cubos, tiras y rodajas, las frutas con estructura que posean pulpa líquida serías inservibles en este proceso.

Si la fruta presenta un recubrimiento ceroso o pruina es recomendable aplicar un tratamiento de permeabilización que facilitará el proceso de deshidratado; este tratamiento puede ser de 2 tipos:

1. Baño de la fruta en una solución de hidróxido de sodio hirviendo por un periodo de 30 a 45 segundos, seguido de un lavado inmediato de la fruta para quitarle el excedente de la solución.
2. Escaldado, consiste en someter la fruta a una inmersión de agua hirviendo o bien a vapor durante 1 a 3 minutos, lo cual aumenta la permeabilidad de las paredes de la célula y ablanda el fruto facilitando las operaciones preliminares como el trozado (Paltrinieri y Figueroa, 1998).

- **Trozado**

Esta etapa es importante especialmente para frutas de gran volumen que deben ser trozadas a un tamaño y geometría homogénea, pues de su uniformidad dependerá la calidad final del producto y el proceso de difusión del azúcar y la eliminación del agua. Si bien este paso es mayormente aplicable para frutas de gran tamaño, también puede aplicarse en frutos pequeños como arándanos, frutillas, frambuesas, etc.

- **Inmersión en el agente osmótico**

Es la etapa central del proceso en la cual se produce la DO. La solución osmótica la cual se va exponer la fruta debe contener un soluto el cual sea compatible con ella, como la sacarosa, miel, fructosa, etc.

La fruta se sumerge en la solución preparada dentro de un recipiente adecuado, industrialmente requiere el uso de pailas osmóticas de acero inoxidable. En este proceso, debido a la ósmosis, el fruto se empieza a deshidratar, proceso que puede dividirse en 2 periodos según la velocidad de remoción de agua.

1. Primer periodo que dura aproximadamente 2 horas en el que el fruto pierda agua a alta velocidad.
2. El segundo periodo disminuye de manera considerable la velocidad de pérdida de agua como consecuencia de una menor diferencia de presión osmótica entre el interior del fruto y el agente deshidratante; a pesar de esto, continúa la remoción de agua entre 2 a 6 horas. Si se extiende el tiempo de inmersión se puede observar que el flujo de agua hacia la solución externa es prácticamente nulo después de 10 horas de proceso.

El fenómeno más importante del proceso es la pérdida de agua de la fruta, pero paralelamente se presenta el ingreso de sólidos de la solución al interior de la fruta en cantidades pequeñas; este ingreso de sólidos le otorga una mayor estabilidad a la fruta, teniendo en cuenta que la ausencia de agua reduce el posible desarrollo de microorganismos.

La deshidratación osmótica puede realizarse a temperatura ambiente, pero con el fin de acelerar el proceso, se trabaja hasta temperaturas de 60 °C. También puede aplicarse presiones de vacío y agitación con el fin de aumentar la velocidad de desalojo de agua.

- **Extracción y enjuague**

Una vez finalizado el tiempo de inmersión, se extrae la fruta de la solución osmótica. En este proceso se puede reducir el contenido de humedad entre un 70 y 80 %.

Posteriormente se enjuaga la fruta con la finalidad de quitar los restos de la solución o jarabe que contenga la superficie. Este proceso se puede realizar con agua desinfectada o mediante centrifugado a velocidad lenta.

- **Secado**

Ya que la DO es un pre tratamiento, al no obtener un producto con niveles de humedad de un 10% a 20% se aplican procesos de secado post tratamiento para extender la vida útil del producto. Estos procesos pueden ser: secado por aire caliente, secado por microondas, secado al vacío y en caso de alimentos de alto valor agregado puede aplicarse el proceso de liofilización (Alimentos Argentinos – MinAgri).

- **Control de calidad**

Una vez finalizado el secado de la fruta, esta es sometida a un control de calidad, etapa en la que se realiza una rigurosa inspección visual. Si se encuentra alguna partícula o algo que no corresponda, se retira la partícula o el lote es eliminado. Esta

etapa es fundamental para la comercialización y aceptación del producto por parte de los consumidores.

- **Empacado**

Dependiendo del tipo de producto puede variar sus condiciones de envasado, si el producto posee un nivel de humedad de 30% no necesita materiales especiales para su envasado, mayormente el empacado se realiza al vacío en bolsas de polietileno, el envase debe presentar una barrera contra la humedad y sustancias aromáticas volátiles, por tanto, el producto terminado debe ser almacenado a temperatura ambiente en un lugar fresco y seco, perfectamente aislado del exterior.

CAPÍTULO III

PARTE EXPERIMENTAL

3.1. Materia prima

La materia prima utilizada en el presente estudio es arándano *(Vaccinium myrtillus)* del tipo Highbush (arándano alto) procedente de la localidad de Turumayo, Tarija. Esta especie se encontró sometida a mejoramientos genéticos con el fin de obtener variedades con menores requerimientos de horas de frío (entre 200 y 600 horas de frío) para florecer y adaptarse así a climas más templados.

La elección del tipo de arándano dependerá de la cantidad de horas de frío efectivas por año acumuladas en cada zona. Una hora frío efectiva consiste en una temperatura igual o menor a 7 º C sin que se interpolen temperaturas mayores a ese nivel que contrarresten el efecto de dicha temperatura. Es importante tener en cuenta que el momento de las heladas no coincida justo con la época de floración (León, 2012).

Para efectuar la cosecha del arándano se requiere una mano de obra considerable, la misma se realiza manualmente, pues la fruta una vez madura es muy delicada. A la hora de la cosecha se debe tener especial cuidado al desprender la fruta de la planta para evitar producirle daño al epicarpio (piel) del fruto. La fruta madura presenta una serosidad (pruina) la cual es una característica de calidad y por ende debe evitarse ser removida, lo que implica cierto cuidado en la recolección (Gordó, 2011).

Figura 3-1 Diferentes tipos de daños sobre el fruto

Fuente: Gordó, 2011. Guía práctica para el cultivo de arándanos.

En la localidad de Turumayo, la variedad de arándano Highbush que se cultiva actualmente es la **Misty**, caracterizada por su sabor y la sensación crocante al masticar su epicarpio. Además, se adapta a la mayoría de las zonas productivas dado que necesita menos requerimiento de horas frío.

Su época de cosecha depende mucho del clima, pero por lo general en nuestra región, la misma se realiza dos veces al año, entre los meses de septiembre a diciembre y de abril a junio.

Los arándanos fueron adquiridos en varios lotes, conservándose desde el momento de la compra en una cámara frigorífica a 8°C, hasta su posterior procesado.

Figura 3-2 Arándano tipo Highbush, variedad Misty

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Insumos

3.2.1. Azúcar blanca

Teóricamente, existe una gran variedad de solutos que pueden reducir la actividad de agua en la solución. Sin embargo, dado que el soluto también difunde al interior de la fruta, es necesario que sea compatible con las características organolépticas de aquella. Por esta razón los "azúcares" son los agentes osmóticos por excelencia cuando se considera la deshidratación osmótica de frutas.

Para el presente estudio se seleccionó azúcar blanca comercial (sacarosa), siendo este un soluto de fácil adquisición, además de presentar las siguientes propiedades:

- Actúa como inhibidor de polifenoloxidasa, enzima que cataliza el pardeamiento oxidativo en las frutas.
- Evita la pérdida de sabores y aromas volátiles en el proceso de secado por aire o al vacío.
- Es un azúcar que carece de propiedad reductora, lo cual no afecta a las reacciones de pardeamiento no enzimático.
- La adición de este soluto, permite capturar o absorber el agua presente en el interior del fruto, reduciendo su actividad del agua, actuando de este modo como antibacteriano, evitando el desarrollo de microorganismos como hongos y levaduras.
- Aplica un sabor más dulce y agradable.

En cuanto a la cinética, se ha demostrado que la pérdida de agua en frutas sometidas a DO aumenta al incrementarse la concentración de solutos en la solución osmótica, siendo las soluciones entre 50 y 70°Brix las de mayor utilización (Rodríguez 2003).

3.3. Caracterización de la materia prima

3.3.1. Características físicas

Las características físicas a determinar en el Arándano son:

- Peso
- Diámetro ecuatorial
- Diámetro polar

La determinación de las características físicas nombradas anteriormente, se realizó sobre 25 muestras.

En la tabla III-1 se muestran los valores obtenidos experimentalmente, de las características físicas del arándano variedad Misty procedente de la localidad de Turumayo.

Tabla III-1 Valores experimentales de las características físicas del arándano

Muestra	Peso entero (g.)	Diámetro polar (mm)	Diámetro ecuatorial (mm)
1	2.3842	10.91	15.74
2	2.0130	10.44	14.55
3	1.5482	10.70	13.89
4	2.6824	11.90	16.70
5	0.7662	7.82	10.79
6	1.4299	9.12	14.01
7	3.1572	12.77	17.56
8	2.0304	10.53	15.67
9	1.8243	10.36	14.00
10	2.1574	11.26	14.47
11	1.9416	11.33	14.10
12	1.8698	10.57	13.71
13	1.6531	10.42	13.63
14	1.6986	10.86	14.76
15	0.9550	8.60	11.74
16	1.8624	10.22	14.98
17	1.1227	8.72	12.52
18	1.5602	10.83	14.76
19	2.4218	12.07	15.98
20	2.0773	11.54	14.93
21	1.8961	11.73	14.97
22	1.5238	10.30	14.25
23	2.4358	12.10	16.48
24	1.2544	9.82	13.29
25	1.2879	9.74	12.97

Fuente: Elaboración propia.

La tabla III-2 expone los valores promedio de las características físicas del arándano de la variedad Misty, obtenidos a partir de los datos experimentales generados en la tabla III-1.

Tabla III-2 Cálculos estadísticos de las características físicas de la muestra de arándano (variedad Misty)

Procedencia: Turumayo	Peso entero	Diámetro polar	Diámetro ecuatorial
Media	1.822	10.586	14.398
Mediana	1.862	1.570	14.430
Varianza	0.302	1.388	2.297
Desviación estándar	0.550	1.178	1.516
Rango	2.391	4.950	6.770
Coeficiente de variación	0.302	0.111	0.105

Fuente: Elaboración Propia.

3.3.2. Características fisicoquímicas

Los parámetros que se medirán son:

- Sólidos solubles (°Brix)
- Humedad
- pH
- T (°C)

Los parámetros que serán determinados en Laboratorio son:

- Proteína
- Azúcares totales
- Fibras
- Cenizas
- Grasas
- Hidratos de carbono
- Valor energético

Sólidos solubles (°Brix)

La determinación de sólidos solubles (°Brix) en la materia prima se realizó sobre 5 muestras, donde se utilizó el refractómetro digital del Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) perteneciente al Departamento de Procesos Industriales dependiente de la Facultad de Ciencias y Tecnología. En la tabla III-3 se muestra los resultados obtenidos. Observándose que este valor se encuentra entre el rango de la información bibliográfica (Angland 1994, Sapers, 1984). La técnica de análisis utilizada se puede apreciar en el Anexo II.

pH

La determinación del pH en la materia prima se realizó sobre 5 muestras, donde se utilizó el potenciómetro digital del Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) perteneciente al Departamento de Procesos Industriales, dependiente de la Facultad de Ciencias y Tecnología. En la tabla III-3 se puede apreciar que se obtuvo un valor promedio de 3.06; este resultado se encuentra dentro del rango de pH de 2.85 a 3.49 indicado en las especificaciones planteadas por Angland 1994, Sapers, (1984). Asimismo, este valor es corroborado con los análisis realizados en el CEANID. La técnica de análisis utilizada se puede apreciar en el Anexo II.

Humedad

La determinación de la humedad en la materia prima se realizó sobre 5 muestras, donde se utilizó el secador infrarrojo marca SARTORIUS del Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) pertenecientes al Departamento de Procesos Industriales, dependiente de la Facultad de Ciencias y Tecnología, observándose en la tabla III-4 que el valor determinado es menor con lo citado bibliográficamente. La técnica de análisis utilizada se puede apreciar en el Anexo II.

Los análisis restantes de la materia prima se realizaron en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID). Los resultados se pueden observar en el Anexo I.

A continuación, en la tabla III-3, se muestran los resultados de las propiedades fisicoquímicas de la materia prima.

Tabla III-3 Valores experimentales fisicoquímicos de la materia prima

Muestra	Sólidos solubles (°Brix)	Humedad (%)	pH	Temperatura (°C)
1	15	80.913	2.91	17
2	13.1	81.022	3.37	17
3	12.4	80.517	3.45	18.2
4	13.8	81.758	2.90	19
5	14.5	82.722	2.65	18
Media	13.8	81.387	3.06	17.8

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla III-4 se exponen los valores de las características fisicoquímicas medidas, comparándolas con otros datos bibliográficos.

Tabla III-4 Características fisicoquímicas del arándano

Variedad: Misty		Datos bibliográficos					
Parámetro	Valores medidos	Infoagro	SAPERS (1984)	SENSER y SCHERZ (1999)	USDA (2002)	ANGLADN (1994), SAPERS (1984)	CEANID
°Brix	13.8	-	-	-	-	11,20 – 14,30	-
pH	3.06	-	-	-	-	2,85 – 3,49	3.17
Humedad (%)	81.387	84.6	85.15	84.60	84,61	-	-
Temperatura (°C)	17.8	-	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia.

3.4. Diseño experimental

Para el trabajo de investigación, se plantea un diseño factorial al azar de 3 variables o parámetros:

- 2 niveles para la Concentración expresada en °Brix
- 2 niveles para la Temperatura
- 3 niveles para el Tiempo de deshidratación osmótica

Tabla III-5 Variables o parámetros elegidos

Factores	Inferior (-1)	Medio (0)	Superior (+1)
Concentración de la solución osmótica °Brix)	50	-	70
Temperatura de la solución en la deshidratación osmótica (°C)	40	-	50
Tiempo de deshidratación osmótica (h)	2	3	4

Fuente: Elaboración propia.

3.4.1. Variables respuesta

Las variables respuesta de interés son:

- Pérdida de agua (WL)
- Reducción de peso (WR)
- Ganancia de sólidos solubles (SG)

3.4.2. Número de combinaciones

Tomando los datos mostrados anteriormente como punto de partida, se tiene un diseño factorial completamente al azar de 3 factores: 3 niveles para el tiempo y 2 niveles para la temperatura y la concentración; expresada en °Brix.

A continuación se muestra el número de combinaciones:

N° de experimentos = $2^2 * 3 = 12$ experimentos

Considerando dos réplicas:

N° de experimentos = 12 * 2 = 24 experimentos

Con la combinación de estas variables se determina cuál de ellas es la más significativa. De igual manera, nos permite evaluar la influencia de la concentración, la temperatura y tiempo sobre la cinética de transferencia de materia (agua y solutos).

La matriz de diseño para el estudio se concreta sustituyendo los valores +1 y -1 de las variables codificadas por los valores de las variables reales. Así se obtiene el plan de experimentación que comprende de forma estructurada y comprensible la lista de experimentos a realizar como se muestra a continuación.

Las combinaciones de las variables se puede observar en la siguiente tabla, donde:

Resp I = Respuesta uno

Resp II = Respuesta dos

N° = Número de ensayo

Tabla III-6 Diseño factorial para el proceso de Deshidratación Osmótica

°N	Tiempo (h)	Concentración (°Brix)	Temperatura (°C)	Resp I WL	Resp II WL	Resp I WR	Resp II WR	Resp I SG	Resp II SG
1	+ 1	+1	+1	R_1	R_1	R_1	R_1	R_1	R_1
2		-1	+1	R_2	R_2	R_2	R_2	R_2	R_2
3		+1	-1	R_3	R_3	R_3	R_3	R_3	R_3
4		-1	-1	R_4	R_4	R_4	R_4	R_4	R_4
5	0	+1	+1	R_5	R_5	R_5	R_5	R_5	R_5
6		-1	+1	R_6	R_6	R_6	R_6	R_6	R_6
7		+1	-1	R_7	R_7	R_7	R_7	R_7	R_7
8		-1	-1	R_8	R_8	R_8	R_8	R_8	R_8
9	- 1	+1	+1	R_9	R_9	R_9	R_9	R_9	R_9
10		-1	+1	R_{10}	R_{10}	R_{10}	R_{10}	R_{10}	R_{10}
11		+1	-1	R_{11}	R_{11}	R_{11}	R_{11}	R_{11}	R_{11}
12		-1	-1	R_{12}	R_{12}	R_{12}	R_{12}	R_{12}	R_{12}

Fuente: Elaboración propia.

3.5. Materiales y equipos utilizados

3.5.1. Materiales

- Vernier
- Cuchillo de acero inoxidable
- Frascos de vidrio de 470 ml
- Colador metálico
- Papel absorbente
- Bolsas de polietileno
- Guantes estériles
- Canastilla metálica (escaldado)
- Tela filtrante (filtrado del jarabe)

3.5.2. Material de laboratorio

- Termómetro
- Varilla de vidrio
- Barra de agitación magnética
- Piseta
- Caja Petri
- Matraz aforado de (250-500 ml)

3.5.3 Equipos de proceso

3.5.3.1. Baño maría

El baño maría se utilizó para llevar el agua a su punto de ebullición (93°C) con la finalidad de generar vapor saturado para la etapa de escaldado.

3.5.3.2. Refractómetro

El refractómetro digital de marca ABBE tipo WYA-1S fue utilizado para medir los grados °Brix tanto de la materia prima como en la solución osmótica en cada etapa del proceso de deshidratación; este equipo corrige automáticamente el efecto de la temperatura sobre los grados °Brix, sus características se pueden apreciar en el Anexo III.

3.5.3.3. Balanza analítica electrónica

La balanza digital de la marca GIBERTINI modelo EU 500 se utilizó en todo el trayecto del proceso de deshidratación osmótica, la cual fue útil en vista que toda relación se trabajó en unidades de peso para facilitar los respectivos balances de materia. Las características de este equipo se encuentran citadas en el Anexo III.

3.5.3.4. Calentador magnético

Este equipo de la marca J.P SELECTA ha sido desarrollado con el propósito de poder calentar y mezclar fluidos contenidos en recipientes de laboratorio, equipo que mantuvo constante la temperatura de la solución osmótica y dotó de una agitación de 100 rpm con el objetivo de homogenizar dicha solución.

El calentador magnético presenta una placa con un imán rotatorio o una serie de electroimanes dispuestos en forma circular a fin de crear un campo magnético rotatorio. Dicha placa contiene un montaje de resistencias eléctricas con la finalidad de dotarle del calor necesario para calentar algunas soluciones químicas.

Para la operación de este equipo se necesita una pequeña barra magnética (barra de agitación magnética) que está cubierta por una capa de plástico (usualmente teflón). Durante la operación de un calentador magnético la barra de agitación magnética es deslizada dentro de un contenedor; en nuestro caso se utilizó un vaso de precipitado con la solución osmótica y el fruto a deshidratar. El contenedor es colocado encima de la placa donde los campos magnéticos o el imán rotatorio ejercen su influencia sobre el recubierto y propician su rotación mecánica. Las especificaciones del equipo utilizado se muestran en el Anexo III.

3.5.3.5. Potenciómetro

El potenciómetro de marca CHECKER y modelo HI 98103, se utilizó en la medición del pH de la pulpa del arándano y de la solución osmótica en diferentes etapas del proceso. El pH-metro consta de un par de electrodos uno de mercurio y otro de vidrio, sumergidos en la disolución de la que queremos medir el pH, electrodos que son calibrados periódicamente para asegurar su precisión. Para aquello se utilizaron buffers de calibraje (disoluciones reguladores de pH conocido) que sirven para leer sustancias.

Las especificaciones del potenciómetro se pueden observar en el Anexo III (Water Testing Instruments).

3.5.3.6. Secador infrarrojo

El secador infrarrojo de marca SARTURIUS y modelo MA 100/ MA 50 se utilizó para realizar el respectivo análisis de humedad de la materia prima, producto deshidratado y producto importado. Las características del equipo utilizado se muestran en el Anexo III.

3.5.3.7. Estufa de bandejas

Debido a los medio con los que se contaba, se utilizó una estufa de convección natural para desecación y esterilización de la marca J.P SELECTA, S.A; equipo que se utilizó como proceso complementario de la deshidratación osmótica, con la finalidad de secar las muestras y llegar a niveles de humedad deseadas; sus características se muestran en el Anexo III.

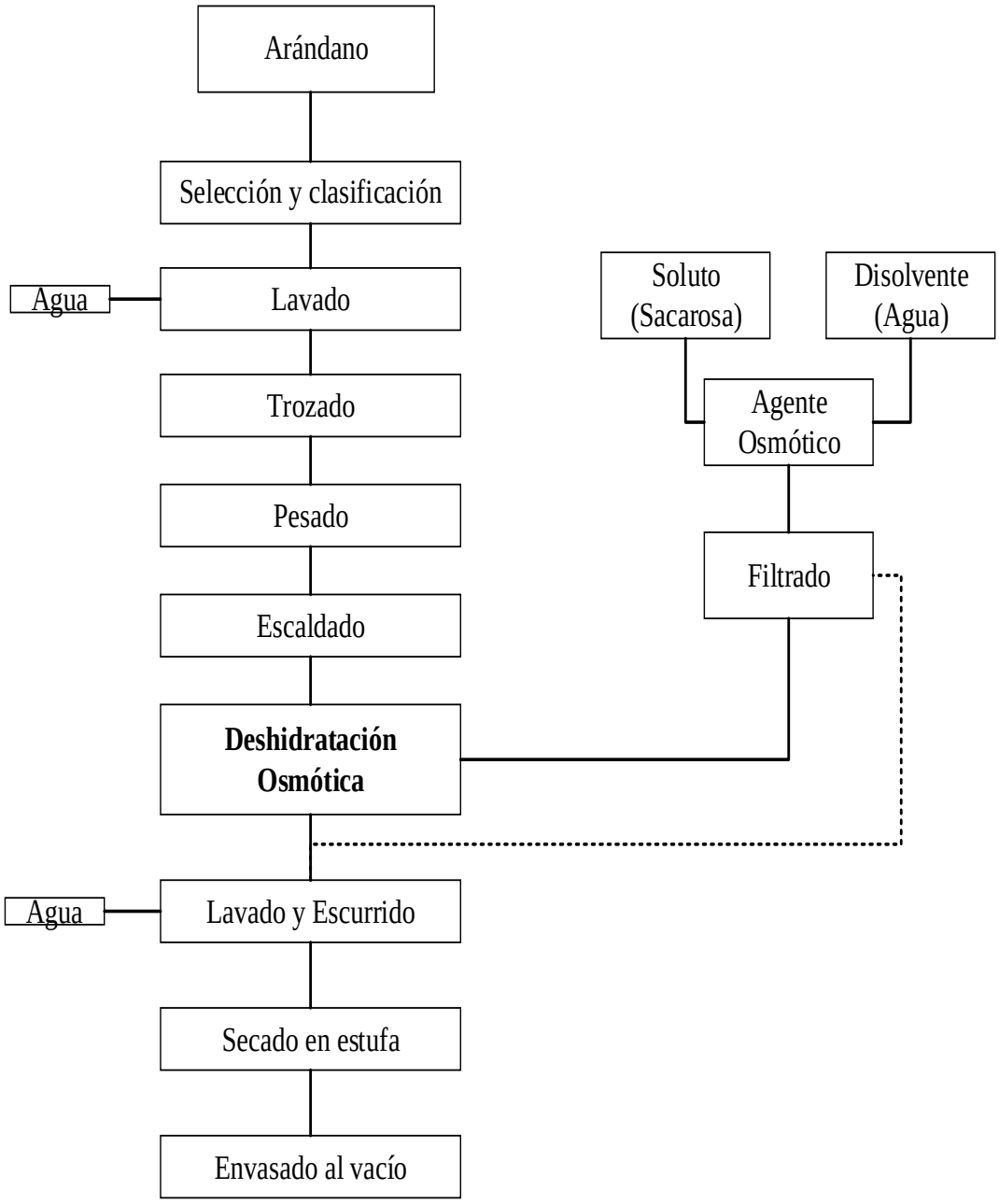
3.5.3.8. Envasadora al vacío

El equipo de envasado al vacío de la marca HENKVAC modelo AC 1500 se utilizó para retirar el aire dentro del envoltorio del producto con el objetivo de evitar su deterioro, extendiendo así el periodo de caducidad del fruto deshidratado. Sus características se citan en el Anexo III (Goudsmid, 2011).

3.6. Descripción del proceso de deshidratación osmótica

El siguiente diagrama de bloques señala las diferentes etapas del proceso de deshidratación osmótica del arándano.

Diagrama de flujo III-1 Etapas de proceso deshidratación osmótica del arándano



Fuente: Elaboración propia.

El arándano es un fruto apropiado para este proceso, en vista de que posee una estructura rígida la cual actúa como membrana semi permeable, siendo este el medio adecuado para la difusión de solutos y remoción de agua.

3.6.1. Selección y clasificación

Esta operación trata de separar todo fruto que no presente uniformidad con el lote como ser:

- **Daño mecánico:** Las muestras se seleccionaron de acuerdo a su estado físico, a consecuencia de que puedan presentar distintos tipos de daños mecánicos en la etapa de cosecha.
- **Tamaño:** Las muestras de menor tamaño no son tomadas en cuenta para incluirlas en el proceso, pues al ser deshidratadas no contarán con una buena presentación.
- **Daño microbiológico:** Dependiendo el tiempo de conserva, existe la posibilidad del desarrollo de algunos microorganismos en algunos frutos del lote, los cuales deben ser excluidos de manera inmediata.
- **Estado de madurez:** En cuanto a la selección de acuerdo a estado de madurez, se tomaron los frutos maduros o semi maduros para su tratamiento, siempre y cuando estos presenten una estructura rígida, facilitando la etapa de cortado de la materia prima. Al no contar con una estructura consistente, la pulpa del mismo tiende a desprenderse por efecto de la temperatura y agitación.

En la siguiente figura se aprecian los arándanos que no llegaron a su estado de madurez; como se puede notar, presentan una tonalidad rojiza.

Figura 3-3 Arándanos que no llegaron a alcanzar su estado de madurez plena

Fuente: Elaboración propia.

3.6.2. Lavado

El lavado es una operación que generalmente constituye el punto de partida de cualquier proceso de producción para frutas y hortalizas. Consiste en eliminar impurezas indeseables como tierra, piedras y microorganismos mediante un lavado directo con agua potable de la canilla, evitando así las complicaciones derivadas de la contaminación que la materia prima puede contener. Posteriormente, la muestra es escurrida y secada.

3.6.3. Trozado

Esta etapa es requerida generalmente en frutos de gran tamaño para otorgarle uniformidad. Al trabajar con frutos pequeños como el arándano esta etapa no es necesaria. Sin embargo, se presentó una dificultad al efectuar las pruebas preliminares del proceso.

La cáscara o exocarpio del arándano es una capa protectora delgada e impermeable, la cual dificulta la remoción de agua desde el interior del fruto hacia la solución osmótica, obteniendo así un fruto abultado o inflado como se puede observar en la figura 3-4.

Además de conseguir un producto que en cuanto a la percepción visual no es lo que se espera, no se presenció una variación de los grados °Brix de la solución osmótica en cada etapa del proceso. Siendo lo que se espera una disminución en la concentración del jarabe en consecuencia de la pérdida de agua del fruto.

Figura 3-4 Arándanos sin trozar finalizado el proceso de deshidratación osmótica

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, lo más conveniente para efectuar este proceso es el cortado en la mitad de cada arándano. Como se puede apreciar en la siguiente figura.

Figura 3-5 Arándanos trozados óptimos para la deshidratación osmótica

Fuente: Elaboración propia.

3.6.4. Pesado

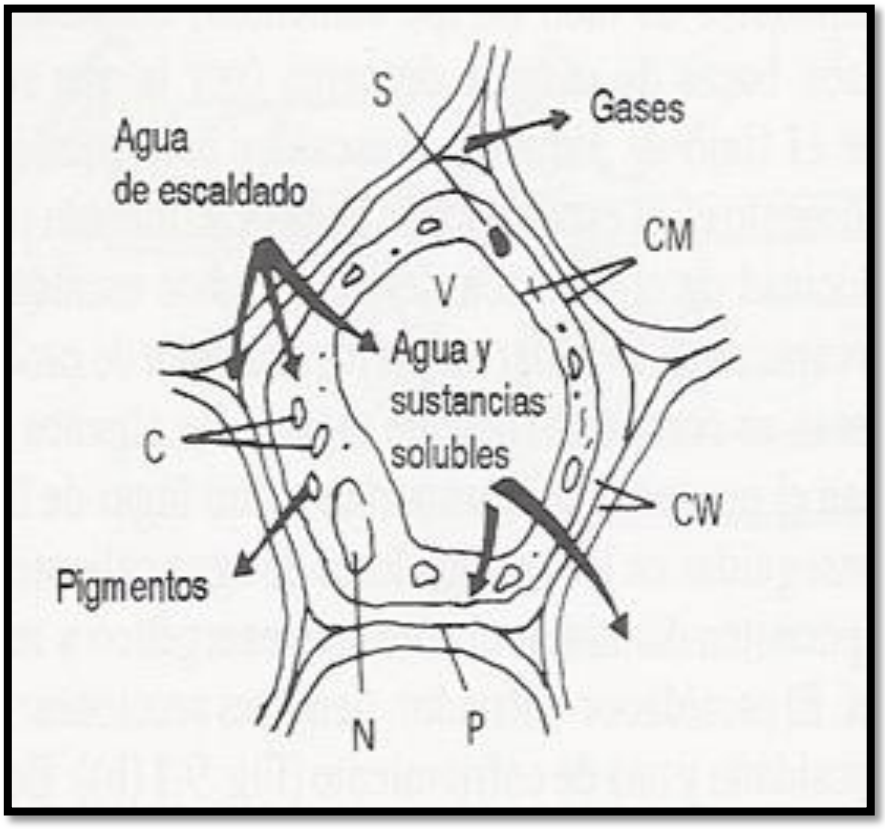
Para la investigación se trabajó con muestras de 30g. Para este caso se utilizó una balanza digital.

3.6.5. Escaldado

Esta operación consiste en un tratamiento térmico usado con el propósito de acondicionar el material en diversos sentidos: inhibir o inactivar reacciones de carácter enzimático, aumentar la permeabilidad del arándano al remover la capa cerosa (pruina) presente en el exocarpo, reducir parcialmente el contenido de microorganismos que pueden tomar parte en procesos de deterioro del producto, eliminar el aire y los gases ocluidos en los espacios intercelulares de las rodajas de arándano (Figura 3-6).

Al respecto, las temperaturas utilizadas son letales para las levaduras, la mayoría de los mohos y los microorganismos aeróbicos. Existen reportes que señalan que el escaldado reduce la carga microbiana entre un 60 y un 99% (Ulloa, 2007).

Figura 3-6 Efectos del escaldado en los tejidos vegetales



Fuente: Frutas auto estabilizadas en el envase por la tecnología de obstáculos, Ulloa, 2007.

Una vez cortados los trozos de arándano, estos son sometidos a un proceso de escaldado con vapor saturado generado por un baño maría, operación que se realizó colocando los trozos de arándano en una canastilla metálica cerrada que es sostenida durante un lapso de 3 minutos, dicho proceso se puede apreciar en la figura 3-7. Al tratar el fruto durante un periodo más prolongado puede causar daños al producto y pérdidas elevadas de compuestos hidrosolubles: vitaminas, minerales y carbohidratos.

Figura 3-7 Operación de escaldado de los trozos de arándano

Fuente: Elaboración propia.

3.6.6. Preparación de la solución osmótica

Se utilizó azúcar blanco y agua para la elaboración de la solución osmótica a diferentes concentraciones:

50 °Brix:

Para 1000 g de solución: 500 g (azúcar) / 500 g (agua)

70 °Brix:

Para 1000 g de solución: 700g (azúcar) / 300 g (agua)

(Al preparar la solución al 70% se tuvo que calentarla para así lograr una buena disolución del azúcar en el agua)

Luego de lograr una buena disolución del soluto en el agua, se procedió a medir los grados °Brix en un refractómetro digital para corroborar que la solución tenga la concentración deseada. Seguido, se filtró el jarabe obtenido mediante una tela

filtrante, con la finalidad de retener cualquier tipo de material extraño, tierra o suciedad, obteniendo así un jarabe más limpio.

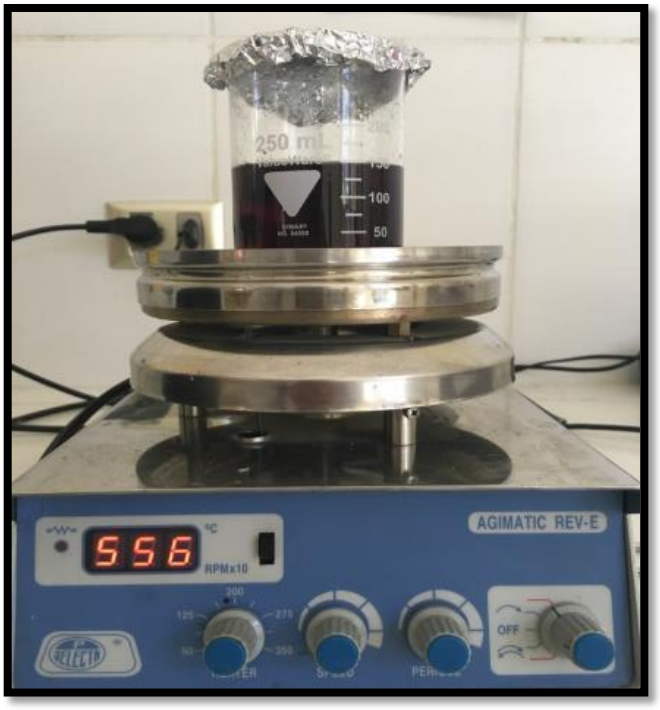
Los jarabes osmóticos pueden ser reconcentrados y de nuevo utilizados; estos retienen compuestos de la fruta que conservan características de aroma, sabor y color.

3.6.7. Deshidratación osmótica

La deshidratación osmótica es la etapa donde se produce la salida del agua y el ingreso de solutos en el arándano, provocado por la mayor diferencia de concentración de la solución osmótica con respecto a la del fruto. El proceso se realizó a diferentes tiempos, temperaturas y concentraciones, manteniendo una agitación constante de 100 rpm con el propósito de homogenizar la solución. De igual manera, se mantuvo constante la relación solución osmótica-alimento, siendo de orden 5:1 (150 g de jarabe por cada 30 g de arándano).

A nivel industrial, se cuenta con pailas osmóticas o tanques enchaquetados con agitación mecánica y temperatura constante, aumentando así la cinética del proceso. A escala laboratorio se realizó la inmersión del fruto en la solución osmótica en un vaso precipitado, donde se mantuvo la temperatura y agitación constante con ayuda de un calentador magnético. Este proceso se puede observar en la siguiente figura.

Figura 3-8 Proceso de deshidratación osmótica a escala laboratorio



Fuente: Elaboración propia.

La medición de variables como °Brix, pH y peso de las rodajas de arándano se realizó a la hora de deshidratación; una vez medido estos parámetros la muestra se reincorporó a la solución hasta cumplir el tiempo requerido del proceso planteado en el diseño factorial (2, 3 y 4 horas). En vista de que se culmine la etapa de deshidratación osmótica se volvieron a medir estos parámetros.

Las mediciones de °Brix, pH y peso de los trozos de arándano para cada muestra se pueden apreciar en las siguientes tablas:

En la tabla III-7 se observan las mediciones realizadas de °Brix, pH, y peso de las rodajas de arándano para la muestra uno de características: relación 5:1, 70°Brix, agitación 100 rpm, temperatura 50 °C, tiempo 4 horas.

Tabla III-7 °Brix, pH, Peso rodajas de arándano muestra 1

Tiempo (h)	°Brix		pH		Peso rodajas de arándano	
	Repetición I	Repetición II	Repetición I	Repetición II	Repetición I	Repetición II
0	70	70	4.21	4.70	30.450	30.147
1	63.3	62.5	2.91	2.83	26.738	25.225
4	61.4	60.10	2.38	2.30	20.647	20.391

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla III-8 se observan las mediciones de °Brix, pH, y peso de rodajas de arándano para la muestra dos de características: relación 5:1, 50°Brix, agitación 100 rpm, temperatura 50°C, tiempo de tratamiento 4 horas.

Tabla III-8 °Brix, pH, Peso rodajas de arándano muestra 2

Tiempo (h)	°Brix		pH		Peso rodajas de arándano	
	Repetición I	Repetición II	Repetición I	Repetición II	Repetición I	Repetición II
0	50	50	3.20	3.65	30.013	30.053
1	46.5	47.3	2.16	2.45	25.593	26.484
4	42.6	43.50	1.90	2.15	21.350	21.016

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla III-9 se observan las mediciones de °Brix, pH, y peso de rodajas de arándano para la muestra tres de características: relación 5:1, 70°Brix, agitación 100 rpm, temperatura 40°C, tiempo de tratamiento 4 horas.

Tabla III-9 °Brix, pH, Peso de rodajas de arándano muestra 3

Tiempo (h)	°Brix		pH		Peso rodajas de arándano	
	Repetición I	Repetición II	Repetición I	Repetición II	Repetición I	Repetición II
0	70	70.4	4.21	4.70	30.642	30.465
1	65.6	65.1	3.02	2.92	26.393	25.772
4	62	61.7	2.46	2.50	18.550	20.410

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla III-10 se observan las mediciones de °Brix, pH, y peso de rodajas de arándano para la muestra cuatro de características: relación 5:1, 50°Brix, agitación 100 rpm, temperatura 40°C, tiempo de tratamiento 4 horas.

Tabla III-10 °Brix, pH, Peso de rodajas de arándano muestra 4

Tiempo (h)	°Brix		pH		Peso rodajas de arándano	
	Repetición I	Repetición II	Repetición I	Repetición II	Repetición I	Repetición II
0	50	50.2	3.20	3.91	30.438	30.382
1	47.1	47.8	2.35	3.14	26.682	25.743
4	44.2	45.30	2.07	3.00	19.943	20.845

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla III-11 se observan las mediciones de °Brix, pH, y peso de rodajas de arándano para la muestra cinco de características: relación 5:1, 70°Brix, agitación 100 rpm, temperatura 50°C, tiempo de tratamiento 3 horas.

Tabla III-11 °Brix, pH, Peso de rodajas de arándano muestra 5

Tiempo (h)	°Brix		pH		Peso rodajas de arándano	
	Repetición I	Repetición II	Repetición I	Repetición II	Repetición I	Repetición II
0	70.8	70.1	4.05	4.47	30.304	30.462
1	66.0	65.5	2.54	3.33	24.845	25.662
3	63.5	63.0	2.18	3.09	20.673	20.982

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla III-12 se observan las mediciones de °Brix, pH, y peso de rodajas de arándano para la muestra seis de características: relación 5:1, 50°Brix, agitación 100 rpm, temperatura 50°C, tiempo de tratamiento 3 horas.

Tabla III-12 °Brix, pH, Peso de rodajas de arándano muestra 6

Tiempo (h)	°Brix		pH		Peso rodajas de arándano	
	Repetición I	Repetición II	Repetición I	Repetición II	Repetición I	Repetición II
0	50.3	50	3.33	3.92	30.630	30.605
1	46.8	47.2	2.16	2.42	23.450	22.556
3	44.5	45.1	1.99	2.23	20.565	20.329

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla III-13 se observan las mediciones de °Brix, pH, y peso de rodajas de arándano para la muestra siete de características: relación 5:1, 70°Brix, agitación 100 rpm, temperatura 40°C, tiempo de tratamiento 3 horas.

Tabla III-13 °Brix, pH, Peso de rodajas de arándano muestra 7

Tiempo (h)	°Brix		pH		Peso rodajas de arándano	
	Repetición I	Repetición II	Repetición I	Repetición II	Repetición I	Repetición II
0	70.8	70.1	4.05	2.24	30.450	30.927
1	66.4	66.6	2.57	3.50	27.686	27.374
3	63.1	64.4	2.33	2.24	20.435	21.843

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla III-14 se observan las mediciones de °Brix, pH, y peso de rodajas de arándano para la muestra ocho de características: relación 5:1, 50°Brix, agitación 100 rpm, temperatura 40°C, tiempo de tratamiento 3 horas.

Tabla III-14 °Brix, pH, Peso de rodajas de arándano muestra 8

Tiempo (h)	°Brix		pH		Peso rodajas de arándano	
	Repetición I	Repetición II	Repetición I	Repetición II	Repetición I	Repetición II
0	50.3	50.3	3.35	4.10	30.556	30.215
1	46.9	48.3	2.54	3.20	23.678	22.543
3	44.6	43.6	2.12	3.15	21.024	21.891

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla III-15 se observan las mediciones de °Brix, pH, y peso de rodajas de arándano para la muestra nueve de características: relación 5:1, 70°Brix, agitación 100 rpm, temperatura 50°C, tiempo de tratamiento 2 horas.

Tabla III-15 °Brix, pH, Peso de rodajas de arándanos muestra 9

Tiempo (h)	°Brix		pH		Peso rodajas de arándano	
	Repetición I	Repetición II	Repetición I	Repetición II	Repetición I	Repetición II
0	70	70.1	3.86	3.97	30.447	30.227
1	65.9	64.8	2.92	2.23	23.544	24.667
2	64.2	63.7	2.71	2.30	20.676	22.937

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla III-16 se observan las mediciones de °Brix, pH, y peso de rodajas de arándano para la muestra diez de características: relación 5:1, 50°Brix, agitación 100 rpm, temperatura 50°C, tiempo de tratamiento 2 horas.

Tabla III-16 °Brix, pH, Peso de rodajas de arándano muestra 10

Tiempo (h)	°Brix		pH		Peso rodajas de arándano	
	Repetición I	Repetición II	Repetición I	Repetición II	Repetición I	Repetición II
0	50.3	50.3	3.18	4.23	30.264	30.483
1	48.3	47.8	2.38	3.67	25.962	25.472
2	46.9	46.2	2.1	3.12	21.577	22.074

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla III-17 se observan las mediciones de °Brix, pH, y peso de rodajas de arándano para la muestra once de características: relación 5:1, 70°Brix, agitación 100 rpm, temperatura 40°C, tiempo de tratamiento 2 horas.

Tabla III-17 °Brix, pH, Peso de rodajas de arándano muestra 11

Tiempo (h)	°Brix		pH		Peso rodajas de arándano	
	Repetición I	Repetición II	Repetición I	Repetición II	Repetición I	Repetición II
0	70.1	70.1	3.86	4.03	30.349	30.184
1	65.1	66.1	2.84	3.66	24.980	25.837
2	63.2	63.9	2.78	3.19	21.091	23.627

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla III-18 se observan las mediciones de °Brix, pH, y peso de rodajas de arándano para la muestra doce de características: relación 5:1, 50°Brix, agitación 100 rpm, temperatura 40°C, tiempo de tratamiento 2 horas.

Tabla III-18 °Brix, pH, Peso de rodajas de arándano muestra 12

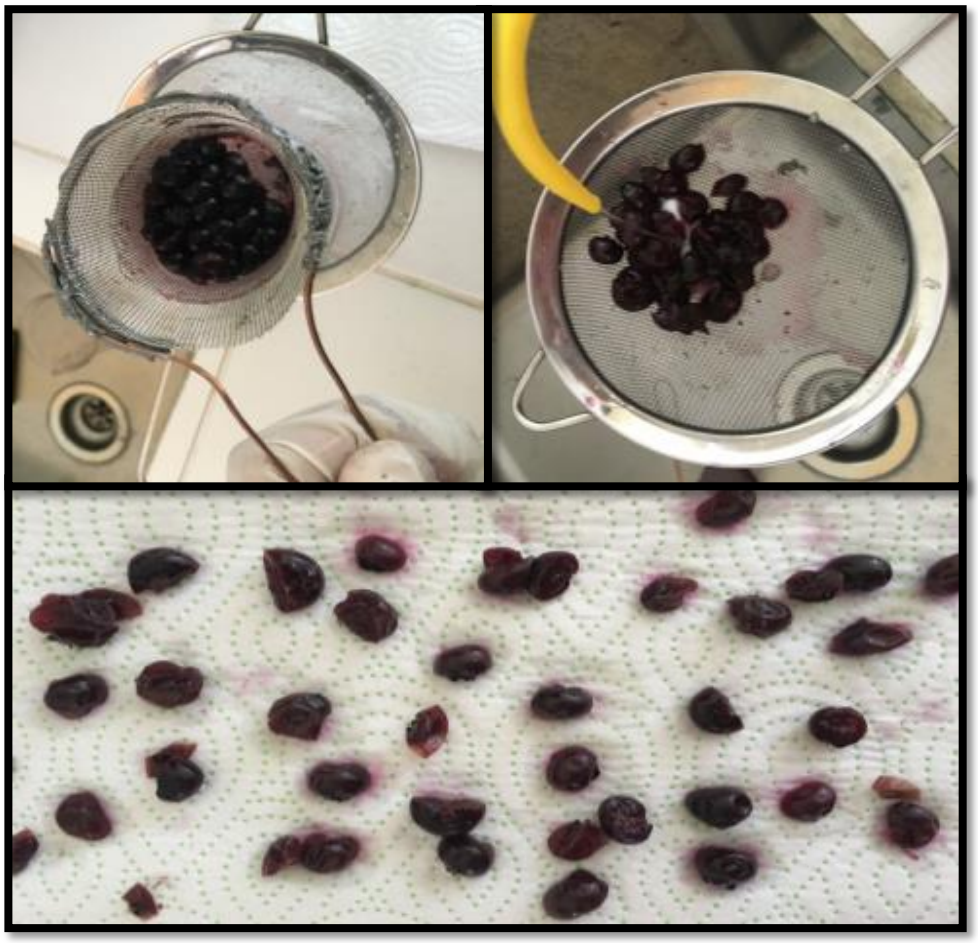
Tiempo (h)	°Brix		pH		Peso rodajas de arándano	
	Repetición I	Repetición II	Repetición I	Repetición II	Repetición I	Repetición II
0	50.3	50.3	3.22	4.21	30.104	30.148
1	46.7	46.7	2.69	3.72	24.982	25.036
2	45.2	45.9	2.16	3.17	21.140	22.194

Fuente: Elaboración propia

3.6.8. Lavado y escurrido

Una vez finalizado el tiempo de inmersión se extrajo la muestra de la solución dejándola escurrir en un colador; posteriormente se efectuó el enjuague o lavado superficial de los trozos de arándano con la intención de eliminar los restos de jarabe; finalmente se escurrió nuevamente la muestra para proceder así con el secado mecánico superficial de los trozos de arándano osmodeshidratados con papel absorbente. Las etapas mencionadas se pueden apreciar en la siguiente figura.

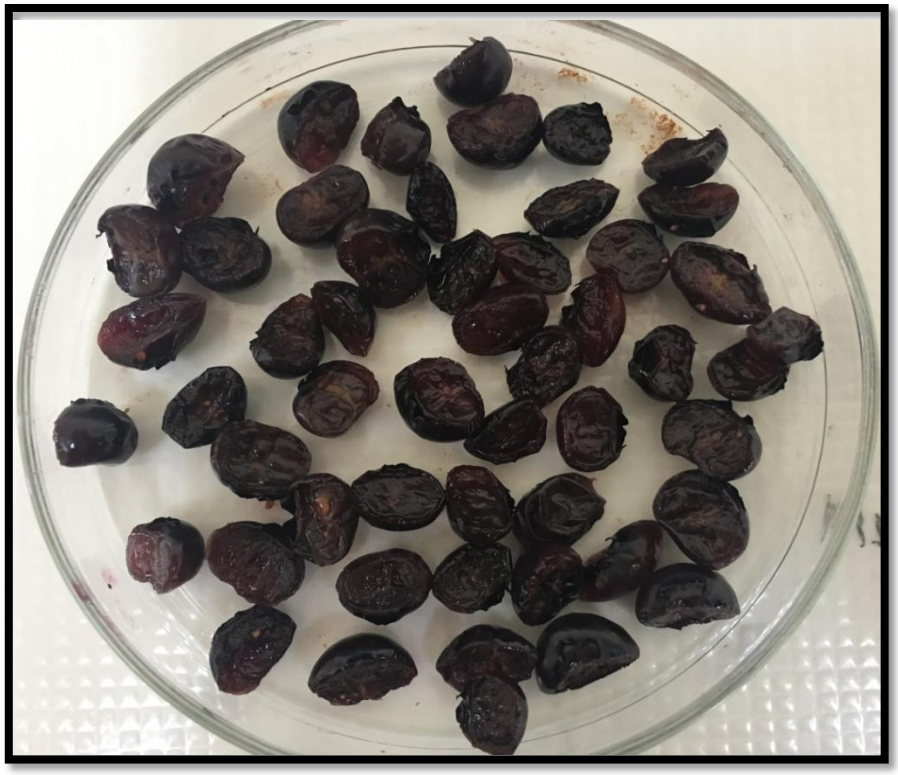
Figura 3-9 Escurrido, lavado y secado superficial del arándano al finalizar la deshidratación



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 3-10 se puede apreciar los trozos de arándano una vez finalizado el proceso de deshidratación osmótica.

Figura 3-10 Arándano osmodeshidratado



Fuente: Elaboración propia.

3.6.9. Secado

La finalidad de esta etapa es alcanzar una mayor estabilidad del producto deshidratado. Este proceso se llevó a cabo en un secador de bandejas a una temperatura de 50 °C, la cual se mantuvo constante durante todo el proceso evitando así la pérdida nutricional del producto y el deterioro físico del mismo.

El tiempo de secado varía según el tipo de muestra; se procedió a tomar los datos cada hora dependiendo del tiempo que tardó la unidad experimental en alcanzar el peso constante. El procedimiento para la medición de pérdida de peso y la elaboración de las curvas se puede apreciar en el Anexo II.

En las tablas III-19, III-20, III-21, III-22, III-23, III-24, III-25, III-26, III-27, III-28, III-29, III-30 se exponen los datos obtenidos para la elaboración de las respectivas curvas de secado para cada muestra, estas curvas se pueden ver a continuación de las

tablas en las figuras 3-11, 3-12, 3-13, 3-14, 3-14, 3-16, 3-17, 3-18, 3-19, 3-20, 3-21, 3-22, que se efectuaron para las doce primeras muestras en vista que la segunda repetición presenta datos similares.

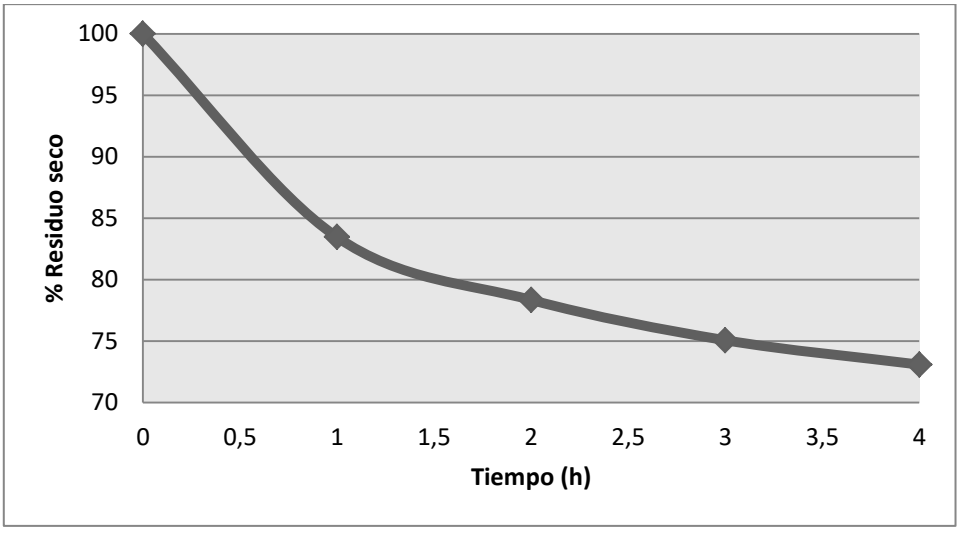
En la tabla III-19 se observa los datos obtenidos cada hora hasta mantener un peso constante de la muestra uno; a partir de estos datos se elaboró la curva de secado que se muestra en la figura 3-11; esta muestra cuenta con las siguientes especificaciones: relación 5:1, 70°Brix, agitación 100 rpm, temperatura 50 °C, tiempo 4 horas de deshidratación osmótica.

Tabla III-19 Datos para elaboración de curva de secado, muestra 1

Muestra	Tiempo de secado (h)	Peso de la muestra (g)	Residuo seco (%)
1	0	20.647	100
	1	17.232	83
	2	16.176	78
	3	15.500	75
	4	15.090	73

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-11 Curva de secado muestra 1



Fuente: Elaboración propia.

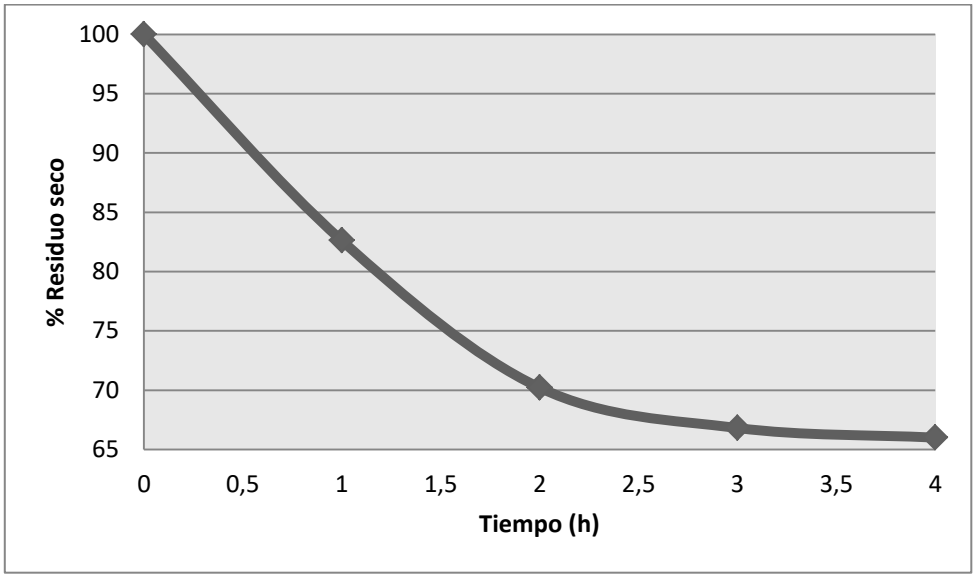
En la tabla III-20 se observa los datos obtenidos cada hora hasta mantener un peso constante de la muestra dos; a partir de estos datos se elaboró la curva de secado que se muestra en la figura 3-12; esta muestra cuenta con las siguientes especificaciones: relación 5:1, 50°Brix, agitación 100 rpm, temperatura 50°C, tiempo 4 horas de deshidratación osmótica.

Tabla III-20 Datos para elaboración de curva de secado, muestra 2

Muestra	Tiempo de secado (h)	Peso de la muestra (g)	Residuo seco (%)
2	0	20.156	100
	1	16.653	83
	2	14.153	70
	3	13.467	67
	4	13.303	66

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-12 Curva de secado muestra 2



Fuente: Elaboración propia.

En la tabla III-21 se observa los datos obtenidos cada hora hasta mantener un peso constante de la muestra tres; a partir de estos datos se elaboró la curva de secado que se muestra en la figura 3-13; esta muestra cuenta con las siguientes especificaciones:

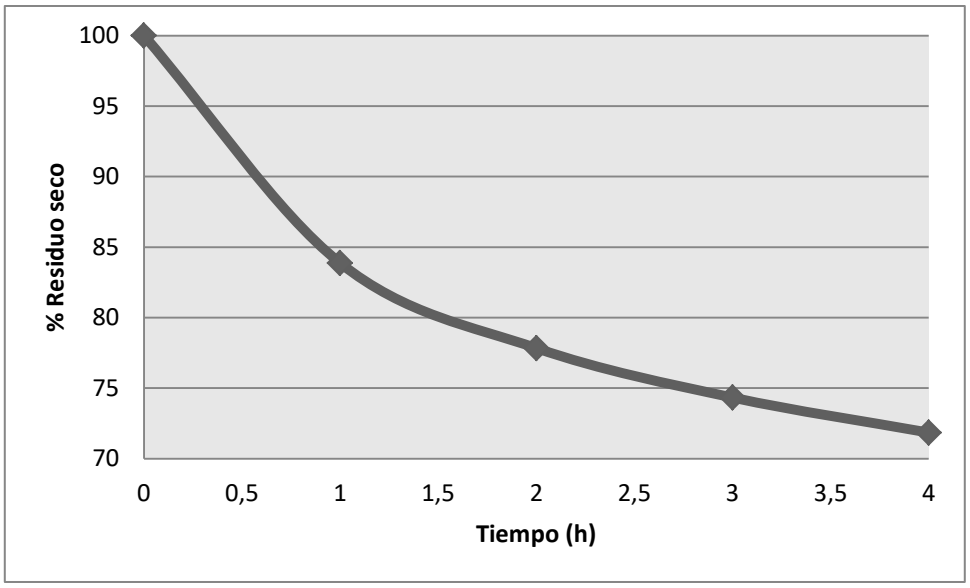
relación 5:1, 70°Brix, agitación 100 rpm, temperatura 40°C, tiempo 4 horas de deshidratación osmótica.

Tabla III-21 Datos para elaboración de curva de secado, muestra 3

Muestra	Tiempo de secado (h)	Peso de la muestra (g)	Residuo seco (%)
3	0	18.550	100
	1	15.557	84
	2	14.438	78
	3	13.788	74
	4	13.327	72

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-13 Curva de secado muestra 3



Fuente: Elaboración propia.

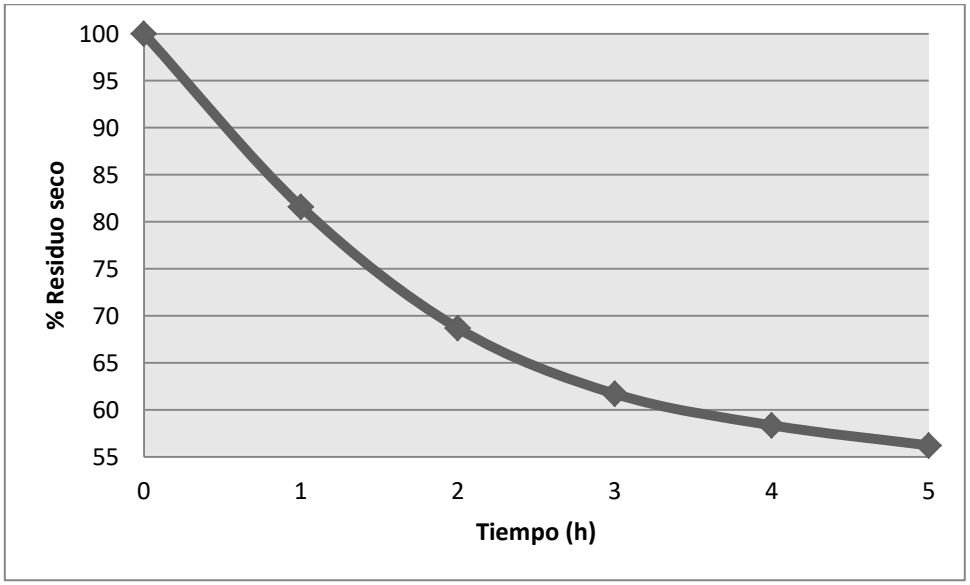
En la tabla III-22 se observa los datos obtenidos cada hora hasta mantener un peso constante de la muestra cuatro; a partir de estos datos se elaboró la curva de secado que se muestra en la figura 3-14; esta muestra cuenta con las siguientes especificaciones: relación 5:1, 50°Brix, agitación 100 rpm, temperatura 40°C, tiempo 4 horas de deshidratación osmótica.

Tabla III-22 Datos para elaboración de curva de secado, muestra 4

Muestra	Tiempo de secado (h)	Peso de la muestra (g)	Residuo seco (%)
4	0	19.943	100
	1	16.272	82
	2	13.696	69
	3	12.304	62
	4	11.636	58
	5	10.209	56

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-14 Curva de secado, muestra 4



Fuente: Elaboración propia.

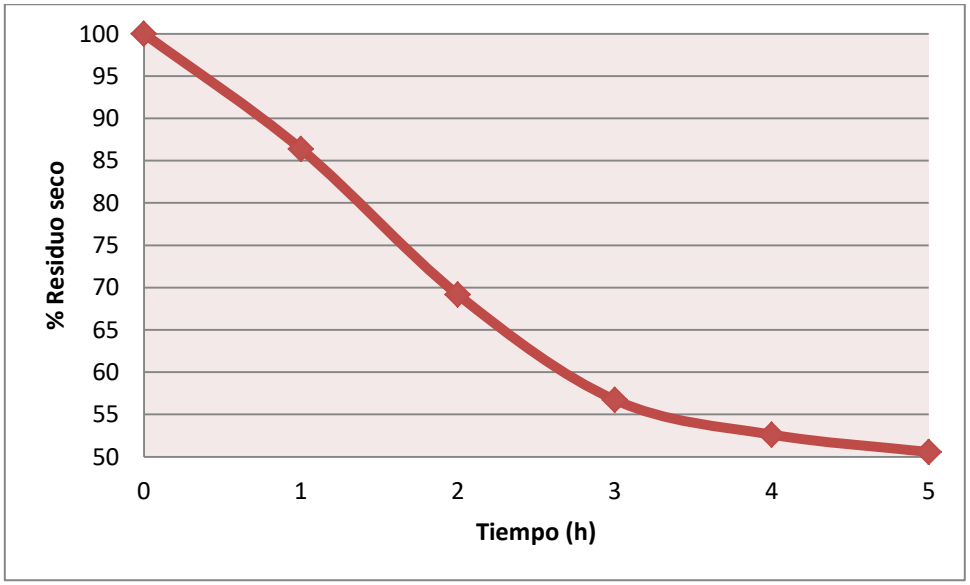
En la tabla III-23 se observa los datos obtenidos cada hora hasta mantener un peso constante de la muestra cinco; a partir de estos datos se elaboró la curva de secado que se muestra en la figura 3-15; esta muestra cuenta con las siguientes especificaciones: relación 5:1, 70°Brix, agitación 100 rpm, temperatura 50°C, tiempo 3 horas de deshidratación osmótica.

Tabla III-23 Datos para elaboración de curva de secado, muestra 5

Muestra	Tiempo de secado (h)	Peso de la muestra (g)	Residuo seco (%)
5	0	20.673	100
	1	17.857	86
	2	14.297	69
	3	11.727	57
	4	10.877	53
	5	10.452	51

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-15 Curva de secado muestra 5



Fuente: Elaboración propia.

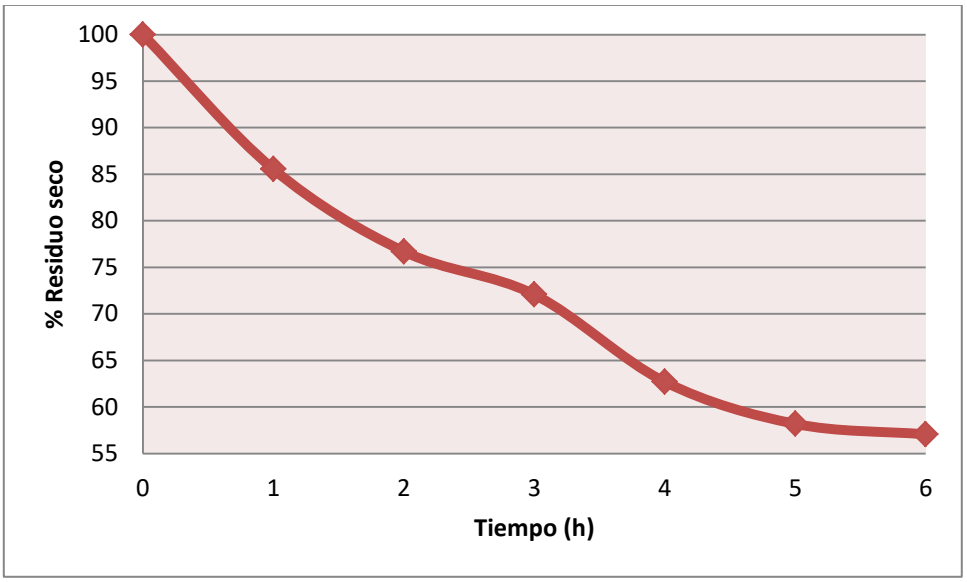
En la tabla III-24 se observa los datos obtenidos cada hora hasta mantener un peso constante de la muestra seis; a partir de estos datos se elaboró la curva de secado que se muestra en la figura 3-16; esta muestra cuenta con las siguientes especificaciones: relación 5:1, 50°Brix, agitación 100 rpm, temperatura 50°C, tiempo 3 horas de deshidratación osmótica.

Tabla III-24 Datos para elaboración de curva de secado, muestra 6

Muestra	Tiempo de secado (h)	Peso de la muestra (g)	Residuo seco (%)
6	0	20.565	100
	1	17.593	86
	2	15.774	77
	3	14.822	72
	4	12.895	63
	5	11.966	58
	6	11.734	57

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-16 Curva de secado muestra 6



Fuente: Elaboración propia.

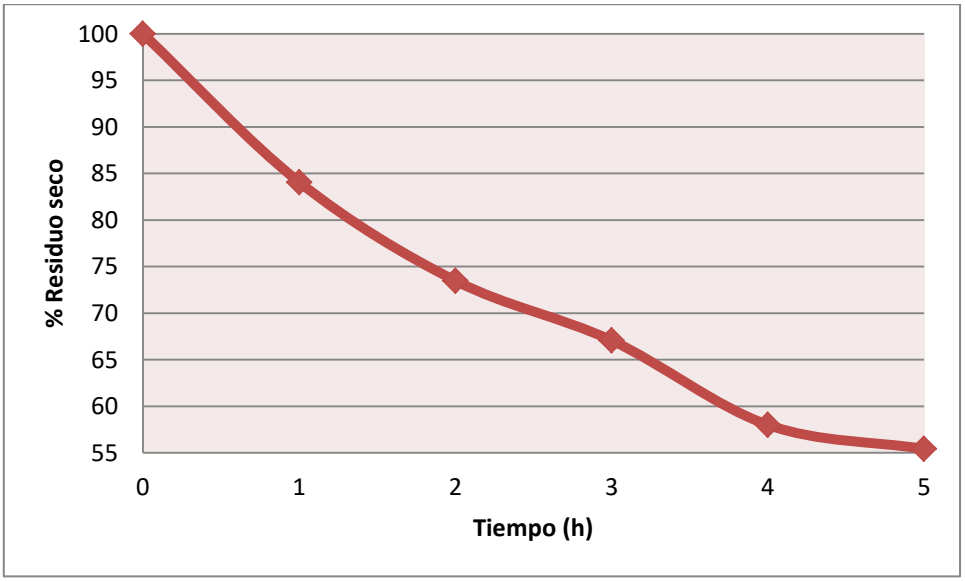
En la tabla III-25 se observa los datos obtenidos cada hora hasta mantener un peso constante de la muestra siete; a partir de estos datos se elaboró la curva de secado que se muestra en la figura 3-17; esta muestra cuenta con las siguientes especificaciones: relación 5:1, 70°Brix, agitación 100 rpm, temperatura 40°C, tiempo 3 horas de deshidratación osmótica.

Tabla III-25 Datos para elaboración de curva de secado, muestra 7

Muestra	Tiempo de secado (h)	Peso de la muestra (g)	Residuo seco (%)
7	0	20.435	100
	1	17.181	84
	2	15.017	73
	3	13.707	67
	4	11.855	58
	5	11.327	55

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-17 Curva de secado muestra 7



Fuente: Elaboración propia.

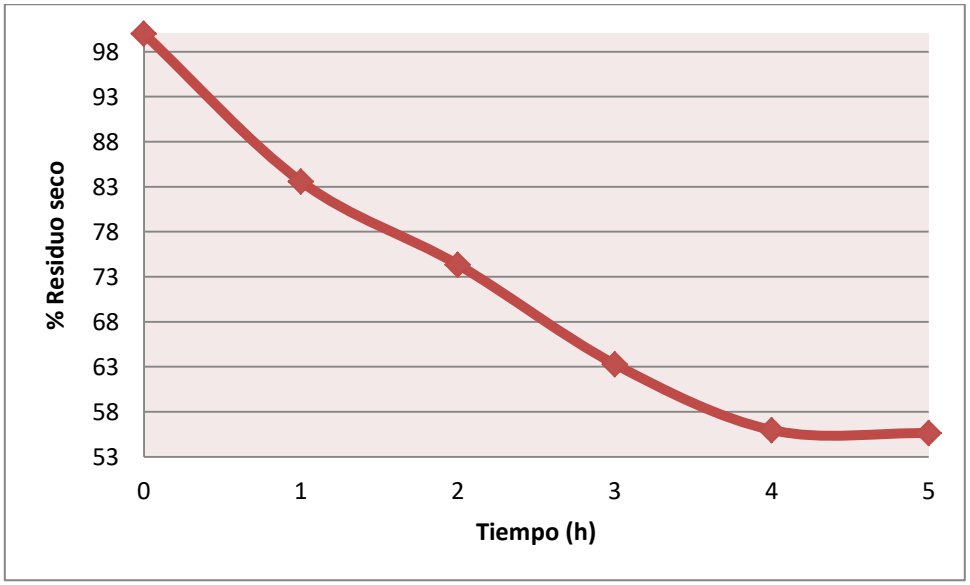
En la tabla III-26 se observa los datos obtenidos cada hora hasta mantener un peso constante de la muestra ocho; a partir de estos datos se elaboró la curva de secado que se muestra en la figura 3-18; esta muestra cuenta con las siguientes especificaciones: relación 5:1, 50°Brix, agitación 100 rpm, temperatura 40°C, tiempo 3 horas de deshidratación osmótica.

Tabla III-26 Datos para elaboración de curva de secado, muestra 8

Muestra	Tiempo de secado (h)	Peso de la muestra (g)	Residuo seco (%)
8	0	21.024	100
	1	17.573	84
	2	15.630	74
	3	13.305	63
	4	11.767	56
	5	11.694	56

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-18 Curva de secado muestra 8



Fuente: Elaboración propia.

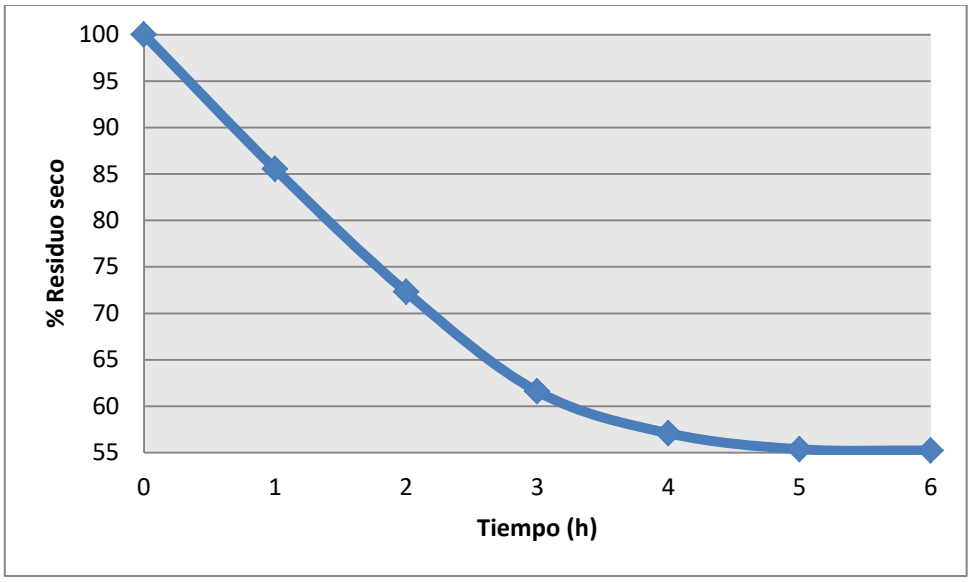
En la tabla III-27 se observa los datos obtenidos cada hora hasta mantener un peso constante de la muestra nueve; a partir de estos datos se elaboró la curva de secado que se muestra en la figura 3-19; esta muestra cuenta con las siguientes especificaciones: relación 5:1, 70°Brix, agitación 100 rpm, temperatura 50°C, tiempo 2 horas de deshidratación osmótica.

Tabla III-27 Datos para elaboración de curva de secado, muestra 9

Muestra	Tiempo de secado (h)	Peso de la muestra (g)	Residuo seco (%)
9	0	20.676	100
	1	17.684	86
	2	14.949	72
	3	12.736	62
	4	11.805	57
	5	11.449	55
	6	11.422	55

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-19 Curva de secado muestra 9



Fuente: Elaboración propia.

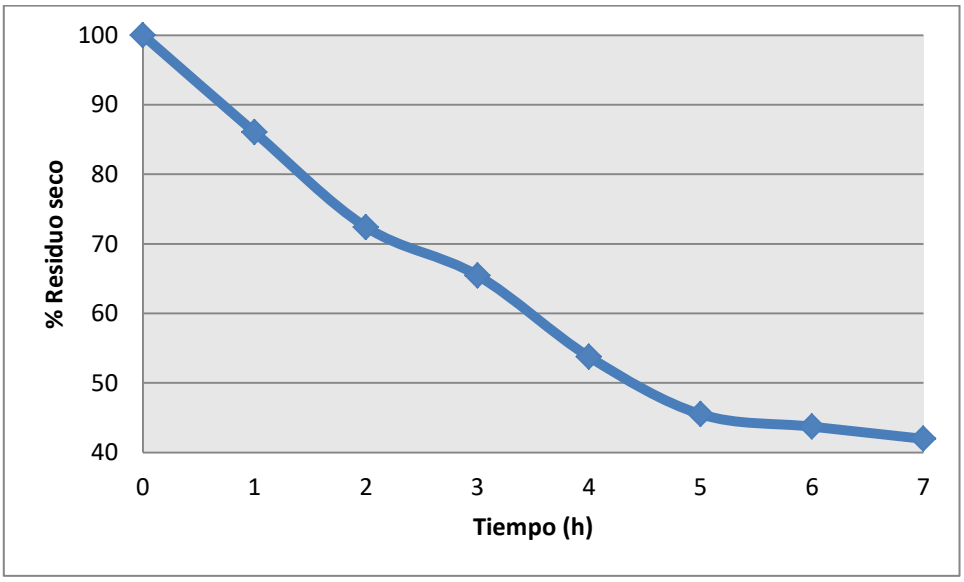
En la tabla III-28 se observa los datos obtenidos cada hora hasta mantener un peso constante de la muestra diez; a partir de estos datos se elaboró la curva de secado que se muestra en la figura 3-20; esta muestra cuenta con las siguientes especificaciones: relación 5:1, 50°Brix, agitación 100 rpm, temperatura 50°C, tiempo 2 horas de deshidratación osmótica.

Tabla III-28 Datos para elaboración de curva de secado, muestra 10

Muestra	Tiempo de secado (h)	Peso de la muestra (g)	Residuo seco (%)
10	0	21.577	100
	1	18.567	86
	2	15.625	72
	3	14.125	65
	4	11.600	54
	5	10.320	48
	6	9.432	44
	7	9.054	42

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-20 Curva de secado muestra 10



Fuente: Elaboración propia.

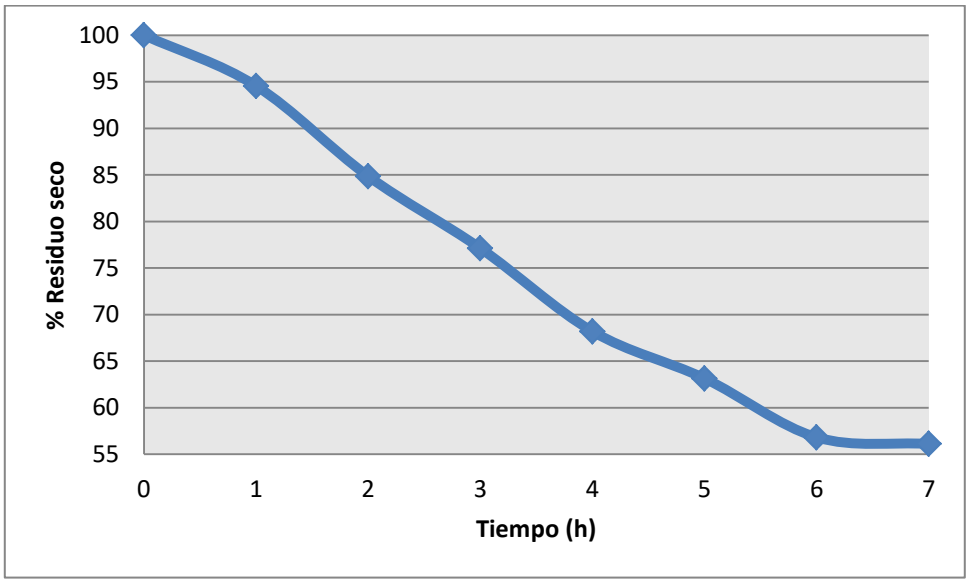
En la tabla III-29 se observa los datos obtenidos cada hora hasta mantener un peso constante de la muestra once; a partir de estos datos se elaboró la curva de secado que se muestra en la figura 3-21; esta muestra cuenta con las siguientes especificaciones: relación 5:1, 70°Brix, agitación 100 rpm, temperatura 40°C, tiempo 2 horas de deshidratación osmótica.

Tabla III-29 Datos para elaboración de curva de secado, muestra 11

Muestra	Tiempo de secado (h)	Peso de la muestra (g)	Residuo seco (%)
11	0	21.091	100
	1	19.941	95
	2	17.896	85
	3	16.265	77
	4	14.382	68
	5	13.317	63
	6	13.983	57
	7	13.833	56

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-21 Curva de secado muestra 11



Fuente: Elaboración propia.

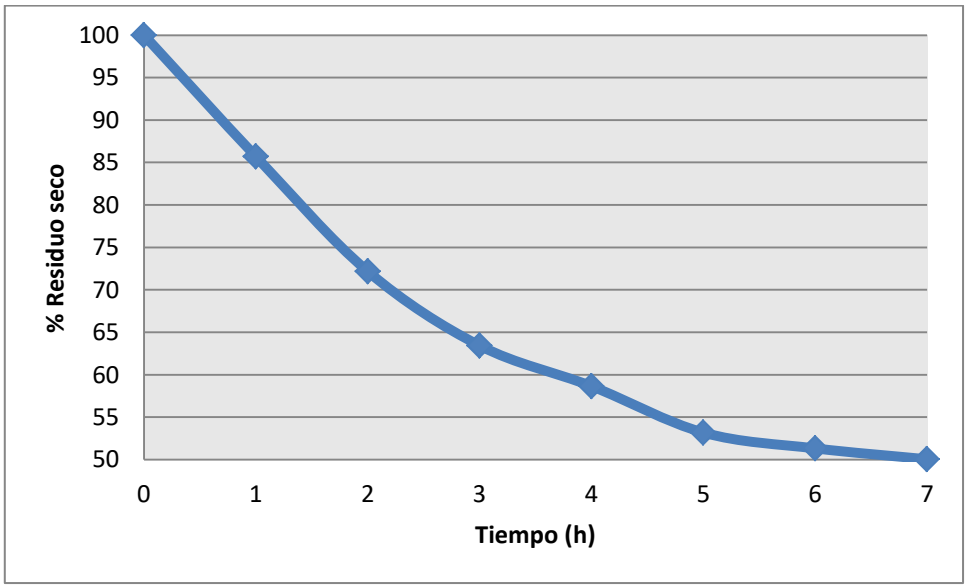
En la tabla III-30 se observa los datos obtenidos cada hora hasta mantener un peso constante de la muestra doce; a partir de estos datos se elaboró la curva de secado que se muestra en la figura 3-22; esta muestra cuenta con las siguientes especificaciones: relación 5:1, 50°Brix, agitación 100 rpm, temperatura 40°C, tiempo 2 horas de deshidratación osmótica.

Tabla III-30 Datos para elaboración de curva de secado, muestra 12

Muestra	Tiempo de secado (h)	Peso de la muestra (g)	Residuo seco (%)
12	0	21.140	100
	1	18.119	86
	2	15.260	72
	3	13.411	63
	4	12.400	59
	5	11.245	53
	6	10.851	51
	7	10.580	50

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-22 Curva de secado muestra 12



Fuente: Elaboración propia.

A continuación, en la figura 3-23 se muestra los trozos de arándano una vez culminado el proceso de secado por aire caliente.

Figura 3-23 Trozos de arándano una vez culminado el proceso de secado

Fuente: Elaboración propia.

3.6.10. Envasado al vacío

El envasado al vació consiste en la eliminación total del aire dentro del envase sin que sea remplazado por otro gas. Se realizó el envasado al vacío con el objetivo de evitar el deterioro del fruto deshidratado provocado por reacciones químicas que se verifican por exposición al aire, temperatura, humedad, oxidación y desarrollo de microorganismos entre otros, incrementando así el tiempo de vida del producto.

Para envasar el producto seco se utilizó bolsas de polietileno selladas al vacío. A continuación, en las figuras 3-24 y 3-25, se puede observar el proceso de sellado al vacío y el producto final envasado respectivamente.

Figura 3-24 Etapa de sellado al vacío

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-25 Envasado del producto osmodeshidratado seco

Fuente: Elaboración propia.

3.6.10.1. Beneficios del empaque al vacío

Respecto a otros sistemas de envasado, el envasado al vacío presenta las siguientes ventajas.

- Los alimentos empacados al vacío mantienen su frescura y sabor de 3 a 5 veces más tiempo que con los métodos convencionales.
- Los alimentos almacenados a bajas temperaturas que cuenten con empaque al vacío, no se encuentran expuestos directamente al aire frío, evitando cualquier tipo de daño al producto, como ser quemaduras.
- La ausencia de aire en el interior del empaque impide la deshidratación del producto, manteniendo su humedad natural.
- Favorece la retención de los compuestos volátiles responsables del aroma.
- La baja concentración de oxígeno que permanece en el envase tras evacuar el aire inhibe el crecimiento de microorganismos aerobios y las reacciones de oxidación (Iglesias, 2001).

3.6.10.2. Inconvenientes del empaque al vacío

Los principales inconvenientes en comparación con otros procesos de envasado son:

- Es un método poco recomendable para productos de textura blanda o frágil, con formas irregulares y para aquellos en los que su presentación es de gran importancia porque pueden deformarse de manera irreversible con el vacío.
- En algunos casos se ha observado que al generar vacío este succiona parte de la materia líquida presente en el alimento.
- En ocasiones, la formación excesiva de arrugas en el material de envasado dificulta la visualización del producto y su presentación final resulta menos agradable (Iglesias, 2001).

3.7. Control de calidad del producto obtenido

Se realizó un control de calidad del producto osmodeshidratado después de un mes de almacenamiento a temperatura ambiente. Para dicho control de calidad se realizó una

evaluación sensorial con el fin de evaluar las características organolépticas del producto como ser: olor, color, sabor y textura.

3.7.1. Evaluación sensorial del producto

Se define el análisis sensorial como la identificación, medida científica, análisis e interpretación de las respuestas a los productos, percibidas a través de los sentidos del gusto, vista, olfato, oído y tacto (Mauriz, 2014).

El método empleado para esta evaluación sensorial se denomina **Escala Hedónica de nueve puntos**; consiste en una lista ordenada de posibles respuestas correspondientes a distintos grados de satisfacción equilibradas alrededor de un punto neutro. El consumidor marca la respuesta que mejor refleja su opinión sobre el producto (Mauriz, 2014).

Cuadro III-1 Escala hedónica de nueve puntos

Valor	Muestra grado de aceptabilidad
1	me disgusta extremadamente
2	me disgusta mucho
3	me disgusta moderadamente
4	me disgusta levemente
5	no me gusta ni me disgusta
6	me gusta levemente
7	me gusta moderadamente
8	me gusta mucho
9	me gusta extremadamente

Fuente: Elaboración propia.

El panel de degustación estuvo integrado por diez jueces elegidos al azar entre hombres y mujeres, los que evaluaron el color, olor, sabor y textura en el producto terminado. A cada una de las características organolépticas se les asignó un porcentaje dependiendo de su importancia para determinar el porcentaje total de la muestra con mayor aceptación.

Siendo los porcentajes asignados los siguientes:

Olor = 20 %

Color = 20 %

Sabor = 40%

Textura = 20 %

Para realizar la evaluación sensorial se empleó un test (Anexo IV), en el que se detallan las características evaluadas en el producto final para cada una de las muestras.

El propósito de esta evaluación es establecer la aceptabilidad de cada producto para seleccionar el producto final.

La siguiente figura expone las muestras dispuestas para la evaluación sensorial.

Figura 3-26 Producto obtenido dispuesto para la evaluación sensorial

Fuente: Elaboración propia.

Los valores promedios obtenidos de la aceptación del producto para cada juez se muestran a continuación en la tabla III-31.

Tabla III-31 Análisis organoléptico del producto osmodeshidratado seco

Número de jueces	Olor	Color	Sabor	Textura
1	6.500	6.667	7.417	7.167
2	6.250	6.250	6.167	6.000
3	5.417	5.308	5.833	5.231
4	5.000	6.167	6.250	5.833
5	7.667	7.846	8.250	7.833
6	5.583	5.667	5.818	5.636
7	6.4167	6.0833	6.9167	5.800
8	6.250	7.667	7.25	7.417
9	6.167	6.333	6.917	6.100
10	6.00	6.500	5.250	6.250

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados experimentales obtenidos para cada muestra se pueden apreciar a continuación en la tabla III-32.

Tabla III-32 Análisis organoléptico de cada muestra osmodeshidratada seca

Muestra	Olor	Color	Sabor	Textura
1	6.3	7.1	6.6	6.9
2	6.3	7.1	7.1	6.5
3	7.1	6.9	7.2	7.1
4	5.9	6.4	5.1	6.0
5	6.7	7.3	7.6	7.3
6	5.9	6.5	6.8	7.2
7	7.3	7.2	8.5	7.8
8	6.7	7.4	6.7	6.6
9	5.9	6.0	6.2	5.4
10	5.3	5.5	6.0	5.4
11	6.1	6.5	6.0	6.3
12	4.6	5.0	5.0	4.4

Fuente: Elaboración propia.

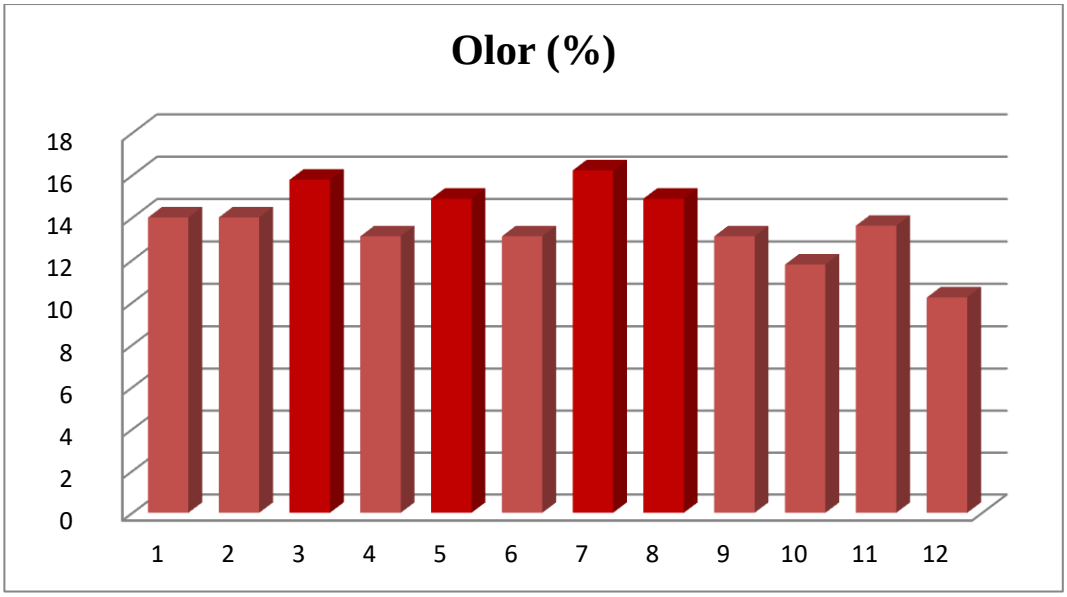
Los porcentajes finales de aceptación del producto osmodeshidratado seco, se pueden apreciar en la tabla III-33 y en los diagramas de barras III-1, III-2, III-3, III-4, III-5.

Tabla III-33 Porcentaje final de aceptación del producto osmodeshidratado seco

Muestra	Olor (%)	Color (%)	Sabor (%)	Textura (%)	Aceptación (%)
1	14.000	15.778	29.333	15.333	74.444
2	14.000	15.778	31.556	14.444	75.778
3	15.778	15.333	32.000	15.778	78.889
4	13.111	14.222	22.667	13.333	63.333
5	14.889	16.222	33.778	16.222	81.111
6	13.111	14.444	30.222	16.000	73.778
7	16.222	16.049	37.778	17.333	87.383
8	14.889	16.444	29.778	14.667	75.778
9	13.111	13.333	27.556	12.000	66.000
10	11.778	12.222	26.667	12.000	62.667
11	13.611	14.444	26.667	14.000	68.722
12	10.222	11.111	22.222	9.778	53.333

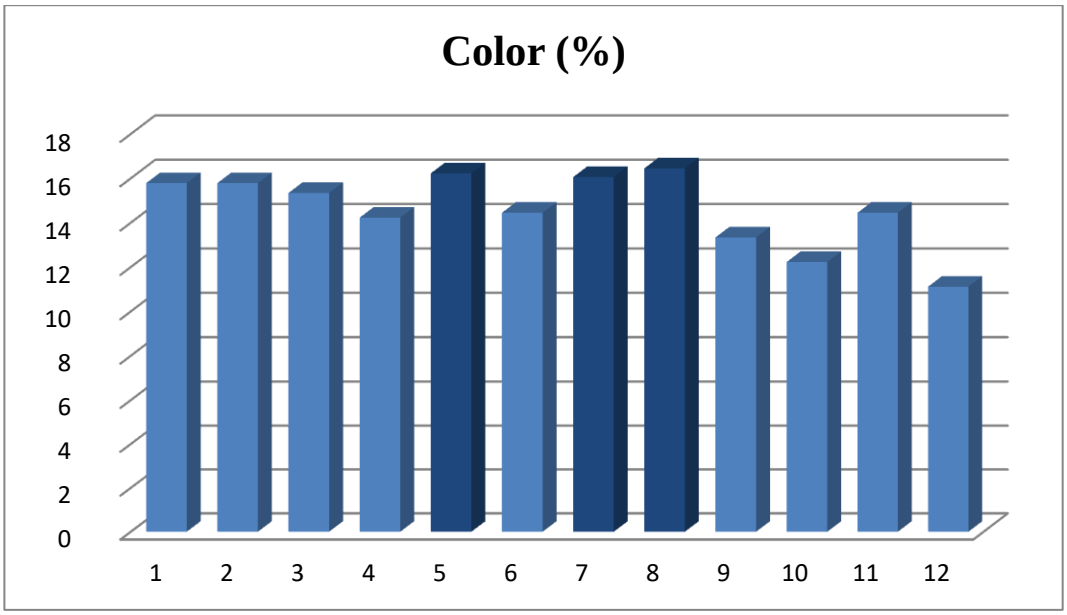
Fuente: Elaboración propia.

Diagrama de barras III-1 Porcentajes de aceptación de la característica organoléptica olor del producto osmodeshidratado seco



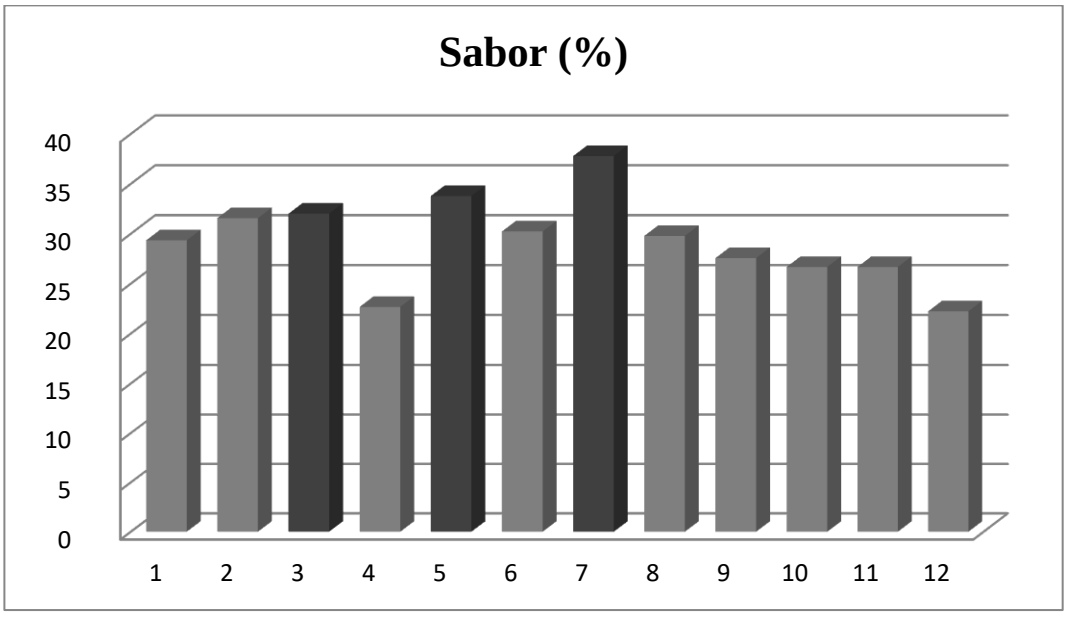
Fuente: Elaboración propia.

Diagrama de barras III-2 Porcentajes de aceptación de la característica organoléptica color del producto osmodeshidratado seco



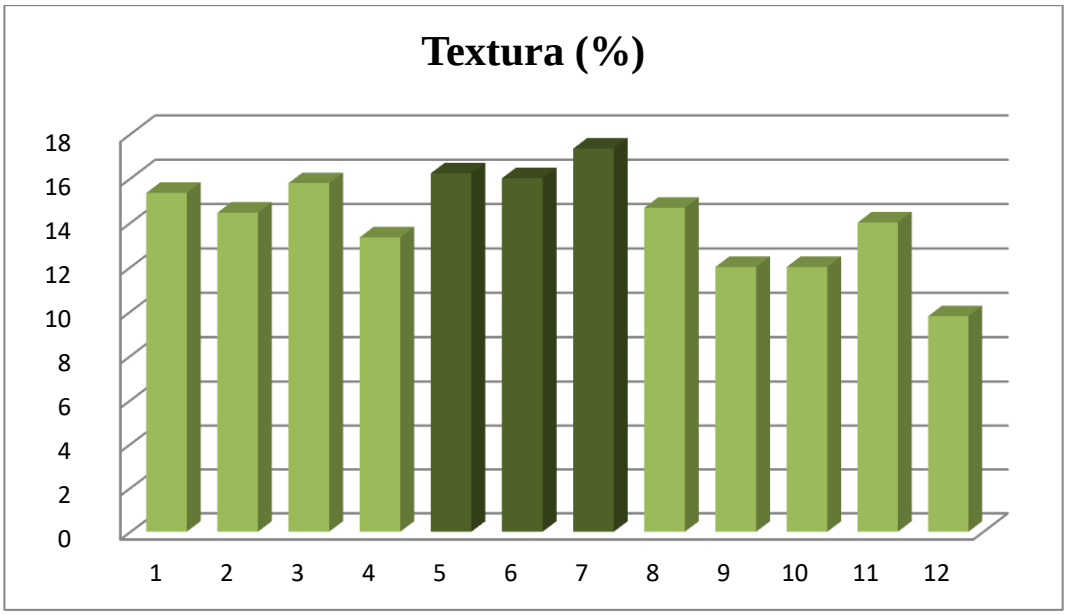
Fuente: Elaboración propia.

Diagrama de barras III-3 Porcentajes de aceptación de la característica organoléptica sabor del producto osmodeshidratado seco



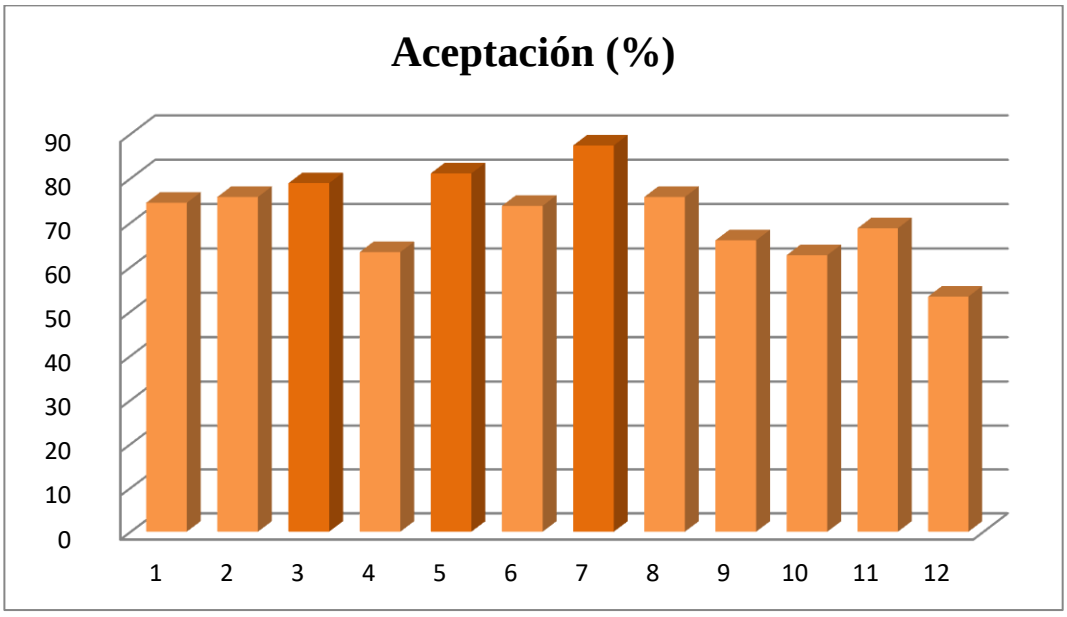
Fuente: Elaboración propia.

Diagrama de barras III-4 Porcentajes de aceptación de la característica organoléptica textura del producto osmodeshidratado seco.



Fuente: Elaboración propia.

Diagrama de barras III-5 Porcentajes finales de aceptación del producto osmodeshidratado seco



Fuente: Elaboración propia.

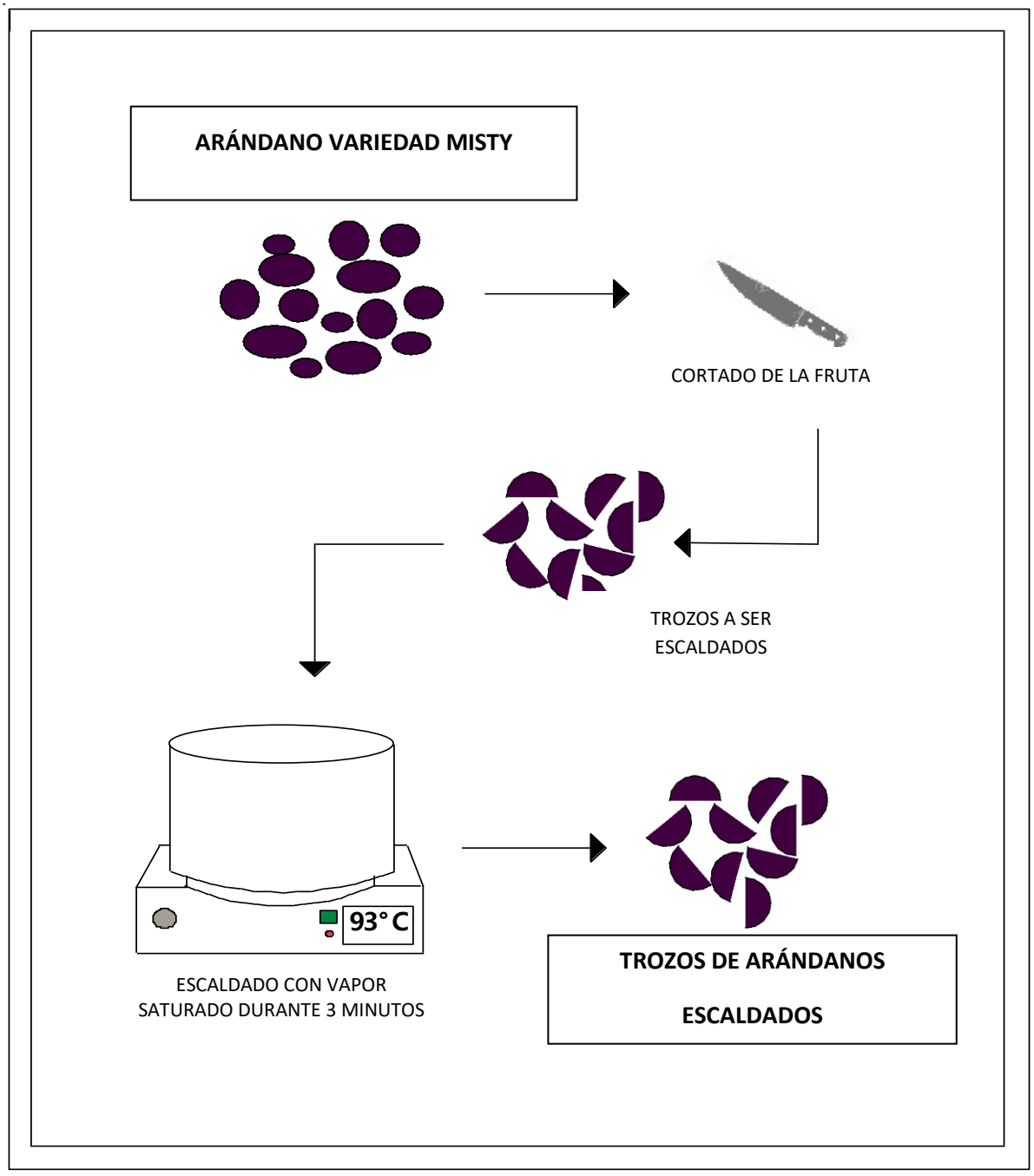
Como se puede observar en la tabla III-3, el arándano osmodeshidratado seco tiene una aceptabilidad superior del 50%. Donde la muestra siete (M7) se destaca sobre las demás en características organolépticas y aceptabilidad, muestra que cuenta con las siguientes características: relación 5:1, 70°Brix, agitación 100 rpm, temperatura 40°C, tiempo 3 horas de deshidratación osmótica.

En cambio, la muestra doce (M12) cuenta con un 53% de aceptabilidad siendo el de menor porcentaje, sus características son: relación 5:1, 50°Brix, agitación 100 rpm, temperatura 40°C, tiempo 2 horas de deshidratación osmótica. Esto hace suponer que la muestra osmodeshidratada seca obtenida pasó un mayor tiempo de secado con aire caliente, dando lugar a la volatilidad de aromas, sabores y pardeamiento del producto final.

3.8. Diagrama de flujo (escala experimental)

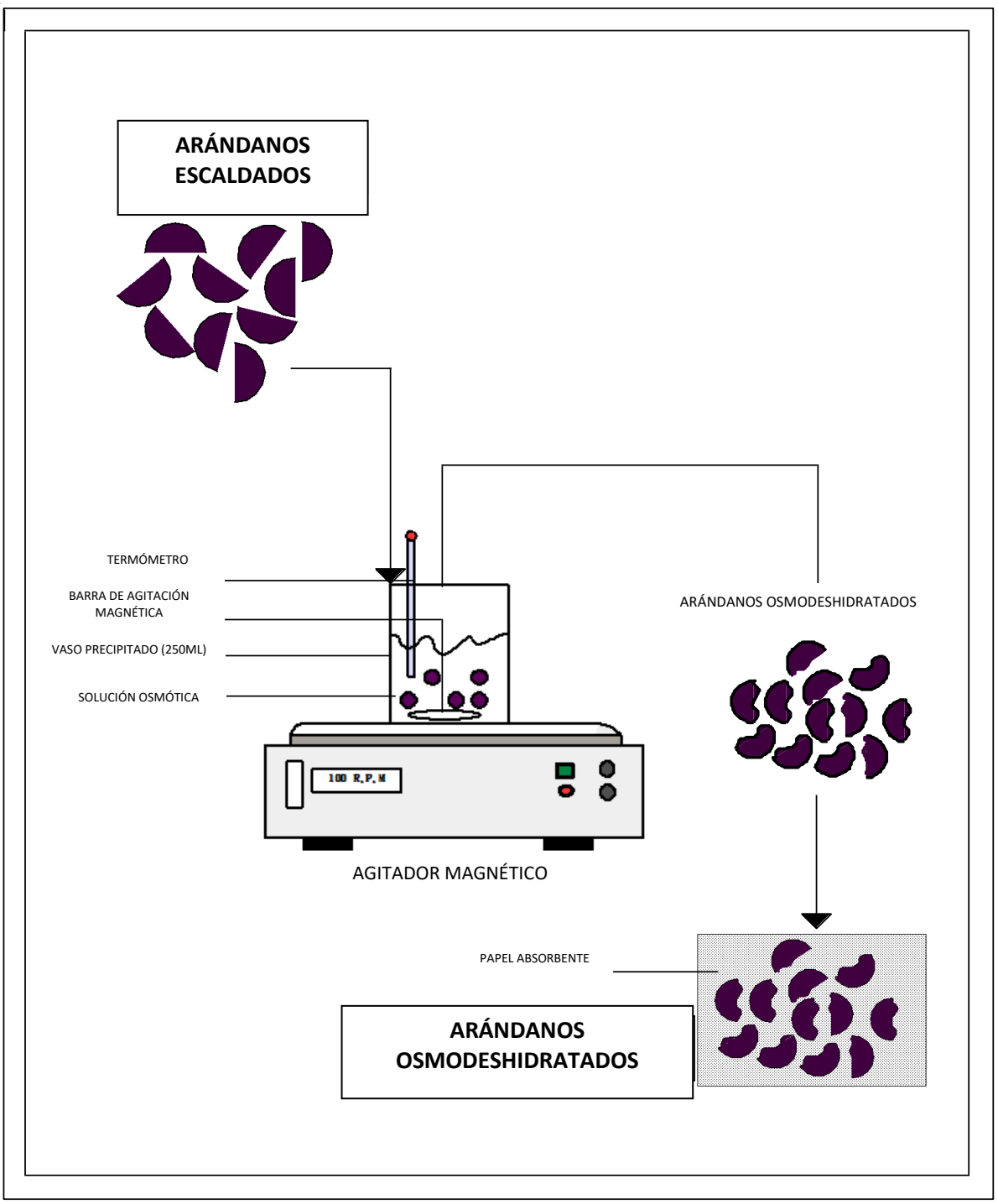
El proceso de deshidratación osmótica utilizado se divide en cuatro subsistemas: Preparación de las rodajas de arándano, deshidratación osmótica, secado en estufa y envasado del producto. Estos se pueden apreciar en los siguientes diagramas.

Diagrama de flujo III-2 Preparación de las rodajas de arándano variedad Misty



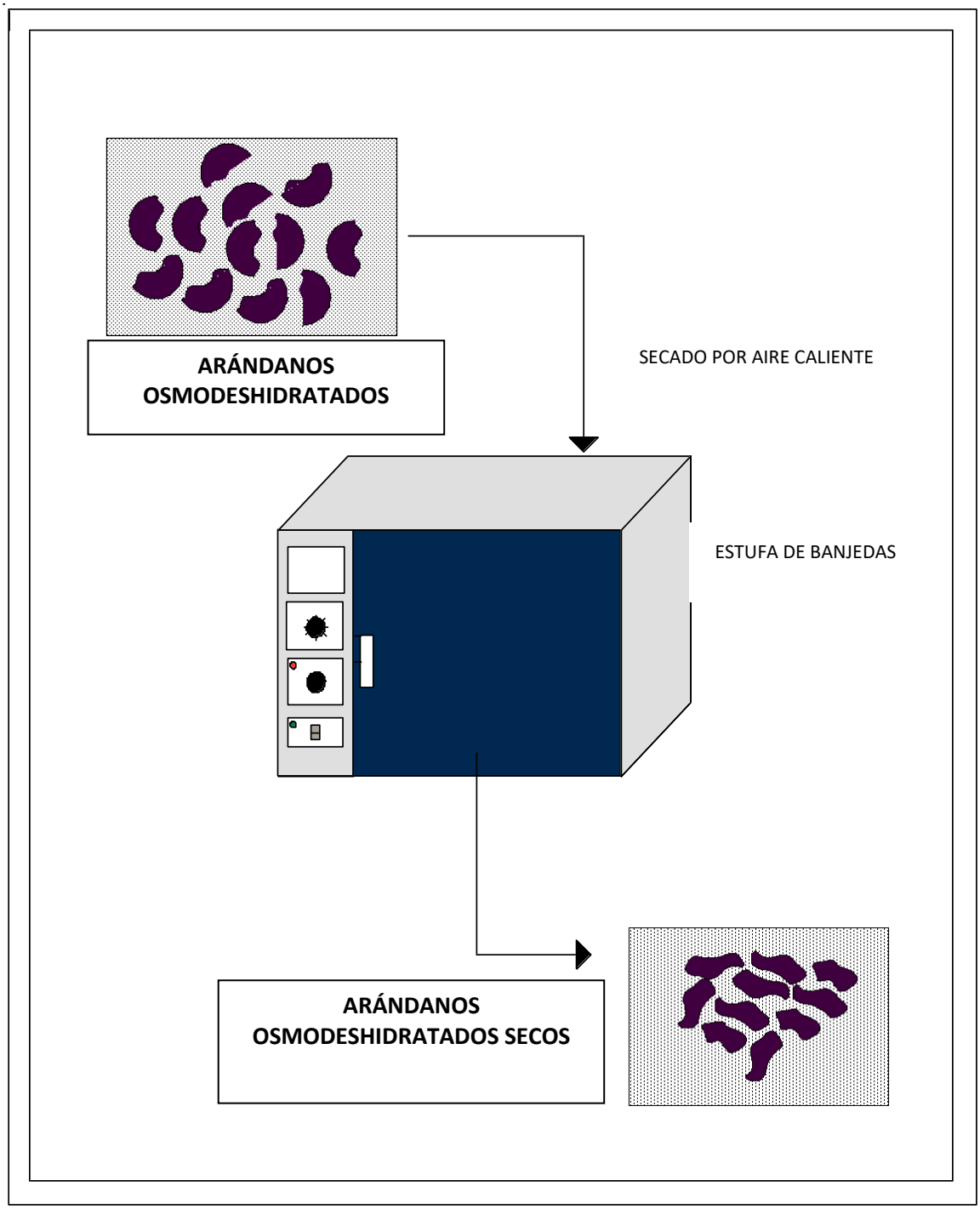
Fuente: Elaboración propia.

Diagrama de flujo III-3 Deshidratación osmótica del arándano



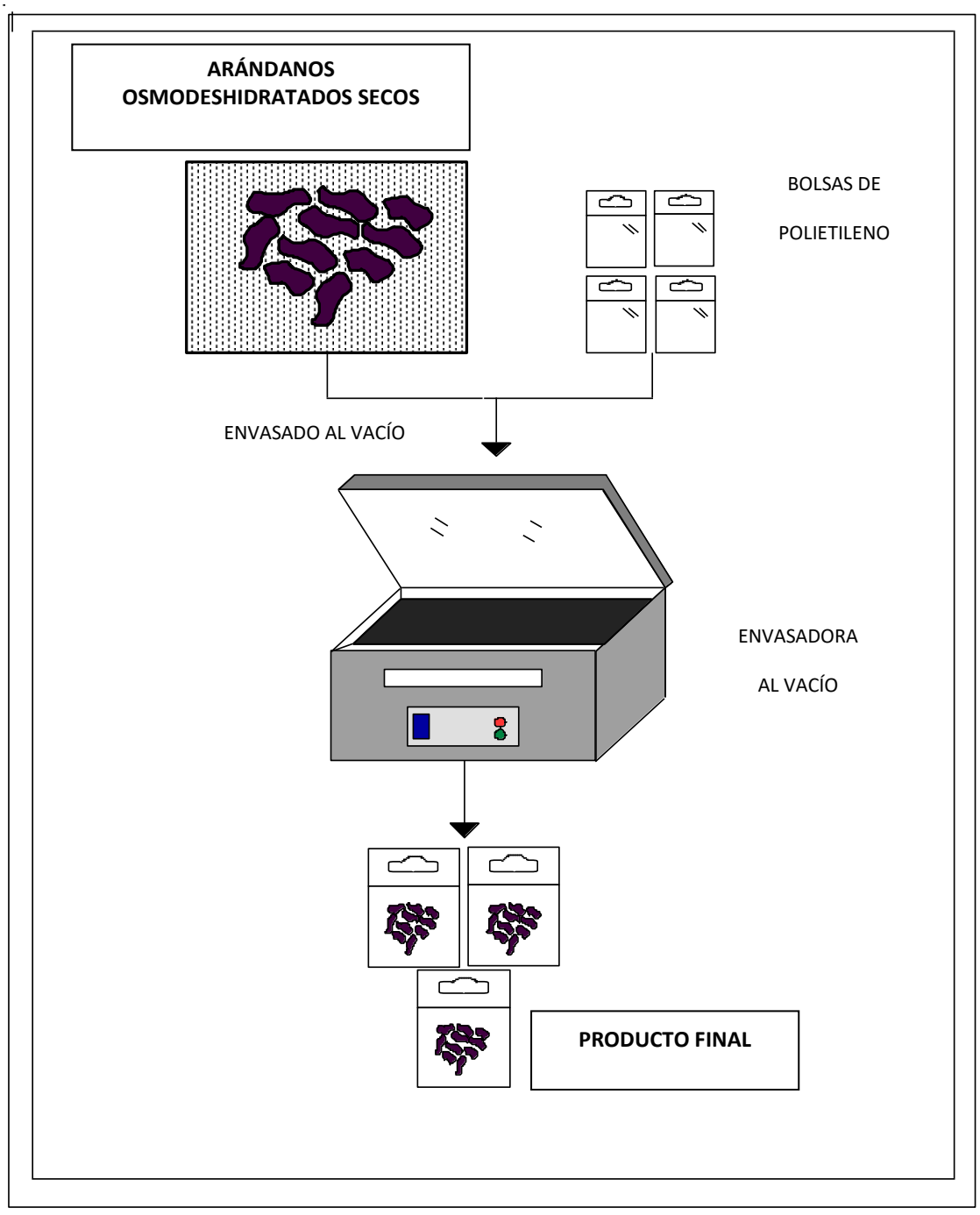
Fuente: Elaboración propia

Diagrama de flujo III-4 Secado por aire caliente



Fuente: Elaboración propia

Diagrama de flujo III-5 Envasado de los trozos de arándano



Fuente: Elaboración propia.

3.9. Balance de materia y energía

3.9.1. Balance de materia

A continuación se expone al balance de materia realizado para la muestra siete (M7), la cual ha sido destacada en cuanto a porcentaje de aceptación del análisis organoléptico. El proceso se realizó en las siguientes condiciones:

- Relación 5:1
- Solución osmótica 70°Brix
- Agitación 100 rpm
- Temperatura de deshidratación osmótica 40°C
- Tiempo de deshidratación osmótica 3 horas
- Temperatura de secado con aire caliente 50°C

En la siguiente tabla se especifican los datos para llevar a cabo el proceso.

Tabla III-34 Datos de proceso de deshidratación osmótica del arándano

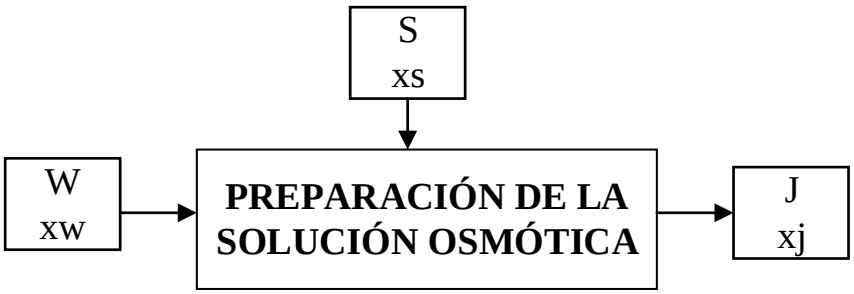
Parámetro	Valor	Unidad
Masa de arándano recibido	1000	g
Masa de arándano utilizado en el proceso	30.450	g
Masa inicial de la solución osmótica	150.045	g
Sólidos solubles iniciales en la solución osmótica	70	°Brix
Sólidos solubles finales en la solución osmótica	63.1	°Brix
Sólidos solubles iniciales en el arándano (*)	13.8	°Brix
Porcentaje de humedad inicial en el arándano (*)	81.387	%
Relación solución osmótica: materia prima	5:1	-
Agitación magnética	100	Rpm
Temperatura de deshidratación osmótica	40	°C
Temperatura de secado con aire caliente	50	°C
Tiempo de deshidratación osmótica	3	h

Fuente: Elaboración propia.

(*) Datos obtenidos en la caracterización de la materia prima (Tabla III-3), parámetros los cuales se analizaron sobre 5 muestras, obteniendo así un valor promedio.

- **Balance de materia en la preparación de la solución osmótica**

Solución osmótica a 50 °Brix para 500 g de solución:



Donde:

W: Agua

S: Sacarosa

J: Solución osmótica

xw: Fracción sólidos solubles en el agua

xs: Fracción de sólidos solubles en la sacarosa

xj: Fracción de sólidos solubles en el jarabe

J = 500 [g]

xw = 0

xj = 0.5

xs = 1

Balance global:

$$W + S = J \quad (3\text{- }1)$$

$$W + S = 500\ [g] \quad (3\text{- }2)$$

Balance parcial para sólidos solubles:

$$W * (xw) + S * (xs) = J * (xj) \quad (3\text{- }3)$$

$$W * (0) + S * (1) = 500\ [g] * (0.5)$$

$$S = 500\ [g] * (0.5)$$

$$S = 250\ [g]$$

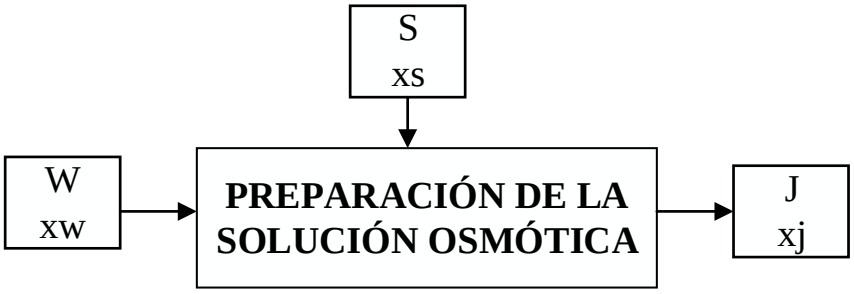
Reemplazando el valor de S en la ecuación (3-2):

$W + 250\ [g] = 500[g]$

$W = 500\ [g] - 250\ [g]$

$W = 250\ [g]$

Solución osmótica a 70 °Brix para 500 g de solución:



Donde:

W: Agua

S: Sacarosa

J: Solución osmótica

xw: Fracción sólidos solubles en el agua

xs: Fracción de sólidos solubles en la sacarosa

xj: Fracción de sólidos solubles en el jarabe

J = 500 [g]

xw = 0

xj = 0.7

xs = 1

Balance global:

$W + S = J$ (3- 4)

$W + S = 500\ [g]$ (3- 5)

Balance parcial para sólidos solubles:

$W * (xw) + S * (xs) = J * (xj)$ (3- 6)

$W * (0) + S * (1) = 500\ [g] * (0.7)$

$S = 500\ [g] * (0.7)$

$S = 350\ [g]$

Reemplazando el valor de S en (3-5):

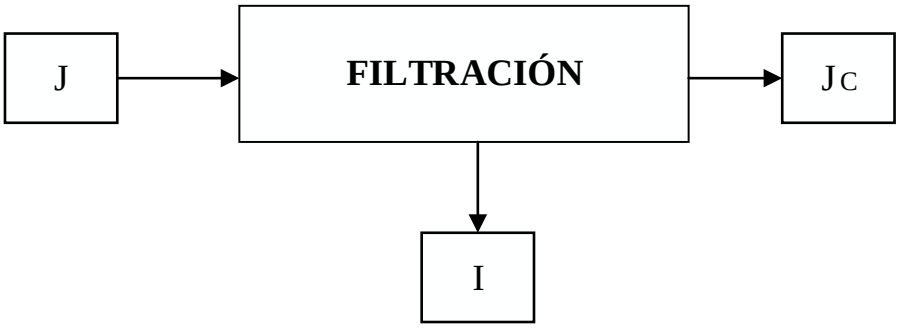
$W + 350\ [g] = 500$

$W = 500\ [g] - 350\ [g]$

$W = 150\ [g]$

- **Balance de materia en el filtrado del jarabe**

La finalidad de esta etapa es retener partículas sólidas o impurezas del azúcar presentes en la solución osmótica obteniendo así un líquido clarificado. El medio utilizado es una tela filtrante.



Donde:

J: Solución osmótica J = 500 [g]

JC: Solución osmótica clarificada Jc = 445 [g]

I: Impurezas y restos de jarabe retenidos

Balance global:

$J = I + J_C$ (3- 7)

$I = J - J_C$ (3- 8)

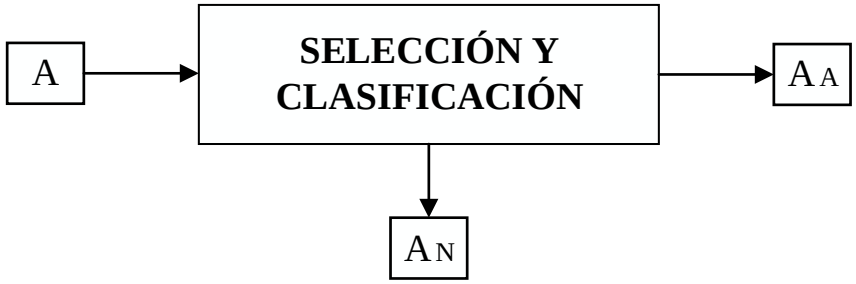
$I = 500\ [g] - 445\ [g]$

$I = 55\ [g]$

$I = 11\ \%$

- **Balance de materia en la selección y clasificación del arándano**

Inicialmente se dotó de 1000 g de materia prima para ser procesada. En esta etapa las pérdidas son del 5%, a causa de que el fruto se vea afectado por daños mecánicos o microbiológicos, disponga de dimensiones pequeñas o no lleguen a su estado de madurez pleno.



Donde:

A: Arándano recepcionado A= 1000 [g]

A_N: Arándano no apto

A_A: Arándano apto

Balance global:

$$A = A_A + A_N \quad (3\text{- }9)$$

$$A_A = A - A_N \quad (3\text{- }10)$$

Como el arándano no apto corresponde al 5% del fruto recepcionado, los balances aplicados son:

$$A_N = 0.05 * A$$

$$A_N = 0.05 * 1000\ [g]$$

$$A_N = 50\ [g]$$

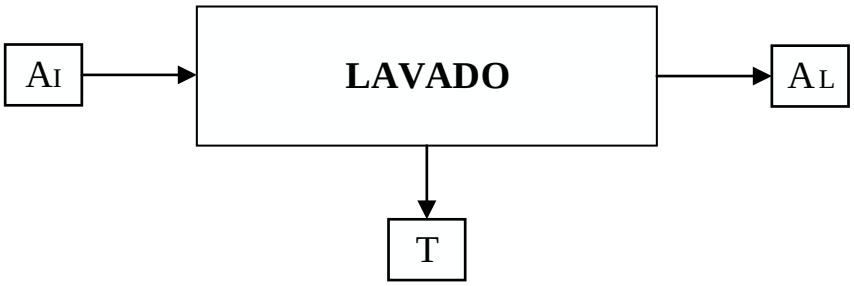
Reemplazando el valor obtenido en la ecuación (3-10) obtenemos la masa de arándano apto para procesarlo.

$$A_A = 1000\ [g] - 50\ [g]$$

$$A_A = 950\ [g]$$

- **Balance de materia en el lavado**

Se utilizó 30 g de materia prima para llevar a cabo el proceso de deshidratación osmótica.



Donde:

AI: Masa de arándano inicial $A_I = 30.450$ [g]

AL: Masa de arándano lavado $A_L = 30.302$ [g]

T: Pérdidas por arrastre de tierra

Balance global:

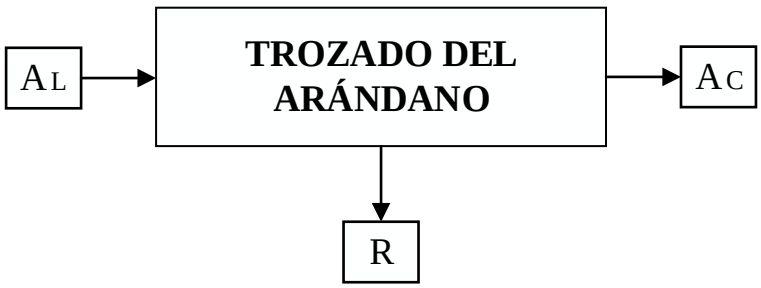
$$A_I = A_L + T \quad (3\text{- }11)$$
$$T = A_I - A_L \quad (3\text{- }12)$$

$T = 30.450\ [g] - 30.302\ [g]$

$T = 0.148\ [g]$

$T = 0.486\ \%$

- **Balance de materia en el cortado**



Donde:

A_L: Masa de arándano lavado $A_L = 30.302$ [g]

A_C: Masa de arándano cortado $A_C = 30.133$ [g]

R: Residuo adherido en puntas y filos

Balance global:

$$A_L = A_C + R \quad (3\text{- }13)$$

$$R = A_L - A_C \quad (3\text{- }14)$$

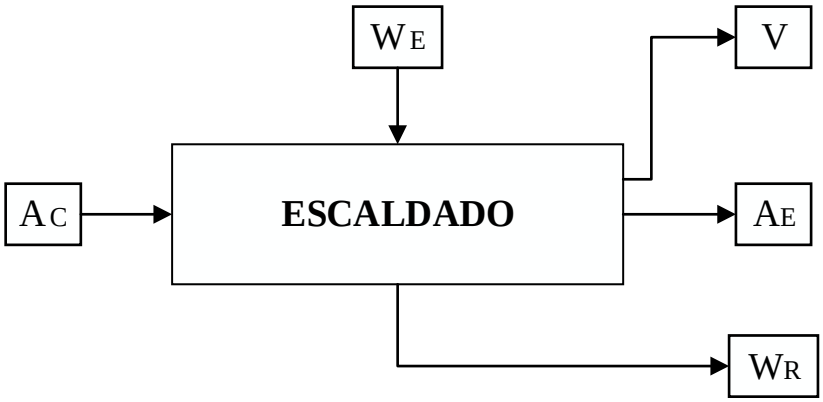
$$R = 30.302\ [g] - 30.133\ [g]$$

$$R = 0.169\ [g]$$

$$R = 0.558\ \%$$

- **Balance de materia en el escaldado**

El arándano ya trozado es sometido a un tratamiento térmico con vapor saturado durante un lapso de 3 minutos a una temperatura de 93 °C. En este proceso se pudo apreciar un mínimo aumento de peso en los trozos de arándano, esto se debe a que el vapor condensado se adhiere en la superficie del fruto, formando una capa o película líquida.



Donde:

A_C: Masa de arándano cortado $A_C = 30.133$ [g]

W_E: Masa de agua de baño para escaldar $W_E = 2500$ [g]

A_E: Masa de arándano escaldado $A_E = 30.489$ [g]

W_R: Masa de agua residual $W_R = 2380$ [g]

V: Masa de agua evaporada

V_A: Vapor de agua adherido en el fruto

V_T: Masa total de agua evaporada

Balance global:

$$A_C + W_E = V + A_E + W_R \quad (3\text{- }15)$$

$$V = A_C + W_E - (W_R + A_E) \quad (3\text{- }16)$$

$$V = 30.133\ [g] + 2500\ [g] - (2380\ [g] + 30.489\ [g])$$

$$V = 119.644\ [g]$$

Hallando la masa total de agua evaporada:

$$V_T = V + V_A \quad (3\text{- }17)$$

$$V_A = (A_E - A_C) \quad (3\text{- }18)$$

Sustituyendo los valores de (3-18) y la masa de agua evaporada (V) en la ecuación (3-17) tenemos la masa total de agua evaporada:

$$V_T = 119.644\ [g] + (30.489\ [g] - 30.133\ [g])$$

$$V_T = 120\ [g]$$

- **Balance de materia en la deshidratación osmótica**

Donde:

A_E: Masa de arándano escaldado $A_E = 30.489$ [g]

J_I: Masa inicial de la solución osmótica $J_I = 150.045$ [g]

A_F: Masa de arándano osmodeshidratado $A_F = 20.435$ [g]

J_F: Masa final de la solución osmótica

Balance global:

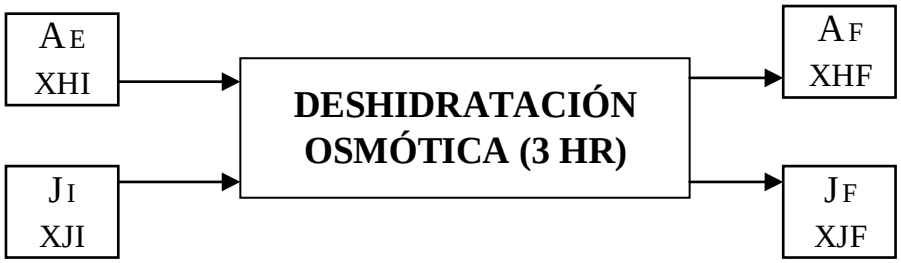
$$A_E + J_I = A_F + J_F \quad (3\text{- }19)$$

$$J_F = (A_E + J_I) - A_F \quad (3\text{- }20)$$

$$J_F = (30.489\ [g] + 150.045\ [g]) - 20.435\ [g]$$

$$J_F = 160.099\ [g]$$

Balance de agua:



Donde:

XHI: Fracción de humedad inicial en el arándano XHI = 0.813

XJI: Fracción inicial de agua en la solución XJI = 0.300

XJF: Fracción final de agua en la solución XJF = 0.369

XHF: Fracción de humedad final en el arándano

Balance parcial para el agua:

$$[(A_E * XHI) + (J_I * XJI)] = [(A_F * XHF) + (J_F * XJF)] \quad (3\text{- }21)$$

Despejando XHF se puede calcular el porcentaje de humedad del arándano osmodeshidratado.

$$XHF = \frac{[(A_E * XHI) + (J_I * XJI)] - [(J_F * XJF)]}{A_F} \quad (3\text{-}22)$$

$$XHF = \frac{[(30.489\ [g] * 0.813) + (150.045\ [g] * 0.300)] - (160.099\ [g] * 0.369)}{20.435\ [g]}$$

$$XHF = 0.525$$

$$\%\ \text{DE HUMEDAD DE ARÁNDANO OSMODESHIDRATADO} = 52.481\ \%$$

Con estos datos podemos obtener la cantidad de agua perdida por el fruto, la masa de agua que gana el agente osmótico y la cantidad de agua evaporada en el proceso.

Masa de agua perdida por el fruto:

$$m\ H_2O\ \text{perdida} = (A_E * XHI) - (A_F * XHF) \quad (3\text{-}23)$$

$$m\ H_2O\ \text{perdida} = (30.489\ [g] * 0.813) - (20.435\ [g] * 0.525)$$

$$m\ H_2O\ \text{perdida} = 14.063\ [g]$$

Con el dato de la masa de agua perdida y la masa del fruto a deshidratar (A_E) se puede calcular el porcentaje de pérdida de agua (%WL):

$$\%\ WL = \left[\frac{14.063\ [g]}{30.489\ [g]}\right] * 100$$

$$\%\mathbf{WL} = \mathbf{46.125}\ \%$$

Masa de agua que obtiene la solución osmótica:

$$m\ H_2O\ \text{que gana la solución} = J_F - J_I \quad (3\text{-}24)$$

$$m\ H_2O\ \text{que gana la solución} = 160.099\ [g] - 150.045\ [g]$$

$$m\ H_2O\ \text{que gana la solución} = 10.054\ [g]$$

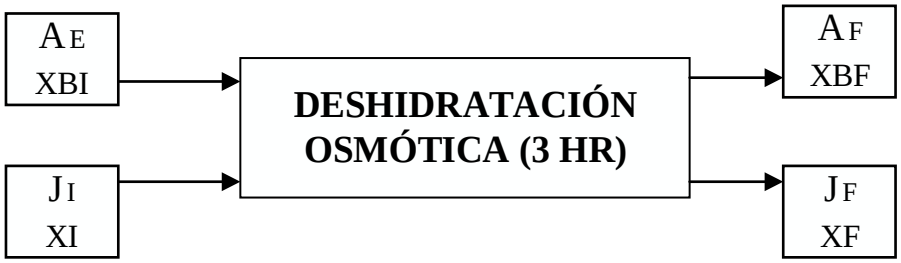
Masa de agua evaporada:

$$\text{m } H_2O \text{ evaporada} = \text{m } H_2O \text{ perdida} - \text{m } H_2O \text{que gana la solución} \quad (3\text{- }25)$$

$$\text{m } H_2O \text{ evaporada} = 14.063\ [\text{g}] - 10.054\ [\text{g}]$$

$$\text{m } H_2O \text{ evaporada} = 4.009\ [\text{g}]$$

Balance de sólidos solubles:



Donde:

XBI: Fracción inicial sólidos solubles en el arándano XBI = 0.138

XI: Fracción inicial sólidos solubles en la solución XI = 0.7

XF: Fracción final sólidos solubles en la solución XF = 0.631

XBF: Fracción final sólidos solubles en el arándano

Balance parcial para sólidos solubles:

$$[\,(A_E * XBI) + (J_I * XI)\,] = [\,(A_F * XBF) + (J_F * XF)\,] \quad (3\text{- }26)$$

Despejando XBF se obtiene la fracción de sólidos solubles de la muestra osmodeshidratada.

$$XBF = \frac{[(A_E * XBI) + (J_I * XI)] - [(J_F * XF)]}{A_F} \quad (3\text{- }27)$$

$$XBF = \frac{[(30.489\ [\text{g}] * 0.138) + (150.045\ [\text{g}] * 0.7)] - [(160.099\ [\text{g}] * 0.631)]}{20.435\ [\text{g}]}$$

$$XBF = 0.402$$

A partir de la fracción de sólidos solubles del arándano osmodeshidratado se puede calcular el porcentaje de ganancia de sólidos (%SG).

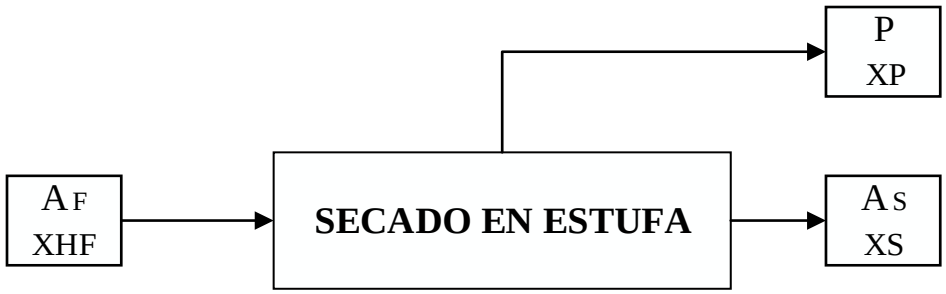
$$SG = XBF - XBI \quad (3\text{- }28)$$

$$SG = 0.402 - 0.138$$

$$SG = 0.264$$

$$\%\mathbf{SG} = \mathbf{26.408}\ \%$$

- **Balance de materia en el secado**



Donde:

A_F: Masa de arándano osmodeshidratado — $A_F = 20.435$ [g]

XHF: Fracción de humedad final en el arándano — XHF = 0.525

A_S: Masa de arándano osmodeshidratado seco — $A_s = 11.077$ [g]

XP: Fracción de humedad peso de agua perdida — XP = 1

P: Peso de agua perdida en el secado

XS: Fracción de humedad arándano seco

Balance global:

$$A_F = P + A_S \quad (3\text{- }29)$$

$$P = A_F + A_S \quad (3\text{- }30)$$

$$P = 20.435\ [g] + 11.077\ [g]$$

Por lo tanto tenemos que la masa de agua removida en el secado es de:

$$m\ H_2O \text{ removida en el secado} = P = 9.358\ [g]$$

$$P = 45.794\ \%$$

Balance parcial para el agua:

$$A_F * XHF = P * XP + A_S * XS \quad (3\text{- }31)$$

De la ecuación (3-31) despejamos la fracción de humedad del arándano osmodeshidratado seco:

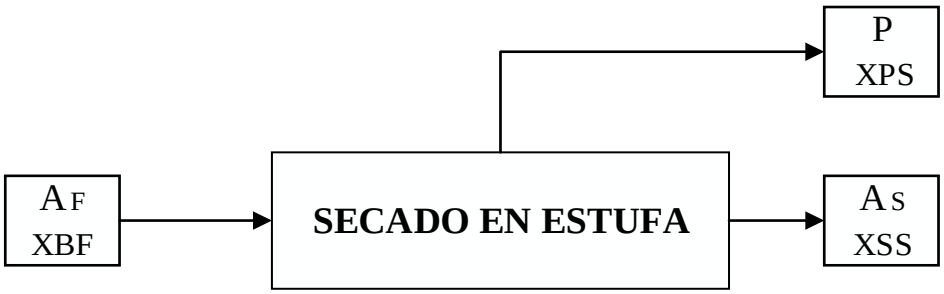
$$XS = \frac{(A_F * XHF) - (P * XP)}{A_S} \quad (3\text{- }32)$$

$$XS = \frac{(20.435\ [g] * 0.525) - (9.358\ [g] * 1)}{11.077\ [g]}$$

$$XS = 0.123$$

$$\%\ \text{DE HUMEDAD DE ARÁNDANO OSMODESHIDRATADO SECO} = 12.337\ \%$$

Balance de sólidos solubles:



Donde:

A_F: Masa de arándano osmodeshidratado $A_F = 20.435$ [g]

XBF: Fracción final sólidos solubles en el arándano XBF = 0.402

P: Peso de agua perdida en el secado P = 9.358 [g]

XPS: Fracción de sólidos en el agua perdida XPS = 0

A_S: Masa de arándano osmodeshidratado seco $A_S = 11.077$ [g]

XSS: Fracción de sólidos solubles arándano seco

Balance parcial para sólidos solubles:

$$A_F * XBF = P * XPS + A_S * XSS \quad (3\text{- }33)$$

Despejando la fracción de sólidos en el producto nos queda la siguiente ecuación:

$$XSS = \frac{(A_F * XBF) - (P * XPS)}{A_S} \quad (3\text{- }34)$$

$$XSS = \frac{(20.435\ [g] * 0.402\ ) - (\ 9.358\ [g] * 0\ )}{11.077\ [g]}$$

$$XSS = 0.741$$

Por lo tanto, como se puede apreciar, la fracción de sólidos en el producto final es de 0.741.

Para calcular el porcentaje de reducción de peso (%WR), se utiliza la siguiente expresión matemática:

$$\%\ WR = \left[\frac{A_E - A_F}{A_E}\right] * 100 \quad (3\text{- }35)$$

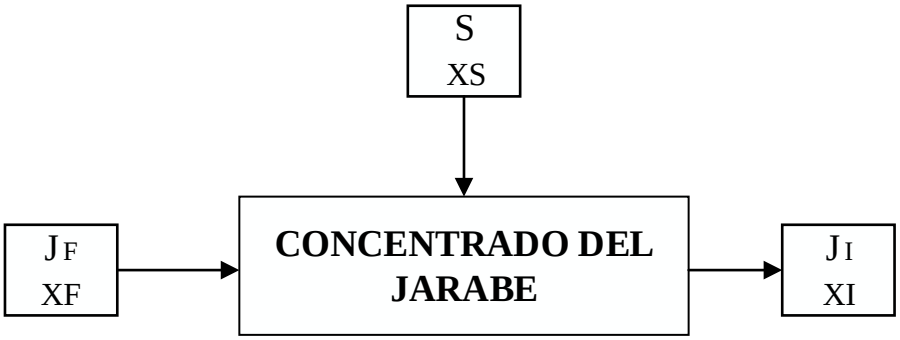
$$\%\ WR = \left[\frac{30.489\ [g] - 20.435\ [g\ ]}{30.489\ [g]}\right] * 100$$

$$\%\mathbf{WR = 32.976}\ \%$$

- **Balance de materia en el concentrado del jarabe**

La solución osmótica puede ser reutilizada para posteriores procesos de deshidratado. En este caso se puede apreciar que la concentración final de solución es de 63.1 °Brix; para alcanzar la concentración deseada de 70°Brix se puede hervir la solución en baño maría o agregar una cierta cantidad de sacarosa.

Se aplica el siguiente balance de materia para conocer la cantidad de azúcar que se debe agregar a la solución osmótica para alcanzar la concentración de 70°Brix.



Donde:

J_F: Masa final de la solución osmótica $J_F = 160.099$ [g]

XF: Fracción final sólidos solubles en la solución XF = 0.631

XS: Fracción de sólidos solubles en la sacarosa XS = 1

XI: Fracción inicial sólidos solubles en la solución XI = 0.7

J_I: Nueva masa inicial de la solución osmótica

S: Sacarosa

Balance global:

$$J_F + S = J_I \quad (3\text{- }36)$$

$$160.099\ [g] + S = J_I \quad (3\text{- }37)$$

$$J_I = 160.099\ [g] + S \quad (3\text{- }38)$$

Balance para sólidos solubles:

$$J_F * XF + S * XS = J_I * XI \quad (3\text{- }39)$$

$$(160.099\ [g] * 0.631) + (S * 1) = (J_I * 0.7XI)$$

$$101.022\ [g] + S = 0.7\ J_I \quad (3\text{- }40)$$

Reemplazando la ecuación (3-37) en (3-40)

$$101.022\ [g] + S = 0.7\ (160.099\ [g] + S)$$

$$101.022\ [g] + S = 112.069\ [g] + 0.7\ S$$

$$101.022\ [g] - 112.069\ [g] = 0.7\ S - S \quad (-1)$$

$$112.069\ [g] - 101.022\ [g] = S - 0.7\ S$$

$$11.0473[g] = 0.3\ S$$

$$S = 36.82\ [g]$$

Se requiere agregar 36.82 g de azúcar para obtener la solución osmótica al 70%. Reemplazando S en el balance global se puede calcular la masa de jarabe que nos queda.

$$160.099\ [g] + 36.82\ [g] = J_I$$

$$J_I = 196.922\ [g]$$

3.9.2. Balance de energía

En este acápite se realizan los balances de energía en los procesos de escaldado en el baño maría, deshidratación osmótica en el calentador magnético y secado en la estufa de bandejas.

- **Balance de energía en el escaldado**

Para determinar la cantidad de calor requerido durante el escaldado se tomó en cuenta la siguiente ecuación:

$$Q = m * Cp * \Delta T \qquad (3\text{- }41)$$

Considerando un sistema abierto, tenemos la siguiente ecuación citada:

$$Q\ ENTREGADO + Q\ ABSORBIDO = 0 \qquad (3\text{- }42)$$

$$Q\ ENTREGADO = -Q\ ABSORBIDO \qquad (3\text{- }43)$$

Desarrollando la ecuación (3-41) en función a los elementos que intervienen en el proceso de tratamiento térmico (recipiente de aluminio y muestra de arándano) tenemos la siguiente ecuación:

$$QE = m\ H_2O * Cp\ H_2O * \Delta T\ H_2O + \lambda\ H_2O * m\ H_2O + m\ Al * Cp\ Al * \Delta T\ Al + m\ A * Cp\ A * \Delta T\ A \quad (3\text{-}44)$$

Se tienen los siguientes datos para el balance:

$QE =$ Calor para el proceso de escaldado (Kcal)

$m\ H_2O =$ Masa agua de baño $= 2500\ [\ g\ ] = 2.5\ [\ Kg\ ]$

$Cp\ H_2O =$ Calor específico del agua $= 4.18 \left[\frac{Kj}{Kg * °K}\right]$

$TF\ H_2O =$ Temperatura final del agua $= 93\ [\ °C\ ] + 273.15 = 366.15\ [\ °K\ ]$

$TI\ H_2O =$ Temperatura inicial del agua $= 25\ [\ °C\ ] + 273.15 = 298.15[\ °K\ ]$

$\lambda\ H_2O =$ Calor latente del agua $= 2278 \left[\frac{Kj}{Kg}\right]$

$m\ Al =$ Masa del recipiente de aluminio $= 1.345\ [\ Kg\ ]$

$Cp\ Al =$ Capacidad calorífica del aluminio $= 896 \left[\frac{Kj}{Kg * °K}\right]$

$TF\ Al =$ Temperatura final del recipiente $= 93\ [\ °C\ ] + 273.15 = 366.15\ [\ °K\ ]$

$TI\ Al =$ Temperatura inicial del recipiente $= 25\ [\ °C\ ] + 273.15 = 298.15[\ °K\ ]$

$m\ A =$ Masa de arándano $= 30.155\ [\ g\ ] = 0.030\ [\ Kg\ ]$

$Cp\ A =$ Calor específico del arándano $= 3.768 \left[\frac{Kj}{Kg * °K}\right]$

$TF\ A =$ Temperatura final del arándano $= 73.5\ [\ °C\ ] + 273.15 = 346.65\ [\ °K\ ]$

$TI\ A =$ Temperatura inicial del arándano $= 17.8\ [\ °C\ ] + 273.15 = 290.95\ [\ °K\ ]$

Reemplazando los datos en la ecuación (3-44) tenemos:

$$QE = [2.5\ [\ Kg\ ]\ * 4.18\ \left[\frac{Kj}{Kg * °K}\right] * (366.15 - 298.15)[\ °K\ ]\ ] + [\ 2278\left[\frac{Kj}{Kg}\right] * 2.5\ [\ Kg\ ]\ ] + [1.345\ [\ Kg\ ] * 896\left[\frac{Kj}{Kg * °K}\right] * (366.15 - 298.15)[\ °K\ ]] + [0.030\ [\ Kg\ ] * 3.768\left[\frac{Kj}{Kg * °K}\right] * (346.65 - 290.95)[\ °K\ ]\ ]$$

$$QE = 88360.056\ [\ Kj\ ] * \left[\frac{0.239\ [\ Kcal\ ]}{1\ [\ Kj\ ]}\right]$$

$$QE = 21118.053\ [\ Kcal\ ]$$

- **Balance de energía en el agitador magnético**

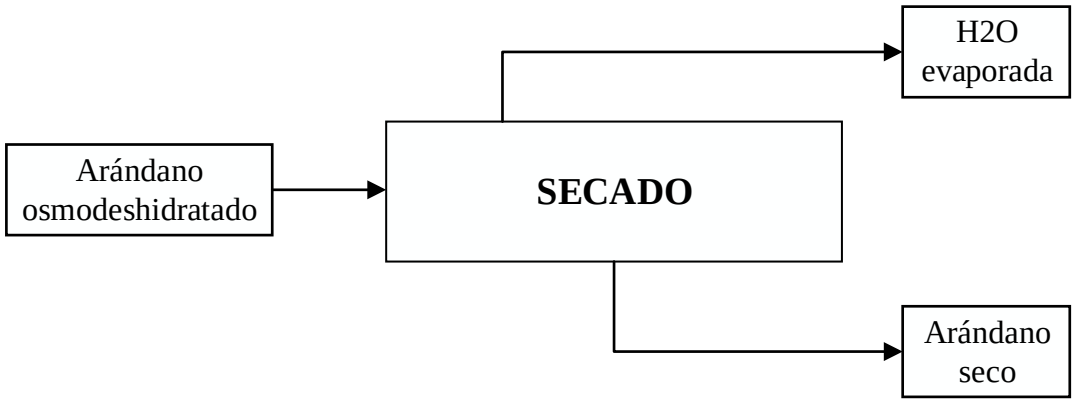
La capacidad máxima de trabajo es de 80W a 1500 rpm, la velocidad a la que se trabaja para el agitado es de 100 rpm. Para obtener los watt a que trabaja el agitador se hace una relación entre las velocidades y energía utilizada.

$$Q\ \text{agitador magnético} = \frac{80\ [W] * 100\ [rpm]}{1500\ [rpm]}$$

$$Q\ \text{agitador magnético} = 5.33\ [W] * \left[\frac{0.859\ \left[\frac{Kcal}{h}\right]}{1\ [W]}\right]$$

$$Q\ \text{agitador magnético} = 4.583\ \left[\frac{Kcal}{h}\right]$$

- **Balance de energía en el proceso de secado**



La energía transferida comprende:

- Calor sensible para aumentar la temperatura de la masa del arándano osmodeshidratado a la temperatura de secado.
- Calor latente para el cambio de fase del agua líquida a vapor.

Para determinar la cantidad de calor requerido durante el secado se tomó en cuenta la siguiente ecuación:

$$\text{Q SECADO} = \text{Q SENSIBLE} + \text{Q LATENTE} \quad (3\text{- }45)$$

Desarrollando el calor sensible tenemos la siguiente ecuación citada:

$$\text{Q SENSIBLE} = \text{XA} * \text{m A} * \text{Cp A} * \Delta\text{T} + \text{XH}_2\text{O} * \text{m A} * \text{Cp H}_2\text{O} * \Delta\text{T} \quad (3\text{- }46)$$

Desarrollando el calor latente llegamos a la siguiente ecuación:

$$\text{Q LATENTE} = \text{m H}_2\text{Oevaporada} * \lambda\ \text{H}_2\text{O} \quad (3\text{- }47)$$

Para el balance energético se cuenta con los siguientes datos:

$\text{XA} = \text{Fracción inicial arándano osmodeshidratado} = 0.475$

$\text{XH}_2\text{O} = \text{Fracción inicial de humedad, arándano osmodeshidratado} = 0.525$

$\text{m A} = \text{masa de arándano osmodeshidratado} = 20.435\ [\text{ g }] = 0.204\ [\text{ Kg }]$

$$\text{Cp A} = \text{Calor específico del arándano} = 3.768 \left[\frac{\text{Kj}}{\text{Kg} * °\text{K}}\right]$$

$$\text{Cp H}_2\text{O} = \text{Calor específico del agua} = 4.18 \left[\frac{\text{Kj}}{\text{Kg} * °\text{K}}\right]$$

$\text{TF} = \text{Temperatura de secado} = 50\ [\ °\text{C }] + 273.15 = 323.15\ [\ °\text{K }]$

$\text{TI} = \text{Temperatura inicial} = 20\ [\ °\text{C }] + 273.15 = 293.15\ [\ °\text{K }]$

$\text{m H}_2\text{O evaporada} = 4.009\ [\text{ g }] = 0.040\ [\text{ Kg }]$

$$\lambda\ \text{H}_2\text{O} = \text{Calor latente del agua (50 °C)} = 2382.7 \left[\frac{Kj}{\text{Kg}}\right]$$

Reemplazando los datos en la ecuación (3-46) tenemos:

$$\text{Q SENSIBLE} = [\ 0.475 * 0.204\ [\ \text{Kg}\ ]\ * 3.768 \left[\frac{\text{Kj}}{\text{Kg} * °\text{K}}\right] * (\ 323.15 - 293.15)\ [\ °\text{K}\ ]\ ] + [\ 0.525 * 0.204\ [\ \text{Kg}\ ] * 4.18 \left[\frac{\text{Kj}}{\text{Kg} * °\text{K}}\right] * (\ 323.15 - 293.15)\ [\ °\text{K}\ ]\ ]$$

$$\text{Q SENSIBLE} = 24.383\ [\ \text{Kj}\ ]$$

Reemplazando los datos en la ecuación (3-47) encontramos el calor latente:

$$\text{Q LATENTE} = 0.040\ [\ \text{Kg}\ ] * 2382.7 \left[\frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}\right]$$

$$\text{Q LATENTE} = 95.308\ [\ \text{Kj}\ ]$$

Por último encontramos el calor requerido para el proceso de secado:

$$\text{Q SECADO} = 24.383\ [\ \text{Kj}\ ] + 95.308\ [\ \text{Kj}\ ]$$

$$\text{Q SECADO} = 119.691\ [\ \text{Kj}\ ]$$

$$\text{Q SECADO} = 119.961\ [\ \text{Kj}\ ] * \left[\frac{0.239\ [\ \text{Kcal}\ ]}{1\ [\ \text{Kj}\ ]}\right]$$

$$\text{Q SECADO} = 20.606\ [\ \text{Kcal}\ ]$$

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Fase experimental

4.1.1. Datos experimentales del proceso de deshidratación osmótica del arándano

Los datos experimentales para el presente proyecto fueron obtenidos durante las pruebas en laboratorio de acuerdo al diseño experimental y parámetros establecidos.

Se estudió el efecto de la concentración de la solución osmótica, la temperatura y el tiempo de proceso, con la finalidad de ver la influencia que tienen estos factores sobre la velocidad de intercambio de materia.

Las tablas IV-1, IV-2 Y IV-3 exponen los resultados obtenidos experimentalmente de pérdida de agua (%WL), reducción de peso (%WR) y ganancia de sólidos solubles (%SG) a diferentes concentraciones de la solución osmótica (50 °Brix, 70 °Brix), temperaturas (40 °C, 50 °C), tiempo de deshidratación (2 h, 3h, 4h) y manteniendo una agitación constante de 100 rpm.

Los resultados obtenidos fueron determinados en el balance de materia de cada muestra.

Pérdida de agua:

$$\text{m } H_2O \text{ perdida} = (M_I * XHI) - (M_F * XHF) \quad (4\text{-}1)$$

$$\%\ WL = \left[\frac{\text{m } H_2O \text{ perdida} * 100}{M_I}\right] \quad (4\text{-}2)$$

Donde:

m H_2O pérdida = masa de agua perdida en el proceso de deshidratación osmótica [g]

M_I = Peso inicial de la fruta [g]

M_F = Peso final de la fruta [g]

XHI = Fracción de humedad inicial en la fruta

XHF = Fracción de humedad final en la fruta

% WL = Porcentaje de pérdida de agua [%]

En la tabla IV-1 se observa los datos experimentales de la pérdida de agua.

Tabla IV-1 Datos experimentales de la pérdida de agua

°N	Tiempo (h)	Concentración (°Brix)	Temperatura (°C)	I Repetición	II Repetición	Promedio (%WL)
1	4	70	50	53.428	62.181	57.804
2		50	50	49.867	50.358	50.113
3		70	40	59.626	56.556	58.091
4		50	40	47.766	50.274	49.020
5	3	70	50	48.801	48.058	48.429
6		50	50	42.601	43.858	43.229
7		70	40	46.125	47.655	46.890
8		50	40	45.231	48.876	47.054
9	2	70	50	40.167	40.095	40.131
10		50	50	32.030	34.840	33.435
11		70	40	37.463	38.714	38.089
12		50	40	36.819	36.183	36.501

Fuente: Elaboración propia.

Reducción de peso:

$$WR = \left[\frac{M_{I-}\ M_F}{M_I}\right] * 100\% \qquad (4\text{-}3)$$

Donde:

M_I = Peso inicial de la fruta [g]

M_F = Peso final de la fruta [g]

% WR = Porcentaje de reducción de peso [%]

En la tabla IV-2 se observa los datos experimentales de la reducción de peso.

Tabla IV-2 Datos experimentales de la reducción de peso

°N	Tiempo (h)	Concentración (°Brix)	Temperatura (°C)	I Repetición	II Repetición	Promedio (%WR)
1	4	70	50	37.615	35.449	36.532
2		50	50	29.204	33.311	31.258
3		70	40	38.994	32.877	35.936
4		50	40	33.797	30.803	32.300
5	3	70	50	31.882	30.864	31.373
6		50	50	27.100	27.879	27.489
7		70	40	32.976	28.358	30.667
8		50	40	27.719	27.862	27.791
9	2	70	50	31.407	23.906	27.657
10		50	50	23.301	22.650	22.976
11		70	40	29.898	21.468	25.683
12		50	40	22.432	23.914	23.173

Fuente: Elaboración propia.

Ganancial de sólidos solubles:

$$SG = [\,XBF - XBI\,] * 100\% \qquad (4\text{-}4)$$

Donde:

XBF: Fracción final de sólidos solubles en la fruta

XBI: Fracción inicial de sólidos solubles en la fruta

SG: Porcentaje de ganancia de sólidos solubles [%]

En la tabla IV-3 se observa los datos experimentales de la ganancia de sólidos solubles.

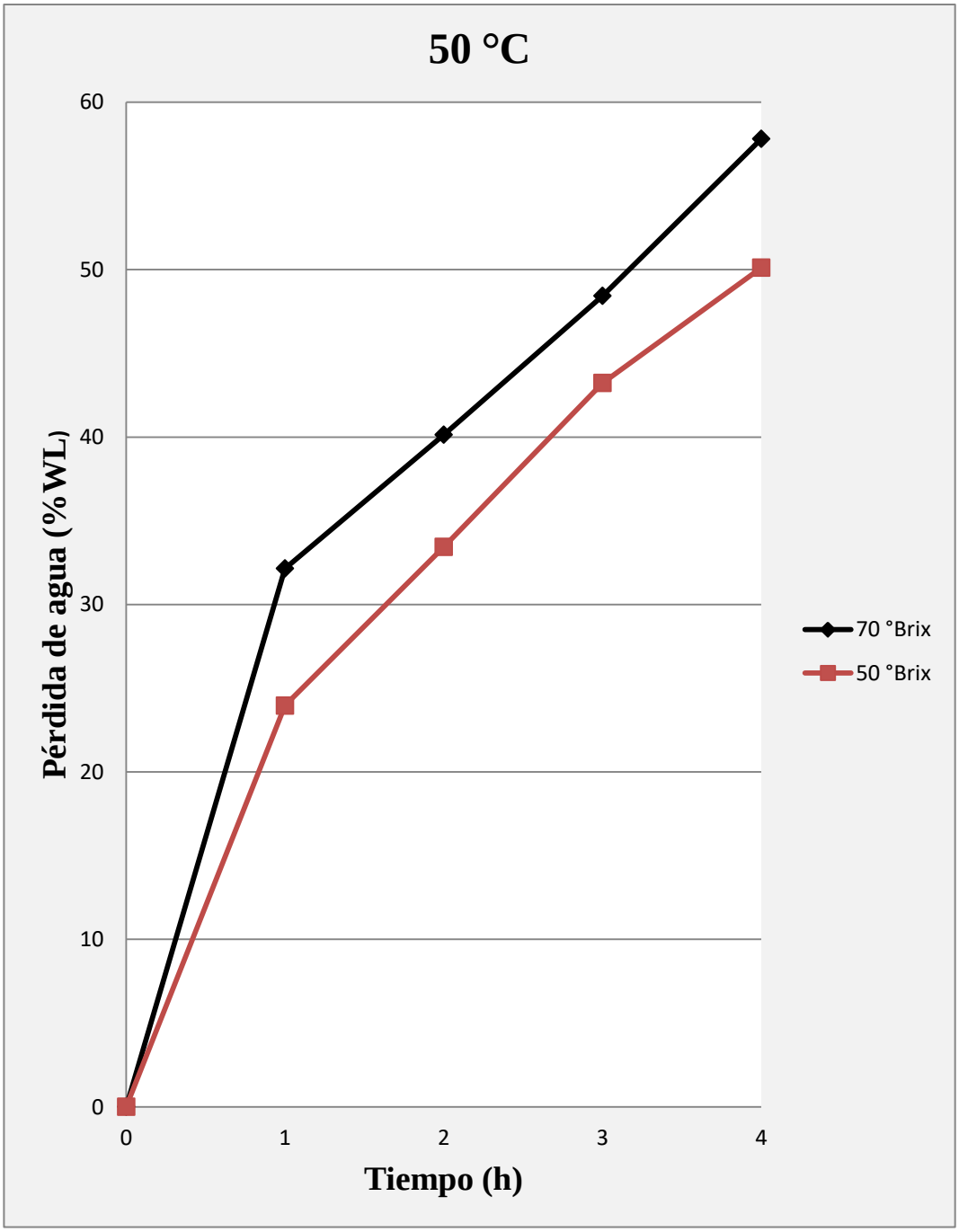
Tabla IV-3 Datos experimentales de la ganancia de sólidos solubles

°N	Tiempo (h)	Concentración (°Brix)	Temperatura (°C)	I Repetición	II Repetición	Promedio (%SG)
1	4	70	50	40.925	50.643	45.784
2		50	50	40.100	40.100	40.100
3		70	40	42.640	37.566	40.103
4		50	40	38.145	33.830	35.988
5	3	70	50	29.956	28.137	29.046
6		50	50	22.880	23.117	22.999
7		70	40	26.408	28.439	27.424
8		50	40	27.065	24.461	25.763
9	2	70	50	19.090	25.610	22.350
10		50	50	10.648	16.180	13.414
11		70	40	28.089	15.733	21.911
12		50	40	17.308	18.688	17.998

Fuente: Elaboración propia.

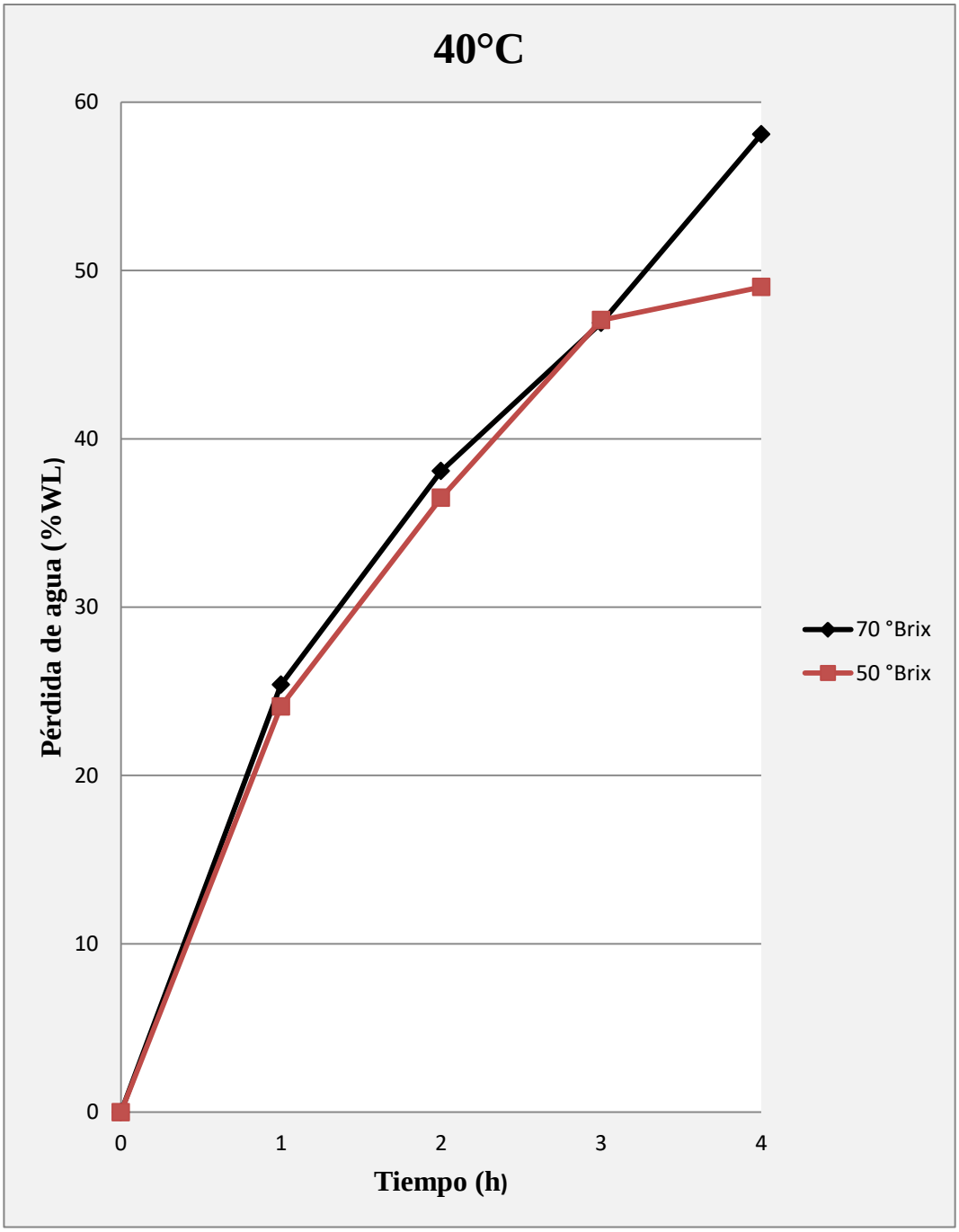
En base a las tablas IV-1, IV-2 y IV-3 se construyeron las curvas respectivas de pérdida de agua, reducción de peso y ganancia de sólidos. **Cabe resaltar que para poder realizar la curva se analizaron las muestras al cumplir la hora de deshidratación.** Para la elaboración de las curvas se hizo variar la concentración de la solución con el tiempo, manteniendo constante en cada caso la temperatura.

Figura 4-1 Pérdida de agua vs tiempo a 50 °C



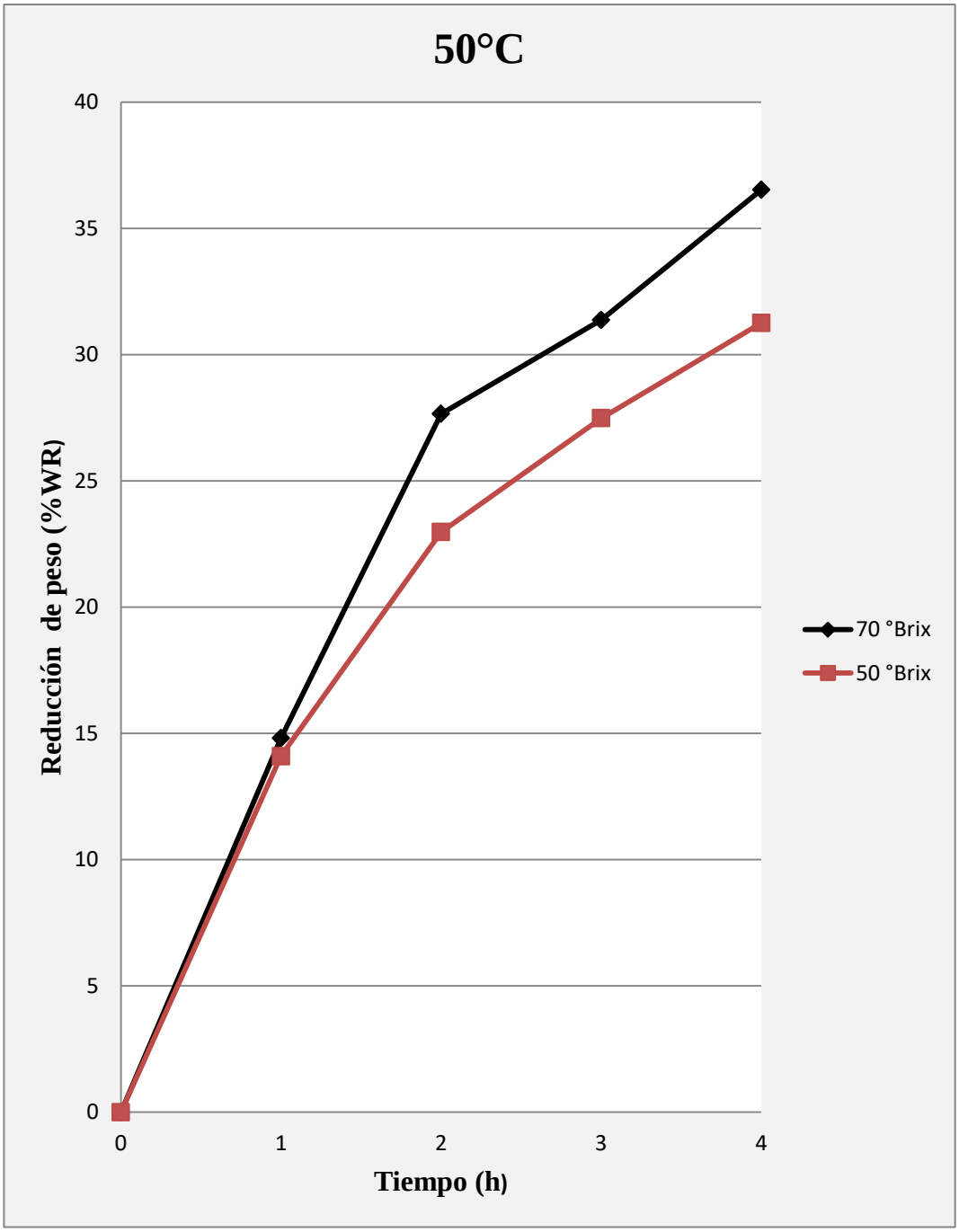
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-2 Pérdida de agua vs tiempo a 40 °C



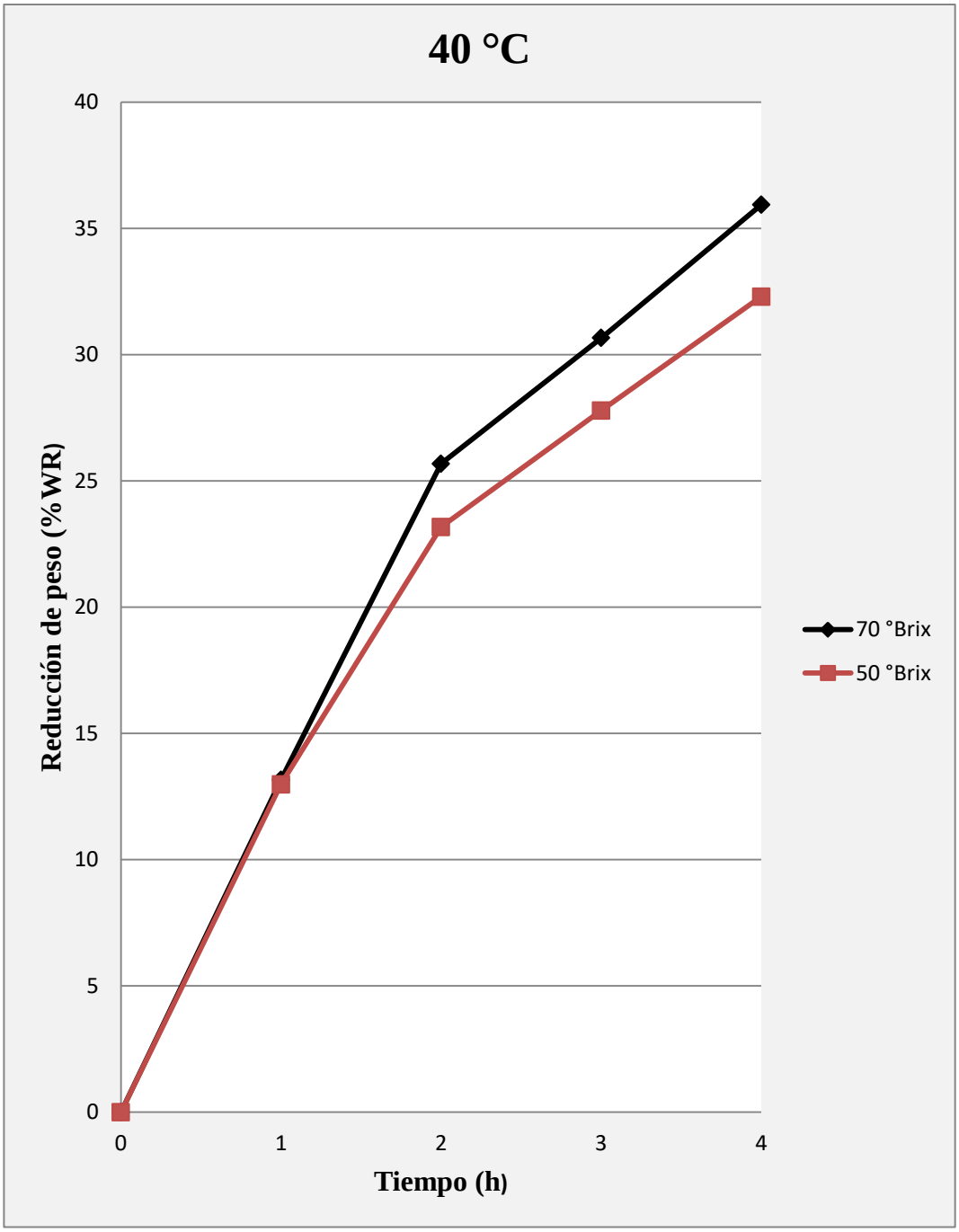
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-3 Reducción de peso vs tiempo a 50 °C



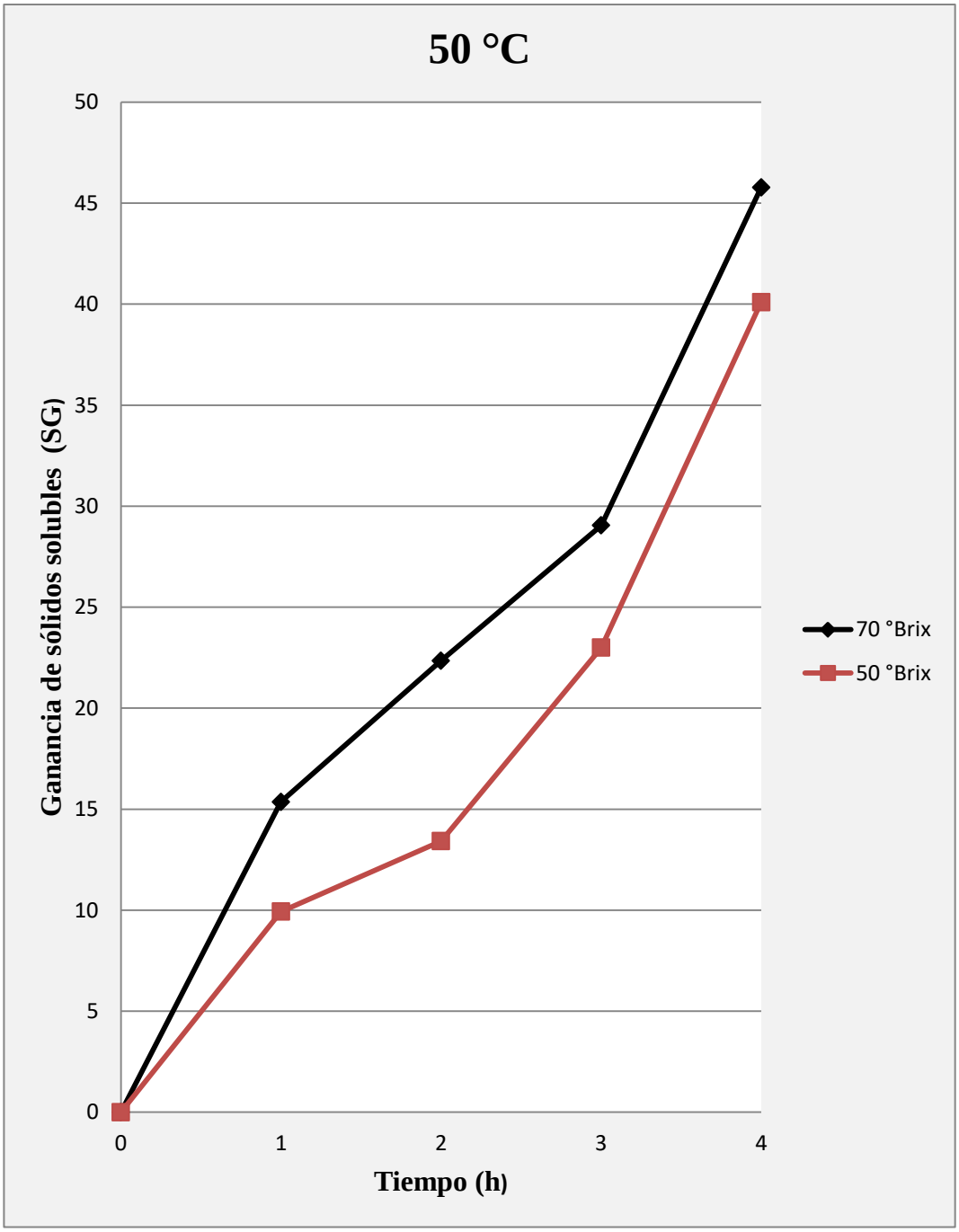
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-4 Reducción de peso vs tiempo a 40 °C



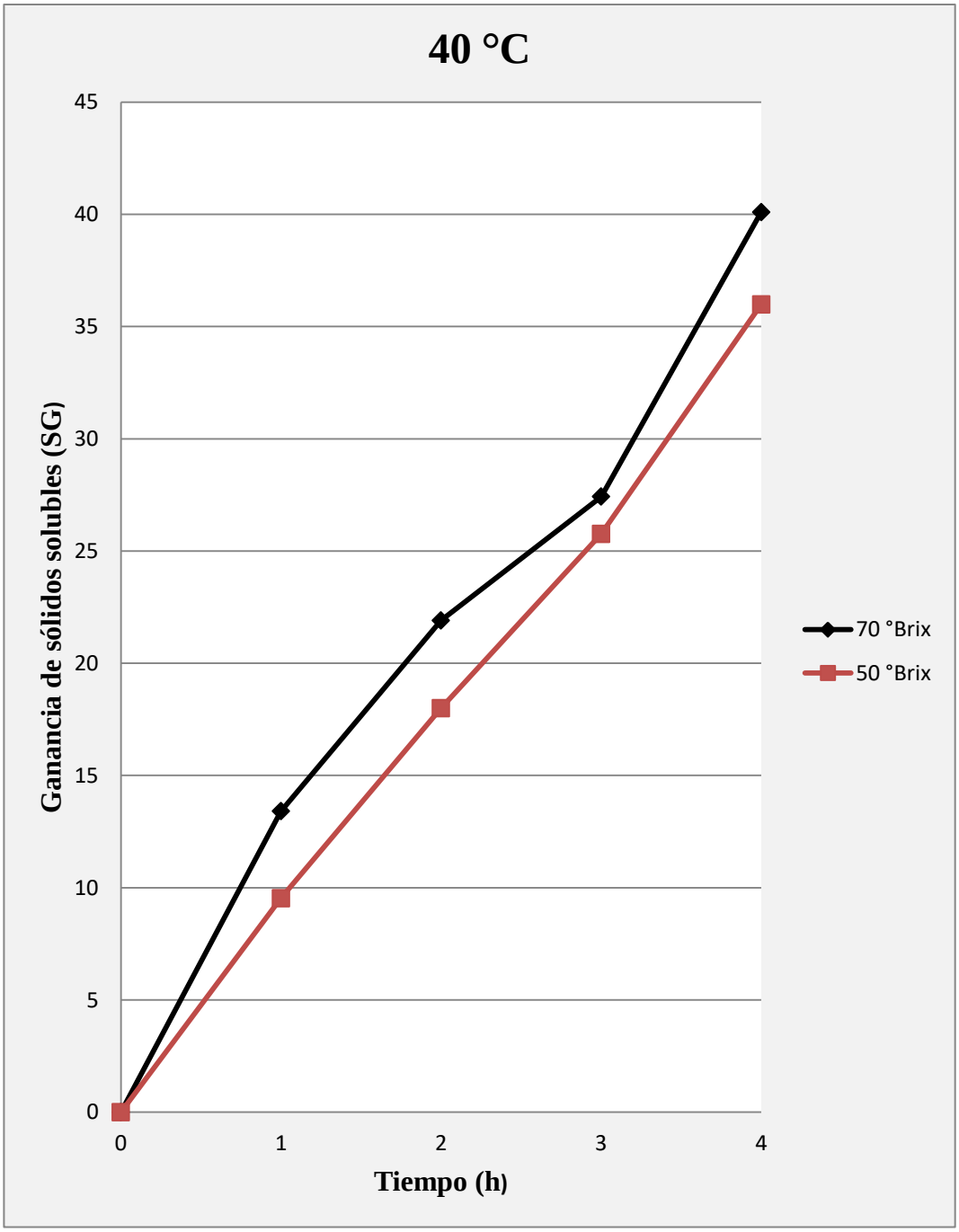
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-5 Ganancia de sólidos vs tiempo a 50 °C



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-6 Ganancia de sólidos vs tiempo a 40 °C



Fuente: Elaboración propia.

4.1.2 Determinación de la humedad

4.1.2.1. Humedad del producto osmodeshidratado

En el respectivo balance de materia de cada muestra se calculó el porcentaje de humedad del producto osmodeshidratado a partir de la ecuación (3-22).

La humedad inicial del arándano antes de comenzar la deshidratación se determinó experimentalmente en el secador infrarrojo al realizar la caracterización fisicoquímica de la materia prima (tabla III-3).

A continuación, en la tabla IV-4, se exponen los datos del porcentaje de humedad de las muestras de arándano osmodeshidratado.

Tabla IV-4 Humedad inicial del arándano antes de la deshidratación osmótica y humedades al final de la deshidratación de cada muestra

M	Humedad inicial (%)	Humedad final Repetición I (%)	Humedad final Repetición II (%)	Promedio
1	81.300	38.505	28.303	33.404
2	81.300	44.400	44.400	44.400
3	81.300	35.528	41.334	38.431
4	81.300	50.653	59.288	54.971
5	81.300	55.051	55.782	55.417
6	81.300	51.103	50.976	51.039
7	81.300	52.481	53.921	53.201
8	81.300	52.062	44.947	48.504
9	81.300	59.966	54.150	57.058
10	81.300	68.718	63.340	66.029
11	81.300	51.121	54.227	52.674
12	81.300	55.948	60.898	58.423

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2.2. Humedad del producto osmodeshidratado seco

En las tablas IV-5 y IV-6 se exponen los porcentajes de humedad final del producto obtenido para la primera y segunda repetición respectivamente.

Tabla IV-5 Humedades del producto osmodeshidratado y producto final Rep I

REPETICIÓN I		
Muestra	**Humedad Arándano osmodeshidratado (%)**	**Humedad Arándano seco (%)**
1	38.505	10.957
2	44.400	10.767
3	35.528	10.260
4	50.653	12.202
5	55.051	11.095
6	51.103	14.303
7	52.481	12.337
8	52.062	13.815
9	59.966	13.148
10	68.718	15.450
11	51.121	12.879
12	55.948	11.979

Fuente: Elaboración propia.

Tabla IV-6 Humedades del producto osmodeshidratado y producto final Rep II

REPETICIÓN II		
Muestra	**Humedad Arándano osmodeshidratado (%)**	**Humedad Arándano seco (%)**
1	28.303	11.866
2	44.400	12.163
3	41.334	10.154
4	59.288	16.874
5	55.782	13.937
6	50.976	16.257
7	53.921	15.293
8	44.947	11.993
9	54.150	12.813
10	63.340	13.487
11	54.227	12.061
12	60.898	14.566

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2.3. Porcentaje de humedad removido

El cálculo del porcentaje de humedad en las distintas etapas del proceso se puede apreciar en las siguientes ecuaciones:

Para la etapa de deshidratación osmótica:

(%) H removido = (%) H inicial del fruto – (%) H fruto osmodeshidratado (4- 48)

Para la etapa de secado:

(%) H removido = (%) H fruto osmodeshidratado – (%) H fruto seco (4- 6)

Para todo el proceso:

(%) H removido = (%) H inicial del fruto – (%) H fruto seco (4- 7)

Tabla IV-7 Porcentaje de humedad removido en la de deshidratación osmótica

Muestra	Humedad removida Repetición I (%)	Humedad removida Repetición II (%)	Promedio
1	42.795	52.997	47.896
2	36.900	36.900	36.900
3	45.772	39.966	42.869
4	30.647	22.012	26.329
5	26.249	25.518	25.883
6	30.197	30.324	30.261
7	28.819	27.379	28.099
8	29.238	36.353	32.796
9	21.334	27.150	24.242
10	12.582	17.960	15.271
11	30.179	27.073	28.626
12	25.352	20.402	22.877

Fuente: Elaboración propia.

Tabla IV-8 Porcentaje de humedad removido en el proceso de secado

Muestra	Humedad removida Repetición I (%)	Humedad removida Repetición II (%)	Promedio
1	27.548	16.437	21.993
2	33.633	32.237	32.935
3	25.267	31.180	28.224
4	38.451	42.414	40.433
5	43.956	41.846	42.901
6	36.800	34.719	35.759
7	40.145	38.629	39.387
8	38.247	32.954	35.601
9	46.818	41.338	44.078
10	53.268	49.853	51.560
11	38.242	42.166	40.204
12	43.969	46.331	45.150

Fuente: Elaboración propia.

Tabla IV-9 Porcentaje de humedad removido en todo el proceso

Muestra	Humedad removida Repetición I (%)	Humedad removida Repetición II (%)	Promedio
1	70.343	69.434	69.889
2	70.533	69.137	69.835
3	71.040	71.146	71.093
4	69.098	64.426	66.762
5	70.205	67.363	68.784
6	66.997	65.043	66.020
7	68.963	66.007	67.485
8	67.485	69.307	68.396
9	68.152	68.487	68.320
10	65.850	67.813	66.832
11	68.421	69.239	68.830
12	69.321	66.734	68.027

Fuente: Elaboración propia.

En las tablas IV-7 y IV-8 se observa lo siguiente:

Cuando la concentración del jarabe es de 70°Brix y el tiempo de tratamiento es de 4 horas, se obtiene un mayor porcentaje de humedad removido, como es el caso de las muestras uno y tres, hecho que se esperaba tener al ser las muestras que se trataron a un mayor de tiempo y concentración.

De igual manera, la muestra dos se destacada en cuanto a porcentaje de humedad removido, la cual se trabajó a una concentración del jarabe de 50°Brix, temperatura de 40 °C y 4 horas de tratamiento.

En cuanto al proceso de secado, se removió un mayor porcentaje de humedad en las muestras diez y doce, las cuales se trataron a un tiempo de 2 horas de deshidratación osmótica, concentración de jarabe de 50°Brix y una temperatura de 50°C y 40°C respectivamente. Estos ensayos presentaron un menor porcentaje de humedad removido en el proceso de deshidratación osmótica, por lo tanto, tuvieron que ser sometidas a secado durante un tiempo más prolongado.

4.1.3. Masa de agua removida

A partir de los balances de materia aplicados a cada muestra procesada, se pudo calcular la masa de agua perdida en la deshidratación y secado, obteniendo así la cantidad de agua removida en el proceso.

En las tablas IV-10 Y IV-11 se comparan los datos de la cantidad de agua removida tanto en el proceso de deshidratación y secado por aire caliente, como en el proceso en general. Estos valores se calcularon por medio del balance de materia aplicado en cada muestra.

Tabla IV-10 Masa de agua removida en la primera repetición

Repetición I			
M	**Masa de agua perdida en la deshidratación osmótica (gr)**	**Masa de agua perdida en el proceso de secado (gr)**	**Masa de agua perdida en todo el proceso (gr)**
1	16.128	6.760	22.888
2	15.038	8.047	23.085
3	18.131	5.223	23.354
4	14.389	8.734	23.123
5	13.293	10.221	23.514
6	14.114	8.831	22.945
7	14.063	9.358	23.421
8	13.726	9.330	23.056
9	12.108	9.254	21.362
10	9.639	12.523	22.162
11	13.678	9.258	22.936
12	12.528	10.560	23.088

Fuente: Elaboración propia.

Tabla IV-11 Masa de agua removida en la segunda repetición

Repetición II			
M	**Masa de agua perdida en la deshidratación osmótica (gr)**	**Masa de agua perdida en el proceso de secado (gr)**	**Masa de agua perdida en todo el proceso (gr)**
1	18.770	3.803	22.573
2	15.187	7.713	22.900
3	16.285	7.083	23.368
4	12.132	10.636	22.768
5	13.978	9.030	23.008
6	13.283	9.595	22.878
7	11.480	11.766	23.246
8	14.832	8.197	23.029
9	12.086	10.875	22.961
10	10.485	12.720	23.205
11	11.648	11.329	22.977
12	10.839	12.036	22.875

Fuente: Elaboración propia.

4.2. Análisis fisicoquímicos de la materia prima

Los análisis fisicoquímicos se realizan en los laboratorios del Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID) dependiente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

A continuación se detalla los tipos de análisis realizados:

- Azúcares totales
- Ceniza
- Fibra
- Grasa
- Hidratos de carbono
- Proteína total
- pH
- Valor energético

Los parámetros mencionados son seleccionados de acuerdo a los medios con los que cuenta el laboratorio y a referencias bibliográficas basadas en proyectos de investigación consultados, los cuales son los que sirven para caracterizar la materia prima.

Los resultados de los análisis fisicoquímicos de la materia prima se pueden apreciar en la tabla IV-12:

Tabla IV-12 Propiedades fisicoquímicas de la materia prima

Parámetro	Unidad	Resultado
Azúcares totales	%	8.52
Ceniza	%	0.22
Fibra	%	1.17
Grasa	%	0.21
Hidratos de carbono	%	16.73
Proteína total	%	0.71
pH (20°C)	-	3.17
Valor energético	Kcal/100 g	71.65

Fuente: Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo. CEANID (Anexo I).

4.3. Análisis del producto final

4.3.1. Análisis fisicoquímicos del producto final

Los análisis de las propiedades fisicoquímicas se realizan en el CEANID (Centro de Análisis Investigación y Desarrollo). Los tipos de análisis fueron seleccionados de acuerdo a los medios con los que cuenta el laboratorio y a referencias bibliográficas; a continuación se los detalla:

- Proteína total
- Azúcares totales
- Azúcares reductores
- Fibras
- Ceniza
- Grasa
- Hidratos de carbono
- Humedad
- Valor energético
- pH

En la tabla IV-13 se muestra los resultados del análisis fisicoquímico del producto final, los datos se encuentran en el Anexo I.

Tabla IV-13 Propiedades fisicoquímicas del producto final

Parámetro	Unidad	Resultado
Azúcares totales	%	87.86
Azúcares reductores	%	66.41
Ceniza	%	0.42
Fibra	%	1.56
Grasa	%	0.32
Hidratos de carbono	%	74.03
Humedad	%	22.46
Proteína total	%	1.53
pH (20°C)	-	3.02
Valor energético	Kcal/100 g	305.12

Fuente: Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo. CEANID (Anexo I).

4.3.2. Análisis microbiológico del producto final

Los análisis microbiológicos se realizan en el CEANID (Centro de Análisis Investigación y Desarrollo) dependiente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Las determinaciones microbiológicas del producto final se basaron en la normativa peruana sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano (Anexo V).

Las determinaciones de los parámetros microbiológicos se describen en la siguiente tabla.

Tabla IV-14 Análisis microbiológico del arándano deshidratado

Parámetro	Unidad	Resultado
Escherichia coli	UFC/g	$< 1.0 * 10^1$ (*)
Mohos y levaduras	UFC/g	$< 1.0 * 10^1$ (*)
Salmonella	P/A/25g	Ausencia

Fuente: Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo. CEANID (Anexo I).

En la tabla IV-14 se puede observar que el producto final presenta escherichia coli, mohos y levaduras < 10 UFC/g (Unidades Formadoras de Colonias) lo que significa que no se observa desarrollo de colonias o microorganismos. De igual manera se puede apreciar la ausencia de salmonella.

4.4. Análisis fisicoquímicos del producto importado

Se planteó la idea de comparar el producto obtenido, con otra variedad de arándano deshidratado importado.

Los análisis fisicoquímicos se realizaron en los laboratorios del Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID) y Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) ambos dependientes de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

En el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) se realizó el respectivo análisis de humedad del producto importado con la ayuda de un secador infrarrojo; a continuación se detallan los resultados.

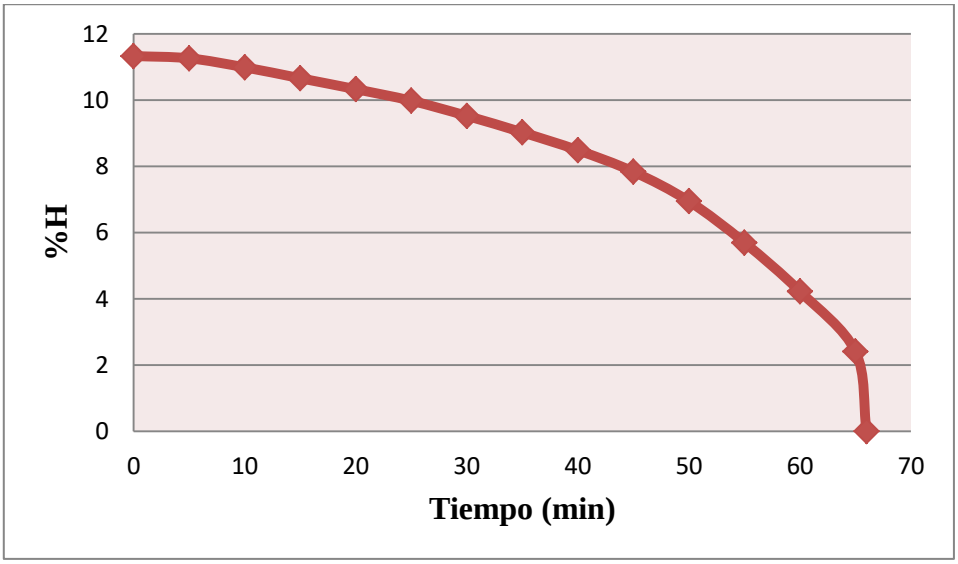
Tabla IV-15 Lectura de humedad del producto importado

Número de medición	Tiempo (min)	%H
1	0	11.326
2	5	11.258
3	10	10.986
4	15	10.656
5	20	10.326
6	25	9.977
7	30	9.521
8	35	9.022
9	40	8.483
10	45	7.835
11	50	6.944
12	55	5.695
13	60	4.222
14	65	2.409
15	66	0

Fuente: Elaboración propia.

Los arándanos deshidratados de importación presentan un porcentaje de humedad del 11.326%. En la figura 4-7 se expone la curva de secado generada por el equipo.

Figura 4-7 Curva de lectura de humedad del producto importado



Fuente: Elaboración propia.

Los análisis realizados en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID) son los siguientes:

Tabla IV-16 Propiedades fisicoquímicas del producto importado

Parámetro	Unidad	Resultado
Azúcares totales	%	65.28
Cenizas	%	0.23
Fibra	%	4.50
Grasa	%	1.20
Hidratos de carbono	%	76.69
Humedad	%	16.70
Proteína total	%	0.68
Valor energético	Kcal/100 g	320.28

Fuente: Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo. CEANID (Anexo I).

Cuadro IV-1 Análisis comparativo entre el producto importado y el producto final obtenido

Parámetro	Producto importado	Producto final	Unidad
Color	Guindo	Negro azulado	-
Aroma	Débil	Intenso	-
Sabor	Ácido	Dulce	-
Variedad	Cranberry	Highbush (Misty)	-
Trozado	Si	Si	-
Azúcares totales	65.28	87.86	%
Cenizas	0.23	0.42	%
Fibra	4.50	1.56	%
Grasa	1.20	0.32	%
Hidratos de carbono	76.69	74.03	%
Humedad	16.70	22.46	%
Proteína total	0.68	1.53	%
Valor energético	320.28	305.12	Kcal/100 g

Fuente: Elaboración propia.

En comparación con los arándanos de importación, el producto final obtenido presenta un mayor porcentaje de azúcares totales, humedad y proteína. En cambio los porcentajes de grasa, hidratos de carbono y valor energético del producto importado,

es levemente superior a los arándanos obtenidos por el proceso de deshidratación osmótica.

Las propiedades organolépticas de ambos productos indican: El producto regional, presenta un color negro azulado, aroma intenso, sabor dulce, el producto importado difiere en una coloración guinda, aroma débil y sabor ácido.

4.5. Análisis estadístico del diseño experimental

El diseño experimental del presente trabajo se desarrolló conforme al diseño factorial ya especificado de acuerdo a las variables que influyen en el proceso.

4.5.1. Análisis de varianza

El análisis de varianza muestra las variables principales que influyen en el proceso de deshidratación, es decir, sobre las variables respuesta (pérdida de agua, reducción de peso y ganancia de soluto). También se dan las transformaciones acerca de las interacciones entre las variables que influyen en la deshidratación, así como la significancia de las mismas.

En la siguiente tabla se muestran los datos con los cuales se ha realizado el cálculo del análisis de varianza de un diseño completamente al azar de 3 factores: 3 niveles para el tiempo y 2 niveles para la temperatura y concentración.

Tabla IV-17 Datos para el cálculo de análisis de varianza

	Tiempo (h)	Concentración (°Brix)	Temperatura (°C)	WL	WR	SG
Repetición I	+1	+1	+1	53.428	37.615	40.925
	+1	-1	+1	49.87	29.204	40.100
	+1	+1	-1	59.626	38.994	42.640
	+1	-1	-1	47.766	33.797	38.145
	0	+1	+1	48.801	31.882	29.956
	0	-1	+1	42.601	27.1	22.880
	0	+1	-1	46.125	32.976	26.408
	0	-1	-1	45.231	27.719	27.065
	-1	+1	+1	40.167	31.407	19.090
	-1	-1	+1	32.03	23.301	10.648
	-1	+1	-1	37.463	29.898	28.089
	-1	-1	-1	36.819	22.432	17.308
Repetición II	+1	+1	+1	62.181	35.449	50.643
	+1	-1	+1	50.358	33.311	40.100
	+1	+1	-1	56.556	32.877	37.566
	+1	-1	-1	50.274	30.803	33.830
	0	+1	+1	48.058	30.864	28.137
	0	-1	+1	43.858	27.879	23.117
	0	+1	-1	47.655	28.358	28.439
	0	-1	-1	48.876	27.862	24.461
	-1	+1	+1	40.095	23.906	25.610
	-1	-1	+1	34.84	22.65	16.180
	-1	+1	-1	38.714	21.468	15.733
	-1	-1	-1	36.183	23.914	18.688

Fuente: Elaboración propia

Los valores experimentales de la tabla IV-17 se analizan mediante un análisis estadístico ANOVA, utilizando un programa estadístico SPSS versión 17.0 para la interpretación de las variables respuesta del arándano osmodeshidratado.

4.5.1.1. Cálculo de análisis de varianza para la pérdida de agua (WL)

A continuación en la tabla IV-18 se observa el análisis de varianza para la variable dependiente pérdida de agua (WL).

Tabla IV-18 Análisis de varianza aplicado para los datos experimentales de WL

Prueba de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: WL

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	1269,692[a]	9	141,077	14,841	,000
Intersección	50194,346	1	50194,346	5280,266	,000
Tiempo	1123,345	2	561,672	59,086	,000
°Brix	62,198	1	62,198	6,543	,023
Temperatura	1,043	1	1,043	,110	,745
Tiempo * °Brix	80,542	2	40,271	4,236	,036
°Brix * Temperatura	,150	1	,150	,016	,902
Tiempo *Temperatura	2,415	2	1,207	,127	,882
Error	133,084	14	9,506		
Total	51597,122	24			
Total corregida	1402,777	23			

a. R cuadrado = ,905 (R cuadrado corregida = ,844)

Fuente: Elaboración propia.

Aplicando este análisis se puede observar que las variables más significativas del proceso de deshidratación osmótica del arándano para la obtención de una mayor pérdida de agua son la concentración del jarabe (°Brix), el tiempo (h) y la interacción tiempo-concentración (h -°Brix) para un nivel de confianza del 95%. Mientras que la temperatura (°C), las interacciones concentración -temperatura (°Brix-°C) y tiempo-temperatura (h-°C) no son significativos en el proceso.

A continuación, en la tabla IV-19, se puede observar que el modelo en su conjunto para la variable dependiente pérdida de agua (WL), es significativo para un nivel del confianza del 95%, la cual por su significancia aprueba el modelo general estadísticamente.

Tabla IV-19 ANOVA (b) para la pérdida de agua (WL)

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	1246,322	3	415,441	53,107	,000[a]
	Residual	156,455	20	7,823		
	Total	1402,777	23			

a. Variables predictoras: (Constante), Tiempo-°Brix, °Brix, Tiempo

b. Variable dependiente: WL

Fuente: Elaboración propia.

Tabla IV-20 Coeficientes (a) del modelo de regresión lineal (WL)

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
		B	Error típico.	Beta		
1	(Constante)	45,732	,571		80,103	,000
	Tiempo	8,359	,699	,893	11,955	,000
	°Brix	1,610	,571	,211	2,820	,011
	Tiempo-°Brix	2,033	,699	,217	2,908	,009

a. Variable dependiente: WL

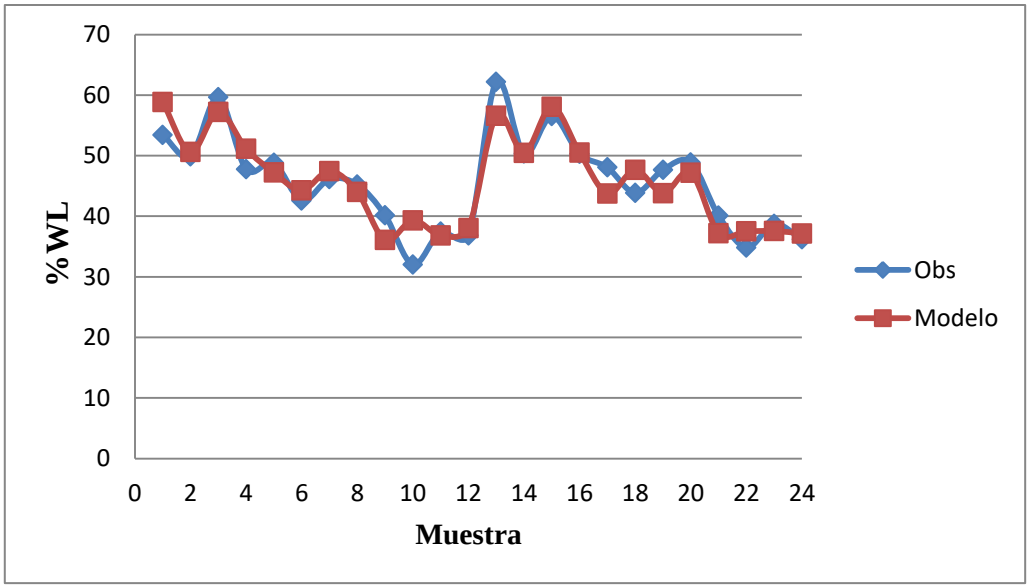
Fuente: Elaboración propia.

De la tabla IV-20 se determinó que el modelo matemático de la variable dependiente pérdida de agua (WL) para el proceso de deshidratación osmótica del arándano que correlaciona la cantidad de pérdida de agua con las variables tiempo, concentración y la interacción tiempo-concentración para el caso estudiado es el siguiente:

$$WL = 45.73 + 8.359\,Tiempo + 1.610\,°Brix + 2.033\,Tiempo * °Brix \qquad (4\text{-}8)$$

Para observar la influencia de una variable o factor sobre otro, se presenta el siguiente análisis:

Figura 4-8 Valores experimentales y Modelo calculado (WL)



Fuente: Elaboración propia.

La figura 4-8 nos muestra la ecuación del modelo calculado en comparación con los datos experimentales. Como se puede observar, el modelo representa los datos experimentales obtenidos, lo cual demuestra que la ecuación es válida para un grado de exactitud del 95%.

4.5.1.2. Cálculo de análisis de varianza para la reducción de peso (WR)

A continuación, en la tabla IV-21, se observa el análisis de varianza para la variable dependiente reducción de peso (WR).

Tabla IV-21 Análisis de varianza aplicado a los datos experimentales de WR

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente : WR

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación.
Modelo corregido	415,979[a]	9	46,220	5,290	,003
Intersección	20744,993	1	20744,993	2374,103	,000
Tiempo	333,811	2	166,905	19,101	,000
°Brix	70,315	1	70,315	8,047	,013
Temperatura	,485	1	,485	,055	,817
Tiempo * °Brix	9,777	2	4,889	,559	,584
°Brix *Temperatura	,329	1	,329	,038	,849
Tiempo *Temperatura	1,262	2	,631	,072	,931
Error	122,332	14	8,738		
Total	21283,304	24			
Total corregida	538,311	23			

a. R cuadrado = .773 (R cuadrado corregida = .627)

Fuente: Elaboración propia.

Aplicando este análisis se puede observar que las variables más significativas del proceso para la reducción de peso son la concentración del jarabe (°Brix) y el tiempo (h) para un nivel de confianza del 95%. Mientras que la temperatura (°C) y la interacción de las variables tomadas de a 2 no son significativas en el proceso.

A continuación, en la tabla IV-22, se puede observar que el modelo en su conjunto para la variable dependiente reducción de peso (WR), es significativo para un nivel del confianza del 95%, la cual por su significancia aprueba el modelo general estadísticamente.

Tabla IV-22 ANOVA (b) para la reducción de peso (WR)

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	404,053	2	202,027	31,600	,000[a]
	Residual	134,258	21	6,393		
	Total	538,311	23			

a. Variables predictoras: (Constante), °Brix, Tiempo

b. Variable dependiente: WR

Fuente: Elaboración propia.

Tabla IV-23 Coeficientes (a) del modelo de regresión lineal (WR)

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
		B	Error típico.	Beta		
1	(Constante)	29,400	,516		56,963	,000
	Tiempo	4,567	,632	,787	7,225	,000
	°Brix	1,712	,516	,361	3,316	,003

a. Variable dependiente: WR

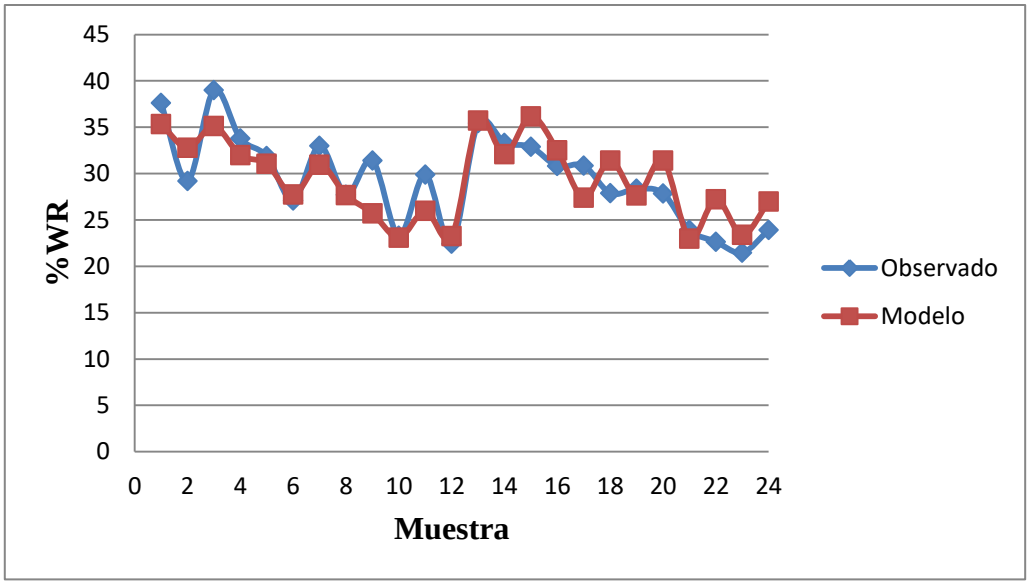
Fuente: Elaboración propia.

De la tabla IV-23 se determinó que el modelo matemático de la variable dependiente reducción de peso (WR) para el caso estudiado es el siguiente:

$$WR = 29.40 + 4.567\,Tiempo + 1.712\,°Brix \qquad (4\text{-}49)$$

Para observar la influencia de una variable o factor sobre otro, se presenta el siguiente análisis:

Figura 4-9 Valores experimentales y Modelo calculado (WR)



Fuente: Elaboración propia.

La figura 4-9 nos muestra la ecuación del modelo calculado en comparación con los datos experimentales. Como se puede observar, existe una diferencia en algunos puntos de la gráfica de los datos experimentales y el modelo, esto significa que el modelo no está representando exactamente los datos experimentales. De igual manera el modelo es válido estadísticamente para un grado de exactitud del 95%.

4.5.1.3. Cálculo de análisis de varianza para la ganancia de soluto (SG)

La tabla IV-24 expone el análisis de varianza para la variable dependiente ganancia de soluto (SG).

Tabla IV-24 Análisis de varianza aplicado a los datos experimentales de SG

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: SG

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación.
Modelo corregido	2050,928[a]	9	227,881	10,496	,000
Intersección	19594,335	1	19594,335	902,469	,000
Tiempo	1923,570	2	961,785	44,298	,000
°Brix	36,922	1	36,922	1,701	,213
Temperatura	3,386	1	3,386	,156	,699
Tiempo * °Brix	32,238	2	16,119	,742	,494
°Brix * Temperatura	,999	1	,999	,046	,833
Tiempo * Temperatura	53,813	2	26,906	1,239	,320
Error	303,967	14	21,712		
Total	21949,230	24			
Total corregida	2354,895	23			

a. R cuadrado = .871 (R cuadrado corregida = .788)

Fuente: Elaboración propia.

Aplicando este análisis se puede observar que la variable más significativa del proceso de deshidratación osmótica para la obtención de una mayor ganancia de soluto es el tiempo (h) para un nivel de confianza del 95%. Mientras que la concentración del jarabe (°Brix), temperatura (°C) y la interacción de las variables tomadas de a 2 no son significativas en el proceso.

En la tabla IV-25 se puede observar que el modelo en su conjunto para la variable dependiente ganancia de soluto (SG), es significativo para un nivel del confianza del 95%, la cual por su significancia aprueba el modelo general estadísticamente.

Tabla IV-25 ANOVA (b) para la ganancia de soluto (SG)

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	1861,987	1	1861,987	83,106	,000[a]
	Residual	492,908	22	22,405		
	Total	2354,895	23			

a. Variables predictoras: (Constante), Tiempo

b. Variable dependiente: SG

Fuente: Elaboración propia.

Tabla IV-26 Coeficientes (a) del modelo de regresión lineal (SG)

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
		B	Error típico.	Beta		
1	(Constante)	28,573	,966		29,573	,000
	Tiempo	10,788	1,183	,889	9,116	,000

a. Variable dependiente: SG

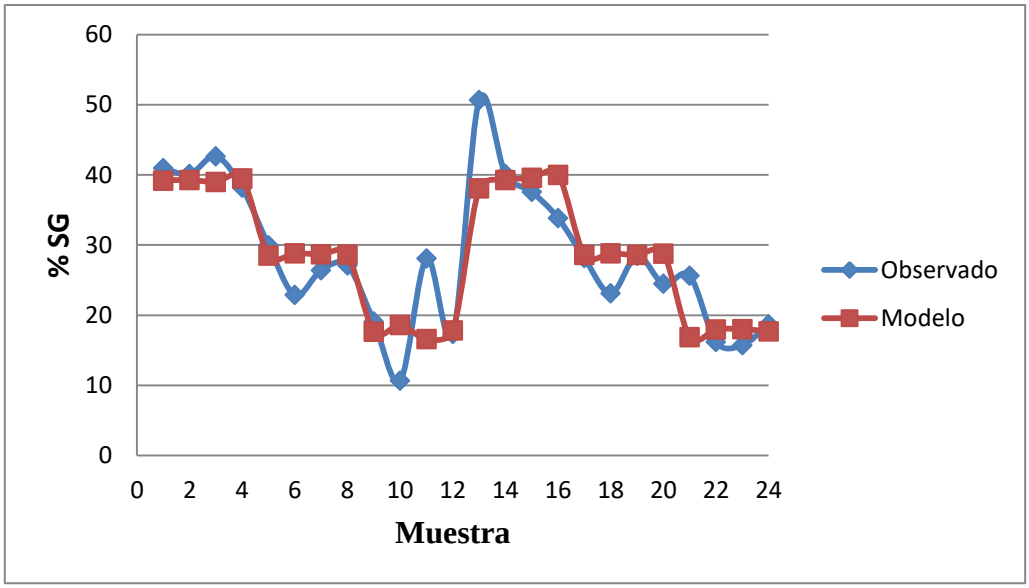
Fuente: Elaboración propia.

De la tabla IV-26 se determinó que el modelo matemático de la variable dependiente ganancia de soluto (SG) para el caso estudiado es el siguiente:

$$SG = 28.573 + 10.788\, Tiempo \qquad (4\text{- }50)$$

Para observar la influencia de una variable o factor sobre otro, se presenta el siguiente análisis:

Figura 4-10 Valores experimentales y Modelo calculado (SG)



Fuente: Elaboración propia.

La figura 4-10 nos muestra la ecuación del modelo calculado en comparación con los datos experimentales. Como se puede observar, existe una diferencia en algunos puntos de la gráfica de los datos experimentales y el modelo, esto significa que el modelo no está representando exactamente los datos experimentales. De igual manera, el modelo es válido estadísticamente para un grado de exactitud del 95%.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- El proyecto realizado demostró que el método de deshidratación osmótica permite obtener un fruto deshidratado de excelente calidad organoléptica similar a la fruta fresca. Este estudio ha comprobado que la deshidratación osmótica es un proceso idóneo para obtener un producto de humedad intermedia, debido a que reduce la humedad manteniendo sus características organolépticas, permitiendo combinarse con otros tratamientos posteriores como ser secado o liofilización otorgando al producto una mayor estabilidad hasta el punto de poderse conservar en estantería sin requerir mantener la cadena de frío pero sí con un empaque adecuado.
- Al realizar la caracterización física de la materia prima se obtuvo una media de 1.822 g de peso entero, 10.586 mm de diámetro polar y 14.398 mm de diámetro ecuatorial. En cuanto al análisis fisicoquímico de la materia prima se obtuvieron las siguientes propiedades: sólidos solubles 13.8 (°Brix), humedad 81.387 (%), pH 3.06 (H+), temperatura 17.8 (°C), azúcares totales 8.52 (%), fibra 1.17 (%), grasa 0.21 (%), hidratos de carbono 16.73 (%), proteína total 0.71 (%) y valor energético 71.65 (Kcal/100g). Los parámetros analizados de la materia prima resultan ser óptimos y competitivos tomando como referente el arándano producido en Chile. Por lo tanto, el proceso de deshidratación osmótica parte de una materia prima de buena calidad.
- En todas las pruebas realizadas se obtuvo un mayor promedio porcentual de pérdida de agua, reducción de peso, ganancia de sólidos solubles y mayor porcentaje de agua removido al trabajar con la combinación de los niveles máximos de temperatura (50°C), concentración (70°Brix) y tiempo (4 h).
- En el proceso de deshidratación osmótica del arándano, el tiempo y la concentración ejercen un efecto significativo sobre la pérdida de humedad del fruto y ganancia de sólidos solubles. En cambio, la temperatura del medio osmótico no genera grandes diferencias en las tasas de deshidratación; este

fenómeno se explica ya que al trabajar con temperaturas de 40 y 50 °C, la diferencia de 10 °C no genera un efecto significativo en el proceso.

- Se estableció que las muestras que se trataron en un periodo de 3 y 4 horas de deshidratación presentaron un mayor índice de remoción de agua, llevando un menor tiempo de secado con aire caliente para alcanzar los niveles de humedad requeridos. En cambio las muestras que se trabajaron durante un lapso de 2 horas, no alcanzaron los mismos niveles de remoción de agua, por lo tanto el proceso de secado fue más extenso.
- La temperatura de operación en estufa de convección recomendable es de 50°C con un tiempo de secado entre 4 y 7 horas, dependiendo del contenido de humedad del fruto osmodeshidratado.
- Realizando el análisis sensorial del producto arándano deshidratado, los jueces mostraron una preferencia por la muestra siete (M7) la cual tiene mayor aceptación en color, olor, textura y sabor; recalcando la preferencia por el atributo sabor por lo que tuvieron mayor puntuación. Por consiguiente, las características de proceso para el producto final son las siguientes: relación 5:1, 70°Brix, agitación 100 rpm, temperatura 40°C, tiempo 3 horas de deshidratación osmótica. Parámetros que resultan ser los más óptimos para el proceso desde el punto de vista organoléptico.

  En cambio, las muestras que se secaron con aire caliente durante un periodo más prolongado, resultaron ser aquellas que presentaron un menor porcentaje de aceptación organoléptica.
- Las propiedades fisicoquímicas más relevantes del producto final son las siguientes: azúcares reductores 66.41 (%), azúcares totales 87.86 (%), grasa 0.32 (%), hidratos de carbono 74.03 (%), humedad 22.46 (%), proteína total 1.53 (%) y valor energético 305.12 (Kcal/100g). Por otra parte, no se observó el desarrollo de colonias.

  Al conocer estos resultados se llega a la conclusión de que el producto final obtenido presenta valores similares a los arándanos secos de importación, lo cual nos permite tener un producto competitivo y de calidad en el mercado.

- El proceso de deshidratación osmótica realizado es un gran aporte para los productores de arándano en el departamento de Tarija, para que a través de este proceso su producto adquiera un valor agregado en el mercado local y nacional.
- Es importante abrir el área de contacto del fruto mediante el trozado para poder lograr una mayor salida de agua y entrada de solutos; ambos flujos no se presentaron de manera significativa al deshidratar arándanos enteros debido a la impermeabilidad de la capa externa del fruto.

5.2 Recomendaciones

- Realizar la manipulación del producto durante el proceso con guantes estériles, para evitar la proliferación, contaminación y desarrollo de microorganismos y para garantizar la calidad del producto.
- Ejecutar un corte manual en dos mitades de la materia prima, de manera que no dañe la presentación y la propia estructura del producto.
- Para mantener la calidad del producto en el trozado es recomendable cortar sobre una base de vidrio previamente desinfectada, con el fin de impedir el desarrollo de microorganismos que se encuentran en otro tipo de superficies (madera, cerámica y plásticos).
- La deshidratación osmótica se encuentra ligada con el proceso de secado con aire caliente, por lo tanto, es recomendable trabajar en periodos de 3 y 4 horas de deshidratación osmótica, disminuyendo así los tiempos en la etapa de secado con la finalidad de obtener un producto de mayor aceptación desde el punto de vista organoléptico.
- Realizar el escalamiento de la deshidratación osmótica del arándano utilizando los parámetros establecidos en este trabajo para que dicho proceso opere satisfactoriamente tanto a pequeña como a gran escala.
- Investigar posibles sustitutos de los agentes osmóticos que no tengan incidencias negativas en la salud de las personas y no cambie las características organolépticas, tales como: estevia, fructosa, azúcar morena,

chancaca, entre otros, para verificar la influencia del agente osmótico en el sabor del producto.

- Realizar investigaciones para la posible reutilización del remanente de la solución osmótica para la elaboración de otros subproductos, ya que en la misma se conservan características propias de la fruta.
- Elaborar un estudio de mercado específico para los productos deshidratados específicamente por este método y el precio que el consumidor está dispuesto a pagar por dicho producto.
- Evaluar la deshidratación osmótica en otro tipo de frutos que se presenta en nuestro departamento por temporadas, obteniendo así productos en los que este proceso serviría para mejorar la calidad organoléptica de los mismos y conservarlos en buen estado.
- Retirar el mayor contenido de humedad del fruto antes de envasar al vacío, y evitar así la succión de la materia líquida presente en el producto, quedando esta en el interior de la bolsa y obteniendo así un producto húmedo que puede ser propenso a desarrollar hongos y mohos.
- Estudiar en futuras investigaciones de deshidratación osmótica la incidencia de factores como presión, velocidad de deshidratación, relaciones bajas de solución osmótica con respecto a la del arándano o cualquier fruta; evaluar la duración del producto deshidratado.