

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA

**UNIDAD DE INVESTIGACION DE INGENIERIA
QUIMICA**



INFORME FINAL DE INVESTIGACION

**“ACTIVIDAD DE AGUA DE ARANDANOS DESHIDRATADOS
POR METODO COMBINADO OSMOSIS - AIRE CALIENTE”**

LIDA CARMEN SANEZ FALCON

**CALLAO – 2021
PERU**

A small, handwritten signature in blue ink, located at the bottom left of the page.

[Handwritten signature]

HOJA DE REFERENCIA DE APROBACIÓN



DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres a quienes le debo la vida y quien soy, a mis hermanos y a mi esposo Carlos y mi hija Marisol por su amor y apoyo



[Handwritten signature]

ÍNDICE

	Página
ÍNDICE DE TABLAS	3
ÍNDICE DE FIGURAS	4
RESUMEN	7
ABSTRACT	8
INTRODUCCION	9
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
1.1 Descripción de la realidad problemática	10
1.2 Formulación del problema	10
1.2.1 Problema general	10
1.2.2 Problemas específicos	11
1.3 Objetivos	11
1.3.1 Objetivo general	11
1.3.2 Objetivos específicos	11
1.4. Limitantes de la investigación	11
II. MARCO TEORICO	13
2.1 Antecedentes	13
2.1.1 Antecedentes Nacionales	13
2.1.2 Antecedentes Internacionales	14
2.2 Bases teóricas	16
2.3 Conceptual	33
2.4 Definición de términos básicos	38
III. HIPOTESIS Y VARIABLES	40
3.1 Hipótesis	40
3.1.1 Hipótesis general	40
3.1.2 Hipótesis específicas	40



3.2	Definición conceptual de variables	40
3.3	Operacionalización de las variables	41
IV.	DISEÑO METODOLÓGICO	42
4.1	Tipo y diseño de investigación	42
4.2	Método de investigación	43
4.3	Población y Muestra	43
4.4	Lugar de estudio	43
4.5	Técnicas e instrumentos para la recolección de la información	43
4.6	Análisis y procedimientos de datos	44
V.	RESULTADOS	57
5.1	Resultados descriptivos	57
5.2	Resultados inferenciales	62
5.3	Resultados estadísticos	64
VI.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.	79
6.1	Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados	79
6.2	Contrastación de los resultados con otros estudios similares	86
6.3	Responsabilidad ética	89
	CONCLUSIONES	90
	RECOMENDACIONES	92
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
	ANEXOS	97
	Matriz de consistencia	

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Exportación Arándanos 2018 – 2019 U\$\$ FOB Miles	20
Tabla 2 Composición Química por 100 g de Porción Comestible de Arándanos	22
Tabla 3 Composición de Micronutrientes por 100 g de Porción Comestible de Arándanos	23
Tabla 4 Actividad de Agua y Crecimiento de Microorganismos en los Alimentos	35
Tabla 5 Actividades Realizadas en Laboratorio	46
Tabla 6 Normas Sanitarias Microbiológicas para Alimentos y Bebidas	47
Tabla 7 Diseño Experimental para la Deshidratación Osmótica	52
Tabla 8 Valores de los Niveles Factoriales	53
Tabla 9 Diseño Experimental Para la Deshidratación Osmótica	54
Tabla 10 Propiedades Físico Químicas de Arándanos	57
Tabla 11 Análisis Proximal de la Materia Prima	58
Tabla 12 Análisis Microbiológico de Materia Prima Arándanos (<i>Vaccinium corymbosum</i> L.)	58
Tabla 13 Actividad de Agua y % de Humedad de Arándanos Deshidratados de Agente Osmótico de 55, 60 y 65 °Brix y a Temperaturas de 45, 50 y 60 °C	62
Tabla 14 Análisis de Varianza Para la Pérdida de Humedad en la Deshidratación Osmótica	65
Tabla 15 Análisis de Varianza en la Ganancia de Sólidos Solubles del Fruto	69
Tabla 16 Análisis de Varianza Secado de Arándanos	74
Tabla 17 Actividad de Agua y % de Humedad de Arándanos Deshidratados en Agente Osmótico de 55, 60 y 65 °Brix y a Temperaturas de 45, 50 y 60 °C	78
Tabla 18 Análisis Microbiológico de Arándanos Como Producto Final	78



INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Arándanos Frescos	17
Figura 2 Almacenamiento de Arándanos	18
Figura 3 Exportación Arándanos U\$\$ FOB Miles	20
Figura 4 Exportación por Empresa de Arándanos U\$\$ FOB Miles	21
Figura 5 Esquema de Transferencia de Masa en la Deshidratación Osmótica	28
Figura 6 Curva Típica de Secado en Función del Tiempo	32
Figura 7 Curva Velocidad de Secado en Función de Contenido de Humedad	33
Figura 8 Relaciones Entre la Actividad de Agua (A_w) y la Estabilidad Física, Química y Microbiológica	34
Figura 9 Equipo Refractómetro Digital y Analizador de Actividad de Agua	48
Figura 10 Diagrama General del Proceso Deshidratación Osmótica y Secado de Arándano	49
Figura 11 Materia Prima Arándanos	50
Figura 12 Equipo Para Determinar Actividad de Agua.	52
Figura 13 Diagrama de Proceso Deshidratación Osmótica y Secado de Arándano	55
Figura 14. Variación de Humedad en la Deshidratación Osmótica a 45, 50 y 60 °C, Agente Osmótico de 55 y 60 °Brix	59
Figura 15. Variación de Humedad en la Deshidratación Osmótica a 45, 50 y 60 °C, Agente Osmótico de 65 °Brix	59
Figura 16. Variación de Sólidos Solubles en la Deshidratación Osmótica a 45, 50 y 60 °C, Agente Osmótico de 55 y 60 °Brix	60
Figura 17. Variación de Sólidos Solubles en la Deshidratación Osmótica a 45, 50 y 60 °C, Agente Osmótico de 65 °Brix	60
Figura 18. Variación de Kg agua/Kg ss de Arándanos Deshidratados en Agente Osmótico a 55, 60 y 65 °Brix a 45 y 50 °C. Proceso de Secado con Aire Caliente	61
Figura 19. Variación de Kg Agua/Kg Ss Arándanos Deshidratados en Agente Osmótico de 55, 60 y 65 °Brix a 60 °C Proceso de Secado con Aire Caliente	61



Figura 20. Diagrama de Pareto Arándanos Deshidratados en Agente Osmótico de 55, 60 y 65 °Brix a 45, 50 y 60 °C.	63
Figura 21. Residuos Para Pérdida de Humedad	66
Figura 22 Variación del % de Humedad a Temperatura de 45, 50 y 60 °C y Concentración del Agente Osmótico de 60 °Brix	64
Figura 23 Comparación de Promedios de la Variación Humedad Para 45, 50 y 60 °C Temperatura y Concentración del Agente Osmótico	65
Figura 24 Interacción de la Pérdida de Humedad	66
Figura 25 Efectos Principales para Pérdida de Humedad	66
Figura 26 Análisis de Cubos (Medias Ajustadas) en la Perdida de Humedad en el Proceso de Deshidratación Osmótica	67
Figura 27 Superficie Respuesta Comparación de Promedios Para Pérdida de Humedad Según la Temperatura y Concentración del Agente Osmótico	68
Figura 28 Comparación de las Variables en la Gráfica de Contorno de Pérdida de Humedad Respecto, Concentración Temperatura y Tiempo.	69
Figura 29 Diagrama de Pareto en el Incremento de Grados °Brix	70
Figura 30 Residuos en el Incremento de Grados Brix en la Fruta	70
Figura 31 Superficie Respuesta Comparación de Promedios para la Ganancia de Sólidos Solubles vs Concentración y Temperatura en °C del Agente Osmótico	71
Figura 32 Intervalos de Temperatura °C a 95% IC para la Media en el Incremento de Grados °Brix	72
Figura 33 Intervalos de la Concentración de °Brix a 95% IC para la Media en el Incremento de Grados °Brix	72
Figura 34 Intervalos de la Concentración de °Brix	73
Figura 35 Efectos Principales en Incremento de la Concentración Grados °Brix y la Temperatura °C	73
Figura 36 Diagrama Pareto de Efectos Estandarizados (Respuesta	



°Brix Final del Fruto a α a 0,05	74
Figura 37 Grafica de Residuos para °Brix Final del Fruto	75
Figura 38 Grafica Optimización de Residuos para °Brix Final del Fruto	75
Figura 39 Grafica de Efectos Principales para °Brix Final del Fruto, Medias Ajustadas	76
Figura 40 Grafica de Interacción para °Brix Final del Fruto, Medias Ajustadas	76
Figura 41 Grafica Superficie de °Brix para °Brix Final del Fruto, vs Concentración °Brix. Temperatura °C	77
Figura 42 Grafica Efectos Principales para °Brix Final del Fruto- Medias Ajustadas	78

RESUMEN

El trabajo de investigación tiene como objetivo, determinar la actividad de agua de arándanos deshidratados por osmosis y secado con aire caliente. Para el cual se realizó un diseño experimental completo aleatorio de dos factores y en tres niveles para cada uno de los factores. La deshidratación osmótica se trabajó con un agente osmótico de 55, 60 y 65 °brix de concentración y a 45, 60 y 65 C de temperatura del agente osmótico, y durante un tiempo de cinco horas, luego se sometió a un secado con aire caliente, para su posterior medida de la actividad de agua. A 45°C, a 60 y 65°brix se logró mayor pérdida de humedad (3.945Kg agua/Kg ss). Los valores óptimos en el proceso de deshidratación osmótica fueron a 52,5 °C y a 60 °brix de agente osmótico, logrando una ganancia de sólidos solubles de 22.10 y la pérdida de humedad de 3.733 (Kg agua/Kg ss), y lograr un producto final de 24,325 de grados °brix de producto final.

En el proceso de secado por aire caliente la concentración y la temperatura del agente osmótico influyen directamente en la pérdida de humedad, a 50 °C y 65 °brix se produce mayor pérdida de humedad aproximadamente 1.87 (Kg agua/Kg ss).

La actividad de fruta fresca deshidratada por osmosis fue de 0.89 a 0.93 de actividad de agua. La actividad de agua del fruto seco oscilo entre 0.72 a 0.75, siendo el mínimo 0.72 a 50 °C, 60 °Brix y a 60 °C, 55 y 65 °Brix de agente osmótico

Desde el punto de vista microbiológico, a una actividad de agua de 0,72 se muchos microorganismos no se desarrollan. Los resultados de los análisis microbiológicos efectuados al producto terminado (pasas de arándano), no mostraron carga microbiana.

Palabras clave: Arándanos, deshidratación osmótica, actividad de agua

ABSTRACT

The research work aims to determine the water activity of blueberries dehydrated by osmosis and dried with hot air. For which a complete random experimental design of two factors was performed and in three levels for each of the factors. Osmotic dehydration was worked with an osmotic agent of 55, 60 and 65 brix concentration and at 45, 60 and 65 C temperature of the osmotic agent, and for a time of five hours, then underwent a drying with hot air, for its subsequent measurement of water activity. At 45oC, at 60 and 65o brix, greater moisture loss (3,945Kg water/kg ss) was achieved. The optimal values in the osmotic dehydration process were at 52.5oC and at 60o brix of osmotic agent, achieving a soluble solids gain of 22.10 and moisture loss of 3,733 (kg water/kg ss), and achieving a final product of 24,325 degrees brix of final product.

In the hot air drying process the concentration and temperature of the osmotic agent directly influence the loss of moisture, at 50oC and 65o brix there is greater moisture loss approximately 1.87 (Kg water/kg ss). The activity of fresh fruit dehydrated by osmosis was 0.89 to 0.93 of water activity. The water activity of the dried fruit ranges from 0.72 to 0.75, with the minimum being 0.72 to 50oC, 60o Brix and 60oC, 55 and 65o Brix osmotic agent From a microbiological point of view, many microorganisms do not develop at a water activity of 0.72. The results of microbiological analyses carried out on the finished product (cranberry raisins) showed no microbial load.

Keywords: Blueberries, osmotic dehydration, water activity

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, en el Perú se ha visto un incremento en la superficie y producción de arándanos, por lo cual este estudio es necesario para buscar nuevas industrializaciones al creciente volumen de descarte de exportación y que se adapten a las nuevas tendencias en los hábitos de consumo, orientando básicamente hacia una comida atractiva que aporte nutriente y otorguen un beneficio a la salud humana, como es el caso del arándano, el cual es rico en antioxidantes.

El proceso de deshidratación osmótica está basado en un fenómeno natural y no destructivo a través de la membrana celular de las frutas y vegetales. La deshidratación osmótica es un tratamiento no térmico, considerado como un pretratamiento de las frutas o vegetales, utilizado para reducir el contenido de agua y ganancia de sólidos, con el objeto de extender su vida útil y mantener las características sensoriales, funcionales y nutricionales, así como la estabilidad en el almacenamiento. (Arroyo *et al.*, 2010).

La deshidratación osmótica es una nueva alternativa de conservación de los frutos. Esta puede incrementar la exportación de varios tipos de frutas cultivadas en nuestro país y de excedentes de exportación como es el caso del arándano que se ha empezado a cultivar en Perú desde el año 2008, específicamente en el departamento de Arequipa. Se estima que el Perú tenga sembradas unas 30,000 hectáreas, en las zonas altas andinas, de esta manera se beneficiaran alrededor de 20,000 pequeños agricultores según Sierra exportadora. El cultivo del arándano será una vía de desarrollo, por lo que es necesario darle valor agregado a la fruta de descarte de las empresas. El objetivo de esta investigación será deshidratar los arándanos por un método combinado de osmosis y secado por aire caliente y luego determinar la actividad de agua para garantizar la calidad del producto (*Vaccinium corymbosum L.*).

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

Los arándanos en el Perú actualmente está experimentando un gran auge en el mercado externo, por lo tanto, es necesario e importante buscar alternativas de procesamiento para, el remanente de exportación la fruta proveniente de la primera selección, de esta manera nos permita incorporar mayor valor agregado al producto. La industrialización del arándano lograra incentivar el cultivo de esta fruta a través de pequeños agricultores. Es importante saber que la deshidratación osmótica de arándanos en el Perú es un proceso poco trabajado y mínimamente conocido. Actualmente en nuestro país no existe un destino de valor agregado para la fruta de descarte de la primera selección que es destinado a la exportación. El arándano es un fruto que puede someterse a diferentes procesos de secado, presentando distintos resultados en cuanto a calidad y cualidades del producto.

La presente investigación, permitirá en un futuro próximo contar con la deshidratación osmótica de arándanos como alternativa viable de industrialización y mejorar propiedades físicas, fisicoquímicas y nutricionales relacionadas con la calidad del producto final.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Cómo realizar la deshidratación de los arándanos por el método combinado de osmosis – aire caliente y determinar la actividad su agua?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cómo determinar las propiedades fisicoquímicas de los arándanos para determinar la actividad su agua de los arándanos deshidratados por el método combinado de osmosis – aire caliente?
- ¿Sera posible evaluar las concentración de la solución, temperatura y tiempo en la deshidratación osmótica?
- Evaluar la temperatura y tiempo en el secado por aire caliente?
- ¿Sera posible determinar la cinética de deshidratación respecto a la disminución del contenido de agua, aumento de solidos solubles, pérdida de peso, actividad de agua?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Determinar la actividad del agua de los arándanos deshidratados por método combinado osmosis - aire caliente

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar las propiedades fisicoquímicas de los arándanos para determinar la actividad su agua de los arándanos deshidratados por el método combinado de osmosis – aire caliente
- Evaluar las concentración de la solución, temperatura y tiempo en la deshidratación osmótica
- Evaluar la temperatura, tiempo en el secado por aire caliente
- Determinar la cinética de deshidratación respecto a la disminución del contenido de agua, aumento de solidos solubles, pérdida de peso, actividad de agua.

1.4 Limitantes de la investigación

- ❖ **Temporal.** El proyecto de investigación tiene carácter experimental y observacional, se ha programado para su ejecución un periodo de un año que se considera insuficiente.

- ❖ **Espacial** La investigación tiene carácter tecnológico sustantivo y operativo, debido a que propone alternativas de solución y se busca un producto con características aceptables para el mercado.
- ❖ **Teórico.** No existen limitaciones teóricas, debido a que se cuenta con diferentes metodologías para realizar un proceso de secado y deshidratación de frutas.

II. MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes

2.1.1 Antecedente Nacional

Según García F (2017) en su trabajo de investigación de deshidratación osmótica mejora la calidad de Ananas comosus deshidratada, estudio la evaluación del efecto de la deshidratación osmótica en la calidad fisicoquímica y concentración de vitamina C en Ananas comosus deshidratada. Para la osmodeshidratación se utilizó trozos de Ananas comosus 1 cm de espesor, concentraciones 60, 65 y 70 °Brix, tiempos de inmersión 3, 6, 24 y 48 horas, en una relación jarabe de sacarosa 2:1, posteriormente se secó con flujo de aire caliente por 3 horas a 50 °C, velocidad 2,5 m/s. Se realizó el análisis fisicoquímico y se determinó la concentración de vitamina C. Con la evaluación estadística de comparaciones múltiples de Tukey al 95%, se encontró que Ananas comosus osmodeshidrata y secada, presentó mejores características fisicoquímicas a 70 °Brix por 48 horas, humedad 15,23%, solidos solubles 25,1 °Brix, acidez 0,79%, pH 4,35 y mayor concentración de vitamina C 10,39 mg/100g. La osmodeshidratación puede ser considerada como proceso alternativo para mejorar la calidad de Ananas como deshidratada.

Gamboa (2018) en su trabajo de investigación “Determinación de la temperatura y concentración de la solución osmótica en la deshidratación del arándano (*vaccinium corymbosum* l.)” Realizo el estudio de la determinación de la temperatura y concentración óptima del proceso de deshidratación osmótica, así como la influencia de los parámetros de proceso sobre la calidad final de las pasas de arándano.

Las variables del proceso estudiadas fueron los °Brix de la solución osmótica y la temperatura, las cuales tomaron los siguientes rangos 55, 60 y 65 °Brix y

40, 50 y 60°C respectivamente, y las variables respuestas fueron: la pérdida de humedad y ganancia de sólidos solubles en el fruto.

Los valores óptimos en el proceso de deshidratación osmótica fueron: temperatura 56 °C y concentración de solución osmótica 65°Brix, bajo estas condiciones se logró extraer 1.9842 Kg agua/Kg s.s de humedad e incorporar 24.7491 °Brix al producto pasas de arándano, Bajo estas condiciones el producto logró obtener calidad de comercialización aceptable.

Posteriormente se realizó un análisis sensorial, el cual permitió evaluar al producto terminado en los siguientes atributos: color, sabor y textura. Además se analizó la aceptabilidad general y la intensidad de compra por partes de los panelistas.

2.1.2 Antecedente Internacional

Ríos M. (2005) en su investigación, de deshidratación Osmótica de Frutos de Papaya Hawaiana (Carica Papaya L.) En Cuatro Agentes Edulcorantes Trozos de papaya hawaiana (Carica papaya L.), fueron sometidos a un proceso de osmodeshidratación usando cuatro agentes edulcorantes: miel de abejas, miel de caña, crema de miel de abejas y sacarosa en medio acuoso a 79 grados Brix, temperatura de 20 °C y 23 horas de inmersión. Los resultados mostraron que el agente de mayor capacidad deshidratante fue la miel de abejas y el menor la sacarosa. Según los análisis cinéticos muestran que la máxima transferencia de masa ocurre en las primeras cuatro horas del proceso y la máxima pérdida de masa del producto puede ser alcanzada hasta el 32 % con un contenido de humedad final en los frutos de papaya osmodeshidratada de 41,3 % base húmeda.

Rodríguez A (2014), realizó la comparación de métodos combinados (ósmosis directa-microondas y secado conectivo, por aire caliente-microondas) para la deshidratación de frutos del bosque. En el estudio muestra dos métodos combinados de deshidratado. Primero utilizaron la

deshidratación osmótica como pretratamientos de los frutos, que fueron inmersos en soluciones de sacarosa, y segundo el secado por aire caliente, donde los frutos fueron expuestos a una corriente de aire horizontal.

Durante estos procesos se evaluaron los efectos de las condiciones de proceso sobre las características físico-químicas, nutricionales y organolépticas de los frutos. Se observó una rápida disminución de la actividad acuosa y aumento de la pérdida de pesos relacionados con la rápida disminución del contenido de agua, permitiendo así disminuir el tiempo de proceso. A su vez, todas las características organolépticas y nutricionales fueron afectadas por las microondas.

Zapata, J y Castro G, en la investigación “Deshidratación Osmótica de Frutas y Vegetales” estudio la deshidratación Osmótica (DO) que consistió en sumergir un producto alimenticio en una solución con una alta presión osmótica, creando un gradiente de potencial químico entre el agua contenida en el alimento y el agua en la solución, originando el flujo de agua desde el interior del producto, para igualar los potenciales químicos del agua en ambos lados de las membranas de las células del vegetal. Estas son semipermeables y permiten el paso del agua y muy poco el de soluto, produciéndose como efecto neto, la pérdida de agua por parte del producto (Lenart y Flink, 2003; Molano, Serna y Castaño, 2006). Esta combinación permite, aumentar la vida útil y mejorar las características sensoriales de los productos tratados (Levi et al., 2003; Molano et al., 2006).

Requiere equipos de bajo costo y las sustancias utilizadas como solutos, son de origen natural y de fácil adquisición en el mercado (sacarosa, glucosa, fructosa, entre otras) permitiendo que pequeños procesadores puedan acceder a ella por los bajos costos de inversión. En algunos casos es posible el consumo inmediato del producto, según el tipo de soluto utilizado como agente osmodeshidratante (Yang, Wills y Yang, Maestrelli, (2007).

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Arándanos

Se trata de un arbusto pequeño de 0.2-0.4 metros de altura, cuyo nombre científico es *Vaccinium sp.*, perteneciente a la familia Ericaceae.

Las variedades que han ingresado al Perú son más de 30 variedades, las primeras, según Jiménez Jimenez detalló que del 2004 al 2007 fueron: Sharp Blue, Biloxi, Oneal, Brigitta, Misty y Legacy, las que mejor se adaptan en el Perú. Arándano Negro / Arándano Uliginoso (*Vaccinium uliginosum*).

Los arándanos tienen hojas alternas y dentadas con peciolo cortos. Flores con péndulas y se abren solitarias en la axila de las hojas. El cáliz, tiene 4 o 5 dientes obtusos. La corola esférica verde pálido deja sobresalir el estigma. Raíces bajo tierra desarrolla una red de raíces superficiales y retoños rastrojos.

Es una planta importante, no sólo por sus frutos sino porque además protege el suelo de los bosques de la erosión y contribuye a la formación de humus.

Recolección de arándano

- La recolección se realiza empleando mano de obra especializada ya que se efectúa en forma manual para el posterior envasado y embalaje.
- La recolección se realiza de forma selectiva según los índices de madurez del fruto, que son el color y el tamaño, realizándose hasta 8 recolecciones por planta.
- La recolección mecanizada se emplea cuando el fruto se destina a la industria.

Almacenamiento de arándanos

El almacenamiento se realiza en cámara frigorífica para arándano fresco, que puede llegar a alcanzar una vida útil entre 14 y 28 días con una temperatura entre -0.6 y 0°C y humedad relativa del 95%.

Figura. 1

Arándanos Frescos



Fuente: Agraria pe Agencia Agraria de Noticia <https://eltiempo.pe/arandanos-cuanto-cuestan-propiedades-lo-debes-saber/>

Producción de los arándanos en Perú.

Según León J. (2020) publicado en la revista Agraria Pe. Agencia Agraria de Noticia, Señaló el Country Commercial Lead de Bayer en Perú, Murillo H, dice que en el Perú se instalan cada dos años mil hectáreas de arándanos.

En la campaña 2020/2021 el Perú contaría con 14.789 hectáreas de arándanos a nivel nacional, un 35% más que el en la campaña anterior donde existían 10.936 hectáreas, según proyectó la Asociación de Productores de Arándanos del Perú (Pro Arándanos).

Country Commercial Lead de Bayer en Perú, Harry Murillo manifestó que, el 2020 nuestro país cuenta con 12 mil hectáreas de arándanos. Que se cultivan en la Libertad quien lidera con el cultivo de 5.608 ha, seguido de Lambayeque con 2.580 ha, Lima 940 ha, Áncash 440 ha, Piura 438 ha, Ica 169 ha, Arequipa y Tacna 60 ha.

Producción mundial de arándanos

Los principales países productores de arándanos en Europa son: Francia, Holanda, Alemania, Polonia y España. Los países que demandan estos frutos

son: Japón, Italia, Inglaterra, Bélgica y Holanda. Canadá es el principal proveedor de arándanos congelados en el mundo, mientras Perú, Chile y Argentina abastecerse arándanos frescos. Agraria.pe (2020),

Figura 2

Almacenamiento de Arándanos



Fuente: <https://eltiempo.pe/arandanos-cuanto-cuestan-propiedades-lo-debes-saber/>

Agraria.pe (2020), Detalló que los productores más importantes son Estados Unidos, Canadá, Chile, China, Polonia, Perú, México, España, Argentina y Marruecos; quienes en conjunto suman el 90% de la producción mundial y que el 65% del total de producción se consume fresco.

En la última década, la China ha desarrollado en un ritmo acelerado el cultivo de arándanos. De acuerdo con las estadísticas más recientes, en 2017 el sector chino del arándano ya había alcanzado una superficie de 46.000 hectáreas y una producción de 115.000 toneladas. Se ha predicho que, en 2025, la superficie dedicada al cultivo de este fruto en China ascenderá a 70.000 hectáreas y la producción llegará a las 400.000 toneladas. (www.life.china.com.cn)

Exportación de arándanos en Perú

Según Agencia Agraria de Noticias (2020), el Perú exportó en la campaña 2019/2020, 120.325 toneladas de arándanos frescos, mostrando un incremento de 48% frente a las 81.039 toneladas despachadas en la campaña 2018/2019. De las 120.325 toneladas de arándanos frescos exportados, a Norteamérica se exportó el 56% del total, a Europa el 32%, Lejano Oriente 12%., en la tabla 3 y la figura 3 se muestra la exportación de arándanos en los años 2018 y 2019, siendo la empresa Camposol SA lidera las exportaciones con U\$ 136 millones (28% del total

Harry M. (2020) indicó que Perú ya comenzó a exportar arándanos congelados a pesar de que los volúmenes todavía son menores. En 2019 se exportó esta fruta congelada 6.150 toneladas (3.072 toneladas en 2018).

Del volumen total de arándanos congelados se exporto, el 55% a Europa, el 41% a Norteamérica, 2% al lejano oriente, 1% a Oceanía, el 1% restante a Latinoamérica y otros.

Las exportaciones totales en el mundo en la campaña 2019/2020 alcanzaron las 397.729 toneladas (334.493 toneladas en la campaña anterior). Perú participó con el 30%, posicionándose como el principal exportador a nivel mundial de esta fruta, seguido de Chile que exportó 109.421 toneladas (-2%) y cuenta con 17 mil ha. (Agencia Agraria de Noticias, 2020),

Composición química del arándano.

Los arándanos son frutos con muchas características físico química y nutricionales muy importantes, según North American Blueberry Council, (Senser y Scherz 2002), muestra en la tabla 1 los componentes principales por cada 100 g de porción comestible y en la tabla 2 se ilustra los micro elementos que contiene los arándanos.

Tabla 1

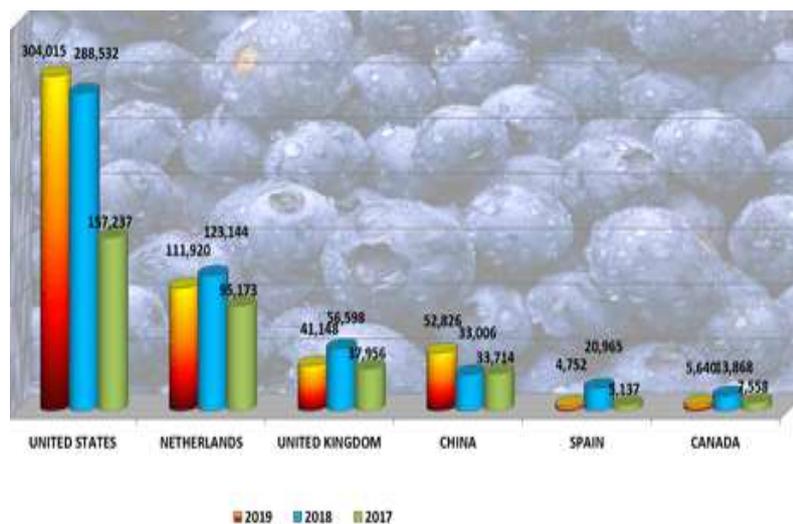
Exportación Arándanos 2018 – 2019 U\$\$ FOB Miles

MES	2018			2019		
	FOB	Kilos	Prec. Prom	FOB	Kilos	Prec. Prom
Enero	59.102.687	10.304.373	5.74	28.735.655	5.080.968	5.66
Febrero	17.644.044	3.023.103	5.85	14.149.194	2.420.125	5.85
Marzo	6.110.777	996.485	6.13	5.816.998	884.619	6.58
Abril	850.732	183.002	4.65	538.264	75.003	7.18
Mayo	205.633	62.267	3.30	432.869	46.844	9.24
Junio	2.332.079	347.467	6.71	602.889	51.174	11.78
Julio	12.083.312	2.018.916	5.99	9.030.033	1.252.425	7.21
Agosto	74.357.397	10.006.300	7.43	48.129.998	6.137.444	7.84
Septiembre	157.240.116	19.594.079	8.02	111.939.693	12.986.003	8.62
Octubre	208.471.353	29.811.435	6.99	170.811.956	21.011.066	8.13
Noviembre				93.131.517	13.125.816	7.10
Diciembre				70.692.849	10.704.920	6.60
Totales	538.398.130	76.347.427	7.05	554.011.915	73.776.407	7.51
Promedio Mes	53.398.130	7.634.743		46.167.660	6.148.034	
%Crec. Prom	17%	24%	-6%	56%	72%	-10%

Fuente: SUNAT, Elaborado por AGRODATAPERU

Figura 3

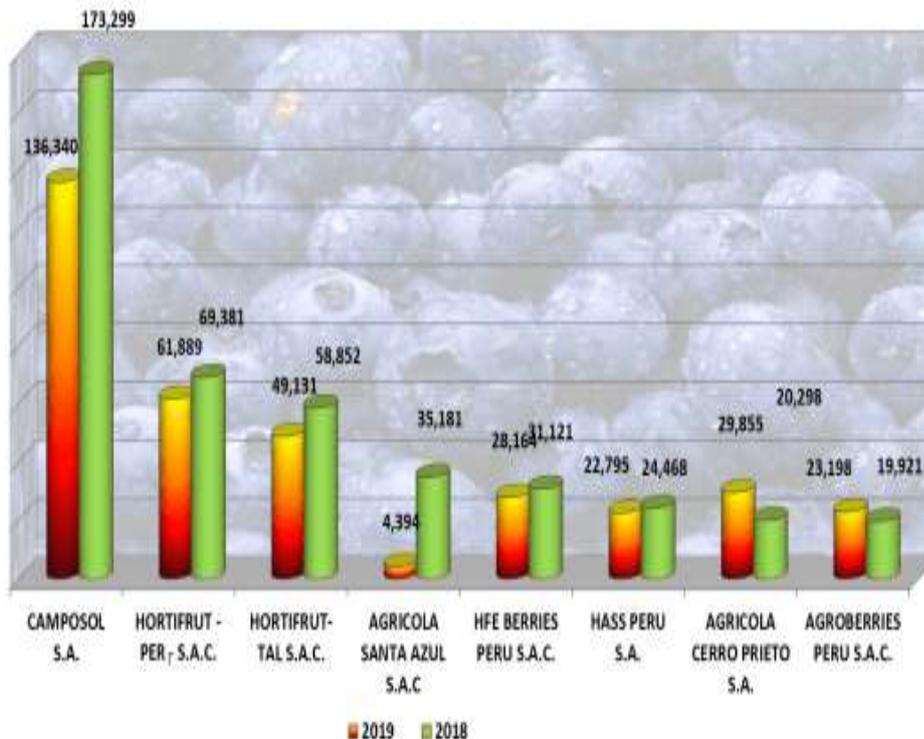
Exportación Arándanos U\$\$ FOB Miles



Fuente: SUNAT, Elaborado por AGRODATAPERU

Figura 4

Exportación por Empresa de Arándanos U\$\$ FOB Miles



Fuente: SUNAT, Elaborado por AGRODATAPERU

Observamos que el arándano es de bajo contenido calórico, pobre en grasas y en sodio, poco aporte de hidratos de carbono y fuente de vitamina C. Food and Drug Administration (FDA) de los Estados Unidos, determina que el arándano es una fruta con muchas características antioxidantes, lo que potencia el sistema inmunológico y contribuye a reducir el riesgo de enfermedades degenerativas.

2.2.2 Deshidratación

El proceso de deshidratación se define como la aplicación de calor bajo condiciones controladas para remover la mayoría del agua presente normalmente en un alimento. Esta definición excluye otras operaciones unitarias como separaciones mecánicas, concentración por membranas y

evaporación. El principal objetivo de la deshidratación es extender la vida útil de los alimentos, a través de una reducción de la actividad de agua (Fellows, 2018).

Tabla 2

Composición Química por 100 g de Porción Comestible de Arándanos

	Gramos
Humedad	85.15
Proteínas	1.13
Grasa	0.02
Ceniza	0.19
Carbohidratos	10.65
Fibra total	2.86

Fuente: North American Blueberry Council (2002)

En la actualidad, la inmensa mayoría de la producción alimentaria se conserva mediante sistemas que incluyen varios métodos simultáneamente, lo que se denomina tecnología de obstáculos o métodos combinados. Además, la creciente demanda del consumidor por productos lo más parecido a alimentos frescos, ha llevado a una reducción en la severidad de los tratamientos de conservación dando lugar a alimentos con un mínimo deterioro de los atributos sensoriales en comparación a la materia prima (García, 2004).

Deshidratación osmótica. (DO)

Es un método que consiste en la eliminación de humedad para la preservación de los productos alimenticios (Singh y Heldman, 2012).

La deshidratación osmótica (DO) es un tratamiento no térmico utilizado para reducir el contenido de agua de los alimentos, con el objeto de prolongar su vida útil y mantener características sensoriales, funcionales y nutricionales.



Tabla 3

Composición de Micronutrientes por 100 g de Porción Comestible de Arándanos

Sales minerales			
Sodio	1 mg	Cobre	110 ug
Potasio	65 mg	Zinc	100 ug
Magnesio	2 mg	Fosforo	13 ug
Calcio	10 mg	Cloro	5 ug
Manganeso	300 -5000 ug	Flúor	2 ug
Hierro	30ug		
Vitaminas			
Caroteno	130 ug	Ácido pantoténico	160 ug
Vitamina B1	20 ug	Vitamina B	60 ug
VitaminaB2	20 ug	Biotina	1 ug
Nicotinamina	400 ug	Ácido fólico	6 ug
Vitamina C	30 ug		
Aminoácido			
Triptófano	10 mg		
Hidratos de carbono			
Glucosa	2.450 mg		
Sacarosa	190 mg		
Sorbitol	4 mg		
Lípidos			
Acido palmítico	15 mg	Ácido esteárico	Traza
Ácido oleico	70 mg	Ácido linoleico	175 mg
Ácido linolenico	220 mg		

Fuente: Senser y Scherz

El proceso consiste en eliminar parte del agua que contiene un alimento, poniéndolo en contacto directo con una solución altamente concentrada del soluto apropiado, con lo que el alimento puede perder hasta el 50% de su peso original (Salunke y Col. 2013).

Los flujos de masa que se originan en el proceso son principalmente dos y en sentido contrario: uno de agua de la fruta a la solución y otro de sólidos (azúcar) de la solución a la fruta, hasta alcanzar el equilibrio termodinámico. El agente osmótico, además de contribuir a la reducción de peso, tiene una



función importante en la protección de algunas propiedades del producto tales como color, aroma, textura, etc. (Rosell y Lluch, 2014).

La deshidratación osmótica no afecta el color, sabor, aroma y textura del alimento, se evita la pérdida de la mayor parte de los nutrientes y no posee un gran requerimiento energético ya que se realiza a bajas temperaturas

Este método de deshidratación se utiliza en procesos industriales como pretratamiento en operaciones convencionales como congelación, liofilización, secado (por microondas, por convección, etc.), entre otros; para lograr estabilidad del producto manteniendo sus características organolépticas y modificar el contenido de algunos componentes del alimento. (Rosell y Lluch, 2014).

Ventajas y desventajas de la deshidratación osmótica.

Las principales ventajas del proceso de deshidratación osmótica en comparación de los tratamientos tradicionales de deshidratación utilizados en la industria alimentaria son las siguientes:

- ✓ El daño en el color y sabor de los alimentos es mínimo, debido a que la deshidratación osmótica puede realizarse a temperaturas bajas medias (40 - 65 °C) (Mata, 1999)
- ✓ La alta concentración de soluto alrededor de la fruta previene el desarrollo de oscurecimiento evitando el uso de aditivos químicos como sulfitos (Cosentino et al. 2015).
- ✓ La estructura de los alimentos se conserva más adecuadamente debido a que la eliminación de agua se realiza sin cambio de estado (Shipman et al; 2013)
- ✓ La deshidratación osmótica se considera un pretratamiento del secado por aire caliente, permitiría reducir los costos de esta última operación, (Mata, 2012).

Ventajas y desventajas de la deshidratación osmótica.

Las principales desventajas son las siguientes:



- ✓ Generalmente después de la deshidratación osmótica es necesario una operación posterior para estabilizar completamente el producto (Ramaswamy y Nsonzi, 2014).
- ✓ La deshidratación osmótica es un proceso lento, lo que puede representar un problema en algunos casos (Mata 2012)
- ✓ Puede formarse una capa de azúcar en los productos después del secado complementario que no favorezca la textura final de los mismos. (Rico et al., 2014).
- ✓ La alta retención de aceites esenciales en las frutas tratadas osmóticamente puede propiciar la oxidación de los mismos en pocas semanas deteriorando el sabor de los mismos (Rico et al., 2014).

Cinética de la deshidratación osmótica.

La cinética del proceso de deshidratación osmótica depende de factores extrínsecos e intrínsecos.

Factores extrínsecos: temperatura, concentración de la solución osmótica y tiempo de inmersión

Factores intrínsecos: tipo de alimento, tamaño y forma que puede influir sobre la cinética de transferencia de masa (pérdida de humedad y ganancia de sólidos). Todos los factores anteriores, influyen sobre las características del producto final y en consecuencia en su calidad (Ramaswamy y Nsonzi, 20012).

En el proceso de deshidratación osmótica, los factores que influyen principalmente son:

- ✓ La variedad y grado de madurez de la fruta, que afecta sustancialmente el intercambio de masa entre el producto y el medio osmótico (Lazarides, et al. 1999).

Por otro lado, la compactación del tejido, el contenido inicial de material insoluble y el tamaño de los espacios intercelulares son características importantes en la cinética de deshidratación osmótica (Mata, 2012: García y Serra 2004),

- ✓ Superficie específica de contacto. El tamaño y la forma es un factor muy importante en el proceso de transferencia de masa debido a que determinan el área específica de contacto. (Lazarides et al 1999). Al aumentar la superficie específica de la fruta sometida a tratamiento osmótico, aumenta la pérdida de agua y en consecuencia la ganancia de solutos es mayor (Rosell y Lluch, 2014).
- ✓ Pretratamiento del producto y las condiciones de proceso, afectan sobre el proceso de transferencia de masa. El escaldado, la congelación, sulfatación, acidificación y procesos de alta temperatura favorecen la penetración de sólido al interior del fruto (Lazarides et al. 2009).
- ✓ La temperatura es el parámetro más importante que afecta la cinética de pérdida de agua y la ganancia de solutos. La ganancia de solutos es menos afectada que la pérdida de agua por la temperatura ya que a altas temperaturas el soluto no puede difundir tan fácilmente como el agua a través de la membrana celular de los tejidos del producto. (Badui. 2006).

Temperatura del proceso, comprendidas entre los 20 y 60 °C son comúnmente usadas en el tratamiento osmótico de frutas. En tales condiciones se incrementa la velocidad de transferencia de masa y se reduce el tiempo de tratamiento, lográndose obtener pérdidas de humedad más elevadas; debido a que, por lo general la transferencia de agua es mayores durante las dos primeras horas de tratamiento y luego se anula pasado ese tiempo, en cambio la transferencia de soluto continúa aumentando regularmente, agregando de esta manera, una mayor cantidad de masa a la fruta (Salvador y Badui. 2006).

Las temperaturas por sobre los 60 °C pueden afectar las propiedades de los tejidos vegetales, favoreciendo la ganancia de solutos pero afectando la calidad organoléptica (Salvatori et al. 2008).

- ✓ Composición de la solución osmótica, es un factor que influye en el proceso de deshidratación osmótica. La sacarosa y el cloruro de sodio son los solutos más utilizados, también se han utilizado la glucosa, lactosa,

almidón de baja dextrosa, etc. Deben de ser baratos, no tóxicos, de solubilidad elevada y poco viscosos (Mata, 1992).

- ✓ La composición y concentración de la solución osmótica predetermina su potencial químico, el cual proporciona la fuerza para la transferencia de masa entre el medio osmótico y el producto (Lazarides et al.2009).
- ✓ Cuando se aumenta el tamaño molecular de los solutos se puede disminuir la transferencia de estos a la fruta, e impide una ganancia excesiva de masa.
- ✓ Concentración de la solución osmótica, que favorece la transferencia de masa, son soluciones muy concentradas (50 a 70 °Brix) (Ramaswamy, 2014).

Tiempo del proceso de deshidratación osmótica. Para alcanzar el equilibrio se necesitan por lo general grandes períodos de tiempo. Sin embargo, se ha encontrado que la transferencia de masa no es significativa después de 4 a 5 horas (Lenart y Flink, 2011).

El tiempo de proceso, depende de los cambios que se quiera lograr en la fruta: Impregnación, pretratamiento osmótico, deshidratación osmótica, producción de fruta confitada, (Fito et al. 2005).

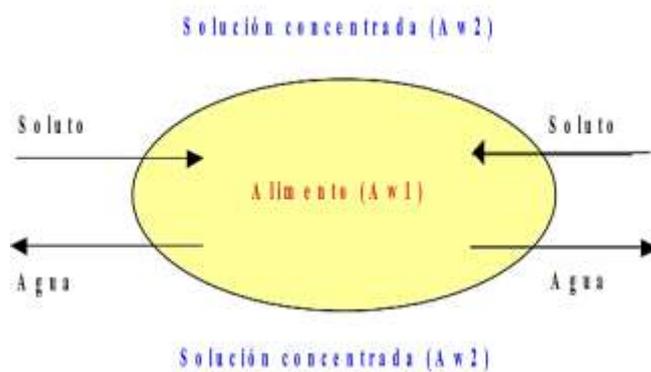
Transferencia de masa en la deshidratación osmótica. Cuando un trozo de fruta con actividad de agua A_w se introduce en una solución con actividad de agua A_w más baja, se suceden dos flujos simultáneos en contracorriente (Figura 5). El agua se transporta desde el interior del alimento hacia la solución. El soluto se transporta de la solución al alimento.

La transferencia de masa se producirá hasta que llegue al equilibrio la actividad de agua del alimento y la solución osmótica, debido a la salida simultánea de agua y una penetración en menor proporción de sólidos al alimento, lo que da como resultado una mayor pérdida de agua (deshidratación) y un aumento en el contenido de sólidos solubles. Además, existe una salida de sustancias hidrosolubles nativas en pequeña cantidad, que

frecuentemente es insignificante, y por lo general no se toma en cuenta (Mata, 1992).

Figura 5

Esquema de Transferencia de Masa en la Deshidratación Osmótica



Fuente: Mata (1992)

La transferencia de agua hacia la solución concentrada, es facilitada por la agitación, de esta manera se evita que se forme una película de jarabe menos concentrado alrededor del producto. (Fito et al.2005).

2.2.3 Secado.

El secado consiste en la eliminación de agua de los materiales de proceso y de otras sustancias. En general el secado significa la remoción de cantidades de agua relativamente pequeñas de un cierto material y se utiliza como técnica de preservación (Geankoplis, 2006).

En el proceso de secado, se presentan dos subprocesos: Transferencia de la humedad interna del sólido hacia la superficie y su evaporación correspondiente. Además la transferencia de energía en forma de calor del ambiente que rodea al sólido para evaporar la humedad de su superficie. Esta transferencia de energía depende de las condiciones externas de temperatura,

humedad y flujo del aire, presión, área de exposición y el tipo de secador empleado. (Geankoplis, 2006).

Los factores que intervienen en el proceso de secado son: estado del aire de secado, Naturaleza del producto por secar, que puede ser un sólido poroso o no poroso. La velocidad y uniformidad del secado son muy importantes que afectan la calidad del proceso, evitan las pérdidas físicas, estructurales, químicas y nutricionales del alimento (Vega *et al.*, 1996).

La temperatura del aire es importante en los procesos de secado. La elección de la temperatura se lleva a cabo tomando en consideración la especie que se vaya a someter a proceso.

La humedad relativa del aire se define como la razón de la presión de vapor de agua presente en ese momento, con respecto a la presión de saturación de vapor de agua a la misma temperatura Se expresa en porcentaje (%), a medida que se incrementa la temperatura del aire aumenta su capacidad de absorción de humedad y viceversa. Cuando el aire contiene su máxima capacidad, se dice que se trata de un aire completamente saturado y, por lo tanto, incapaz de absorber más humedad, (Vega *et al.*, 1996).

La velocidad del aire dentro del secador tiene como funciones, transmitir la energía requerida para calentar el agua contenida en el material facilitando su evaporación, y transportar la humedad saliente del material (Krokida *et al.*, 2003).

La velocidad del aire desempeña un papel muy importante en el proceso de secado, sobre todo cuando el material contiene un alto contenido de humedad. A mayor velocidad, mayor será la tasa de evaporación y menor el tiempo de secado y viceversa. Si la velocidad del aire disminuye, la tasa de evaporación disminuye y el tiempo de secado aumenta. Por tal razón, para asegurar un

secado rápido y uniforme es indispensable una circulación del aire fuerte y regular (Vega *et al.*, 1996).

Clasificación y tipos de secadores

Según (Geankoplis, 1986) clasificación a los secadores según la transferencia de calor, que puede ser: conducción, convección y radiación.

A su vez se subdividen de acuerdo al tipo de contenedor del secador: bandejas, tambor, túnel, aspersión, entre otros.

Secador de bandejas: este tipo de secador, contiene bandejas que se cargan y descargan de un gabinete. Un ventilador hace recircular el aire calentando con vapor sobre la superficie de las bandejas, paralelamente a las mismas. También se utiliza calor obtenido con electricidad, es especial cuando el calentamiento es bajo. Más o menos entre el 10-20 % del aire que pasa sobre las bandejas es aire nuevo, siendo el resto aire recirculado (Geankoplis, 1986).

Secador de cinta transportadora perforada: Este tipo de secador opera con recirculación transversal. La capa de material a secar se transporta lentamente sobre una tela metálica a través de un largo túnel o cámara de secado. La cámara está formada por una serie de secciones separadas, provistas cada una de su propio ventilador y calentador de aire (Geankoplis, 1986)

Secadores por pulverización: Aquí, un líquido o una suspensión se pulveriza o se rocía en una corriente de gas caliente para obtener una lluvia de gotas finas. El agua se vaporiza de dichas gotas con rapidez, obteniéndose partículas secas del sólido que se separan de la corriente del gas (Geankoplis, 1986).

Secadores rotatorios: Este tipo de secadores, están formado por una carcasa cilíndrica giratoria horizontal o ligeramente inclinada hacia la salida. La alimentación húmeda se introduce por un extremo del cilindro y el producto

seco se descarga por el otro. Cuando gira la carcasa unas placas elevan los sólidos y los esparcen en el interior de la misma. Los secadores rotatorios se calientan por contacto directo de aire o gases con el sólido, por medio de gases calientes que circulan a través de un encamisado que cubre la carcasa, o por medio de vapor que condensa en un haz de tubos longitudinales que están montados en la superficie interna de la carcasa (Mc Cabe *et al.* 1991).

Secadores de tambor: Consiste en un tambor de metal calentado, en cuyo exterior se evapora la capa delgada de un líquido o una suspensión hasta lograr secarla. El sólido seco final se raspa del tambor que gira lentamente. Los secadores de tambor son adecuados para el procesamiento de suspensiones o pastas de sólidos finos, así como para soluciones verdaderas (Geankoplis, 1986).

Secador de tornillo sin fin: este tipo de secador es del tipo continuo de calentamiento indirecto, formado esencialmente por un transportador de tornillo sin fin horizontal (o un transportador de paletas) encerrado dentro de una carcasa cilíndrica encamisada. La alimentación que entra por un extremo se transporta lentamente a través de la zona caliente y se descarga por el otro extremo. El vapor generado, se extrae a través de conducciones colocadas en la parte superior de la carcasa (Mc Cabe *et al.* 1991).

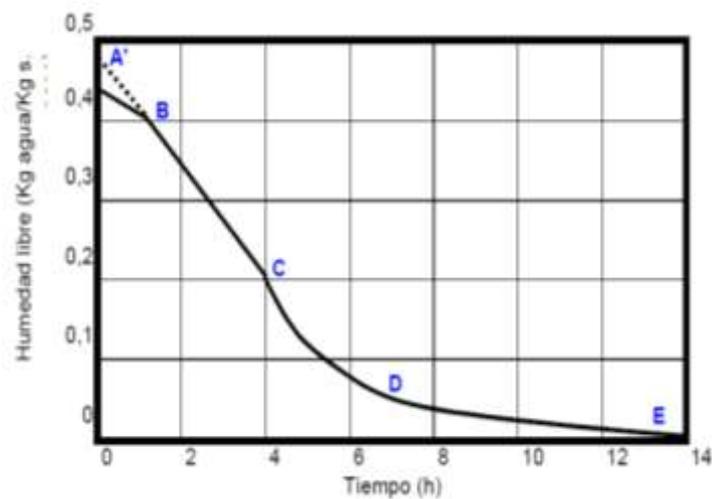
Curvas de velocidad de secado. Para determinar experimentalmente la velocidad de secado de un material, se coloca una muestra en una bandeja. La pérdida en peso de humedad durante el secado, puede determinarse a diferentes intervalos sin interrumpir la operación, colgando la bandeja en una balanza adaptada a un gabinete o a un ducto a través del cual fluye el aire de secado (Sharma *et al.* 2000).

En la figura 7 se muestra la curva de velocidad de secado para condiciones de secado constante empezando con un tiempo cero, el contenido de humedad

libre corresponde al punto A. Al principio el sólido suele estar a una temperatura inferior a la que tendrá al final, y la velocidad de evaporación irá en aumento. Al llegar al punto B la temperatura de la superficie alcanza su valor de equilibrio.

Figura 6

Curva Típica de Secado en Función del Tiempo



Fuente: Geankoplis (1986)

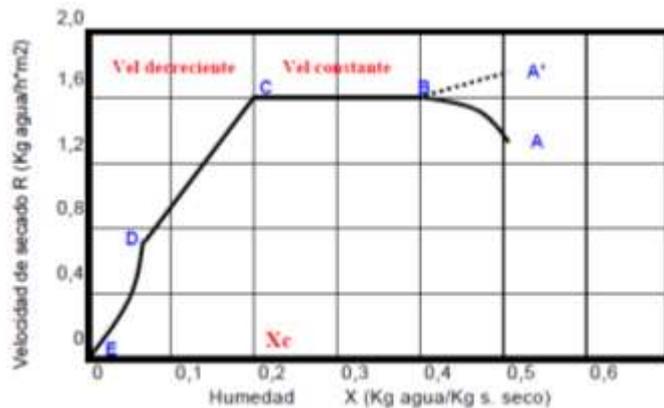
La curva de la figura 7 es recta entre los punto B y C por lo que la pendiente y la velocidad son constantes durante este periodo. Este periodo de velocidad constante de secado corresponde a la línea BC en la figura 7

En el punto C de ambas gráficas la velocidad de secado comienza a disminuir durante el periodo de velocidad decreciente, hasta llegar al punto D. En este primer periodo de velocidad decreciente la velocidad corresponde a la línea CD en la figura 7, y por lo general es lineal.

En el punto D la velocidad de secado disminuye con mayor rapidez aun, hasta que llega al punto E, donde el contenido de humedad llega al equilibrio. (Mc Cabe, 1991).

Figura 7

Curva Velocidad de Secado en Función de Contenido de Humedad



Fuente: Geankoplis (1986)

2.3 Conceptual

2.3.1 Actividad de agua (A_w)

El agua afecta en las reacciones químicas de varias maneras. Puede actuar como un reactivo, o como un disolvente. Las reacciones químicas son complejas y sus mecanismos no siempre se entienden completamente. La estabilidad química de un alimento se correlaciona con la actividad de agua que con el contenido de humedad.

En muchos casos, para maximizar la vida útil, se emplean modelos matemáticos validados, para definir las características del envasado y así conseguir las especificaciones de comercialización. (Fennema, 1992)

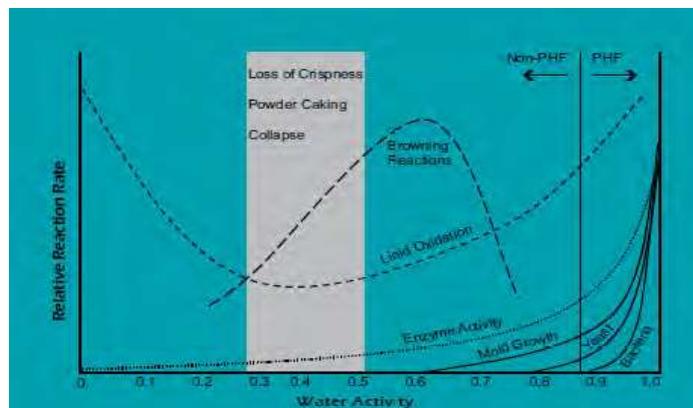
Los modelos predicen las tasas de reacciones de degradación que se producen en alimentos para un valor de actividad de agua determinado.

Para muchos productos alimenticios la actividad del agua es una propiedad muy importante. Predice la estabilidad de los alimentos con respecto a sus propiedades físicas, la velocidad de las reacciones de deterioro y el crecimiento microbiano, influenciando la vida de anaquel, el color, olor, sabor

y consistencia de los mismos. Con la determinación de la actividad del agua de los alimentos es posible predecir qué microorganismos pueden causar deterioro y enfermedades, por lo que se considera una importante propiedad desde el punto de vista de inocuidad alimentaria. (Fennema, 2019).

Figura 8

Relaciones Entre la Actividad de Agua (A_w) y la Estabilidad Física, Química y Microbiológica



Fuente: Lab Ferrer Centre d'Assessoria, Elaborado por Dr. Ferrer SL

Hasta hace recientemente, la A_w como parámetro fisicoquímico ha sido discutido principalmente sólo en dos disciplinas: la fisicoquímica y la microbiología de alimentos. En la primera, mide la energía libre termodinámica del agua, mientras que en la segunda, la actividad del agua es utilizada para definir los límites inferiores para el crecimiento de microorganismos en alimentos. Los microbiólogos se desviaron hacia la medición de actividad del agua al descubrir que la descomposición microbiana de alimentos ocurre en rangos amplios y variables de contenido de agua. (Fennema, 2019).

El término actividad de agua (A_w) fue desarrollado para tener este factor en consideración y se correlaciona suficientemente bien con las velocidades de muchas reacciones degradativas como para que su uso sea valioso (Fennema,

2019). La actividad de agua se define de la siguiente manera (Belitz y Grosch, 2010)

$$A_w = \text{HRE}/100 = p/p^0$$

Donde:

A_w = Actividad de agua.

P = Presión parcial de vapor de agua en un alimento a temperatura T.

P^0 = Presión de vapor de saturación del agua pura a la misma temperatura T.

HRE = Humedad relativa en el equilibrio.

La estabilidad de los alimentos y la actividad de agua están estrechamente relacionadas en muchas situaciones como se puede observar en la Tabla 4.

Tabla 4

Actividad de Agua y Crecimiento de Microorganismos en los Alimentos

Rango de A_w	Microorganismos Generalmente Inhibidos por la A_w más Baja de este Rango	Alimentos Comprendidos Dentro de este Rango
1,00-0,95	<i>Pseudomonas</i> , <i>Escherichia</i> , <i>Proteus</i> , <i>Shigella</i> , <i>Klebsiella</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Clostridium perfringens</i> , algunas levaduras.	Alimentos altamente perecederos (frescos), frutas enlatadas, verduras, carne, pescado, leche, salchichas cocidas, pan.
0,95-0,91	<i>Salmonella</i> , <i>Vibrioparahaemolyticus</i> , <i>C. Botulinum</i> , <i>Serratia</i> , <i>Lactobacillus</i> , <i>Pediococcus</i> , algunos mohos y levaduras.	Algunos quesos (Cheddar, Swiss, provolone), carne curada (Jamón de York), algunos zumos de frutas concentrados.
0,91-0,87	Muchas levaduras (<i>Candida</i> , <i>Torulopsis</i> , <i>Hansenula</i>), <i>Micrococcus</i> .	Embutidos fermentados (salame), dulces esponjosos, quesos secos, margarina.
0,87-0,80	Mayoría de mohos (<i>penicilios micotoxigenicos</i>), <i>Sthaphylococcus aureus</i> , mayoría de <i>sp Saccharomyces (Bailli)</i> .	Mayoría de zumos de frutas concentrados, leche condensada edulcorada, jarabe de chocolate, harina, arroz, legumbres.
0,80-0,75	Mayoría de bacterias halófilas, aspergillus micotoxigenicos.	Compota, mermelada, mazapán, frutas glaseadas.
0,75-0,65	Mohos xerofíticos (<i>Aspergillus chevalieri</i> , <i>A. Candidus</i> , <i>Wallemia sebi</i>) <i>Saccharomyces bisporus</i>	Productos de avena, dulce de chocolate, jaleas, azúcar de caña sin refinar, algunas frutas secas.
0,65-0,60	Levaduras osmofílicas (<i>Saccharomyces rouxii</i>), pocos mohos (<i>Aspergillus echinulatus</i> , <i>Monascus bisporus</i>)	Frutas desecadas conteniendo 15-20% de humedad, algunos toffes, caramelos y miel.

Fuente: Lab Ferrer Centre d'Assessoria, Elaborado por Dr. Ferrer SL



Además de las reacciones químicas y crecimiento microbiano, la a_w también influye en la textura de los alimentos secos y semisecos. La a_w máxima que puede tolerarse en los productos secos sin inducir la pérdida de propiedades deseables oscila desde 0,35 hasta 0,50, dependiendo del producto. Además, para evitar el endurecimiento indeseable de los alimentos texturados blandos se necesitan actividades de agua adecuadamente altas (Fennema, 1993).

2.3.2 Difusividad en la deshidratación por osmosis de la fruta

En la deshidratación por osmosis, se produce el principio de difusividad, por lo que se ha utilizado el método descrito por (Hawkes y Flink 1978).

En la preparación de los agentes osmóticos se utilizó sacarosa, las concentraciones que se prepararon fueron de 55, 60, y 65 °Brix.

La fruta empleada fue arándanos enteros, de tamaños casi uniformes (13-14 mm), después del pretratamiento de la fruta se sumergieron en las disoluciones preparadas. Las cuales fueron sometidos a agitados de 0, 150 y 300 rpm. Se muestrearon durante cinco horas en periodos de cada 20 40, 60', 80, 100, 120, 180, 240,300 minutos. En cada muestreo, a los arándanos se limpió el exceso de solución osmótica, con papel absorbente para luego ser pesados y determinar la pérdida de humedad y la ganancia de sólidos.

La cinética de la deshidratación osmótica se evaluó determinando los parámetros con las siguientes ecuaciones:

$$GS = S - S_0 \quad (1)$$

$$H = \frac{M_0 - M}{M_0} * 100\% \quad (2)$$

$$PH = H - H_0 \quad (3)$$

$$H_N = \frac{H}{H_0} \quad (4)$$

$$S_N = \frac{S}{S_0} \quad (5)$$

Donde:



GS = ganancia de sólidos,
 PH = pérdida de humedad
 H_N = contenido de humedad en equilibrio
 S_N = contenido de sólidos en equilibrio
 S₀ = contenido de sólidos inicial
 M = Masa en un tiempo determinado
 M₀ = Masa inicial

La determinación de contenido de humedad y sólidos en equilibrio, se puede obtener aplicando el modelo de (Haawkes y Flink 1978)

El modelo tiene una tendencia no lineal entre los parámetros de H_N y S_N

$$H_N = 1 - K_W * t^{0.5} \quad (6)$$

$$S_N = 1 + K_S * t^{0.5} \quad (7)$$

Donde:

“t” = tiempo de deshidratación osmótica

K_W = Coeficientes de transferencia de materia para el agua

K_S = Coeficientes de transferencia de materia para el sólido

Según (Telis, Murari, y Yamashita, 2004), Considerando la concentración inicial de componente uniforme en el interior de la muestra, coeficiente de difusión constante y muestra isotrópica; relacionamos las ecuaciones (6) y (7) con la segunda ley de Fick, aplicada a una geometría esférica (Crank, 1975), puede establecerse una relación entre los coeficientes de transferencia de materia y el coeficiente de difusión efectivo.

$$K_W = 2 * \left(\frac{D_{eff}}{p * d_{eq}^2} \right)^{0.5} \quad (8)$$

D_{eff} = Difusividad efectiva del agua o del soluto osmótico

d_{eq} = diámetro equivalente de la muestra calculada mediante:



$$V = \frac{1}{6} * p * d_{eq}^2 \quad (9)$$

V= volumen del arándano

En la deshidratación osmótica la transferencia de materia encuentra dos resistencias al transporte de soluto osmótico hacia el interior del arándano:

Resistencia a la transferencia que ofrece la capa de masa que se forma en la superficie externa del arándano

Resistencia que ofrece el tejido celular en el interior del arándano.

La siguiente ecuación determina la difusividad efectiva y toma en cuenta los dos tipos de resistencia

$$D_{eff} = \frac{1}{\frac{1}{K_{ext} * d_{eq}} + \frac{1}{D_s}} \quad (10)$$

Donde:

K_{ext} = coeficiente de transferencia de materia externo

D_s = coeficiente de difusión en el interior del sólido

Si no existe gradiente de concentración en la superficie externa del arándano, la resistencia externa es nula y el valor de k_{ext} es infinito. Entonces:

$$D_{eff} = D_s \quad (11)$$

2.4 Definición de términos básicos

Deshidratación Osmótica

La deshidratación osmótica se basa en el principio de ósmosis, que es la difusión de las disoluciones a través de membranas semipermeables, es decir, membranas que dejan pasar al disolvente pero no al soluto. La corriente osmótica entre dos disoluciones va siempre de la diluida a la concentrada (Burbano y Gracia, 2003). En el caso de los sistemas biológicos la ósmosis ocurre a través de la membrana celular que posee permeabilidad diferencial regulando la entrada y salida de solutos. El ingreso del soluto en la fruta y

hortaliza va a depender de la permeabilidad selectiva de las membranas (Ríos, Márquez, y Ciro, 2005)

Secadores

Son equipos utilizados para separar un líquido de un sólido mediante la evaporación. Principalmente es utilizado para reducir o eliminar humedad. En estos equipos la fuente de calor es una corriente de gas caliente. El material para el secado puede estar estático, móvil, fluido o diluido. (Geankoplis, 1986)

Secadores Indirectos

El calor de desecación se transfiere al sólido húmedo a través de una pared de retención. El líquido vaporizado se separa independientemente del medio de calentamiento. La velocidad de desecación depende del contacto que se establezca entre el material mojado y las superficies calientes. Los secadores indirectos se llaman también secadores por conducción o de contacto. (Geankoplis, 1986)

Secadores directos

La transferencia de calor para la desecación se logra por contacto directo entre los sólidos húmedos y los gases calientes. El líquido vaporizado se arrastra con el medio de desecación; es decir, con los gases calientes. Los secadores directos se llaman también secadores por convección. (Geankoplis, 1986)

Actividad del agua

Definición: Se entiende como actividad de agua (valor a_w), la humedad en equilibrio de un producto, determinada por la presión parcial del vapor de agua en su superficie. El valor A_w depende de la composición, la temperatura y el contenido en agua del producto. Tiene incidencia sobre las características de calidad, tales como: textura, sabor, color, gusto, valor nutricional del producto y su tiempo de conservación. (Potter, 1999).

III. HIPOTESIS Y VARIABLES

3.1 Hipótesis General e hipótesis específicas

3.1.1 Hipótesis General

Los parámetros para la deshidratados de los arándanos por método combinado osmosis - aire caliente influirá en la determinación de la actividad del agua de los arándanos

3.1.2 Hipótesis Específica

- ❖ Mediante las pruebas fisicoquímicas de los arándanos se podrá determinar la actividad del agua
- ❖ Mediante pruebas experimentales se determinara la concentración de la solución, temperatura y tiempo en la deshidratación osmótica
- ❖ Mediante pruebas experimentales se determinara la temperatura, velocidad de aire y tiempo en el secado por aire caliente
- ❖ Mediante pruebas experimentales se determinara la cinética de deshidratación respecto a la disminución del contenido de agua, aumento de solidos solubles, pérdida de peso, actividad de agua.

3.2 Definición conceptual de las variables

La investigación que se va desarrollar se caracteriza por ser longitudinal estudiando la variable a lo largo del tiempo establecido, por ser este el determinante en la relación causa efecto.

Por su naturaleza, todas las variables identificadas son del tipo cualitativa y cuantitativa. Por su dependencia X es dependiente, y las variables X1, X2, X3 son independientes.

Es decir:

$$X = f(X1, X2, X3)$$

$$X = \text{Actividad de agua}$$

$$X1 = \text{Parámetros de deshidratación por osmosis}$$



X2 = Parámetros de secado por aire caliente

X3 = Evaluación de las características físico químicas de la fruta

3.3 Operacionalización de la variable.

VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADOR	INDICE	TECNICAS ESTADÍSTICAS	METODO
X= Actividad de agua	<ul style="list-style-type: none"> Contenido de agua 	<ul style="list-style-type: none"> humedad 	<ul style="list-style-type: none"> % de humedad 	<ul style="list-style-type: none"> Estadística descriptiva 	<ul style="list-style-type: none"> Modelo matemático
VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADOR	INDICE	TECNICAS ESTADÍSTICAS	METODO
X ₁ = Parámetros de deshidratación por osmosis	<ul style="list-style-type: none"> % de agua removido 	<ul style="list-style-type: none"> Peso Concentración Temperatura Tiempo 	<ul style="list-style-type: none"> g % azúcar C° Horas 	<ul style="list-style-type: none"> Estadística descriptiva 	<ul style="list-style-type: none"> Método analítico
X ₂ = Parámetros de secado por aire caliente	<ul style="list-style-type: none"> % de agua removido 	<ul style="list-style-type: none"> Peso Humedad inicial y final Temperatura Tiempo 	<ul style="list-style-type: none"> g % C° horas 	<ul style="list-style-type: none"> Estadística descriptiva 	<ul style="list-style-type: none"> Método analítico
X ₃ = Evaluación de las características físico químicas de la fruta	<ul style="list-style-type: none"> Característica físico químicas 	<ul style="list-style-type: none"> humedad solidos solubles pH acidez 	<ul style="list-style-type: none"> % Brix pH acidez 	<ul style="list-style-type: none"> Estadística descriptiva 	<ul style="list-style-type: none"> Método analítico

IV. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1 Tipo y diseño de investigación

4.1.1 Tipo y diseño de investigación

La propuesta de investigación que se desarrolló, corresponde:

- a) Por su finalidad. Es de tipo aplicada exploratorio, puesto que sirve para su aplicación a la práctica.
- b) Por su diseño interpretativo. Es experimental porque permitió manipular el factor causal para determinar el efecto deseado.
- c) Por el énfasis de la naturaleza de los datos manejados. Es del tipo mixto porque las variables de la investigación son cuantitativas y cualitativas

4.1.2 Diseño de Investigación

El diseño de la investigación está constituido por cuatro etapas.

La primera etapa de la investigación consistió en la revisión de la teoría vinculada a la variable de investigación, con el propósito de identificar algunos argumentos científicos, antecedentes de estudio y bases científicas,

En la segunda etapa se procedió a realizar los análisis físicos químicos de la fruta en los laboratorios.

En la tercera etapa de investigación Se procedió a realizar las pruebas experimentales en los laboratorios sobre la deshidratación osmótica y el secado por aire caliente y la determinación de la actividad de agua de la fruta deshidratada.

En la cuarta etapa de la investigación con la teoría y la información lograda tanto en la primera etapa como en la segunda etapa y tercera etapa se realizara un riguroso análisis de la información y redacción correspondiente.

4.2 Método de investigación

El presente proyecto de investigación se realizó aplicando método científico, conformado por cuatro etapas

La investigación desarrollada, es de tipo experimental, aplicativo con enfoque cuantitativo, debido a que se ha recolectado datos experimentales en laboratorio.

4.3 Población y Muestra

La población estuvo representada 500 Kg de arándanos que llega diariamente al mercado de frutas N° 2 de la Av. Arriola la Victoria.

La muestra tomada fue de 97 kilos, que fue calculada teniendo en cuenta formula estadística en función de la población.

4.4 Lugar de estudio

El presente trabajo de investigación se desarrollara en el laboratorio de alimentos y laboratorio de investigación, de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao, se realizó durante el periodo del 1 de febrero del 2020 al 28 de febrero del 2021

4.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

Las técnicas que utilizaron en el desarrollo de la investigación fueron:

4.5.1 Análisis de materia prima

Los análisis que se realizaron a las materias primas fueron: análisis proximal, y análisis microbiológico.

A.- Análisis físico químico

- ✓ Peso: se determinó empleando una balanza digital según lo descrito por la NTP 203.121.2007 (revisada el 2014).
- ✓ Diámetro y altura: se determinó empleando un pie de rey o vernier según lo descrito por la NTP 203.121.2007 (revisada el 2014).

- ✓ Sólidos solubles: se determinó empleando un refractómetro de bancada, con corrección de temperatura siendo el resultado expresado en °Brix según lo descrito por la A.O.A.C 932.12 (2005).
- ✓ pH: se determinó empleando un potenciómetro según lo descrito por la A.O.A.C 981.12 (2005).

B Análisis proximal

- ✓ Humedad: Método AOAC el 934.06 (37.1.10) de 1995,
- ✓ Cenizas: Método según AOAC 15 th Edition, 1995.
- ✓ Proteína: Método AOAC935.39, NT P 205.042:1975 (Revisado 2017)
- ✓ Grasa: Método AOAC 963.22 2015.
- ✓ Carbohidratos: Método por diferencia

C Análisis microbiológico:

Los arándanos, debido al bajo valor de pH, son muy susceptibles al deterioro microbiológico por mohos y levaduras. Según (Tournas & Katsoudas, 2005) el 95% de las muestras de arándanos frescos presentan altos recuentos de mohos y levaduras, estos al desarrollarse pueden producir micotoxinas o causar infecciones o alergias.

- ✓ Recuento de mohos: se realizó mediante el método de siembra en placa en todo el medio según lo descrito por la ICMSF (1983), Microorganismos de los Alimentos. Su significado y métodos de enumeración. Pág. 165-167, 2da Ed. (1983).

4.5.2 Análisis estadístico

El programa estadística que se ha utilizado para la valuación de las diversas variables de la investigación fue el MINITAB 19

4.6 Análisis y procesamiento de datos

4.6.1 Métodos de análisis

- **Análisis químico**



Los arándanos fueron sometidos a un análisis de contenido de humedad, según los métodos recomendados por AOAC.

Humedad. La humedad se determinó en balanza de humedad, se utilizó un gramo de muestra a 110 °C.

El método que se usó fue el 934.06 (37.1.10) del (AOAC, 1995) especial para frutas ricas en azúcares, para los distintos tiempos de la fruta tratada osmóticamente y después de la operación de secado.

$$\% H = \frac{P_m - (P_f - P_i)}{P_m} * 100$$

Dónde:

%H: Humedad en porcentaje de masa.

P_m: Peso de la muestra.

P_f: Peso final de la placa con la muestra.

P_i: Peso de la placa vacía.

Procedimiento:

Pesar alrededor de 5 g de la muestra previamente molida.

Colocar la muestra en una estufa a 105°C por un mínimo de 12 h.

Dejar enfriar la muestra en un desecador.

Pesar nuevamente cuidando de que el material no este expuesto al medio ambiente.

Proteína. La proteína se determinó por el método kjeldahl. y para valorar el contenido de nitrógeno amínico presente en la muestra se utiliza el factor de conversión N x 6.20

Cenizas. Se utilizó una mufla, hasta obtener residuos grises o blancos, lo que indica total calcinación, según la metodología AOAC.

$$\% \text{ ceniza} = \frac{\text{peso de ceniza}}{\text{peso de muestra}} 100$$

Grasa. Se determinó siguiendo la metodología AOAC por el método Soxhlet.



$$\% \text{ grasa} = \frac{\text{peso de matraz (grasa)} - \text{peso matraz vacio}}{\text{peso de muestra}} 100$$

Fibra Cruda. La fibra cruda se determinó siguiendo la metodología AOAC por hidrólisis, ácido alcalino y se realizó los cálculos con la siguiente formula

$$\% \text{ fibra cruda} = \frac{P_1 - P_2}{\text{peso de muestra}} 100$$

Carbohidratos. Se determinó por diferencia.

$$\% \text{ carbohidrato} = 100 - (\% \text{ Ceniza} + \% \text{ fibra} + \% \text{ grasa} + \% \text{ proteína})$$

pH

El pH o potencial de hidrogeno Se mide con un pH-metro.

➤ Análisis microbiológico

Los análisis microbiológicos realizados a las materias primas según lo estipulado por MINSA/DIGESA-V.01. Norma Sanitaria que establece los Criterios Microbiológicos de Calidad Sanitaria e Inocuidad para los Alimentos y Bebidas de Consumo Humano, en la tabla 5 se muestra los análisis microbiológicos con los rangos mínimos y máximos.

Tabla 5

Actividades Realizadas en Laboratorio

Pruebas	Materia prima	Producto Deshidratado
Mohos (ufc/ml)	X	X
Levaduras (ufc/ml)	X	X
Humedad %	X	X

Fuente: Elaboración propia

Mohos y levaduras Se empleado método de recuento de mohos por siembra en placa en todo el medio. Seguin el método ISO 7954:1982, AOAC 20th Edition, 2016. 997.02 Yeast and Mold Counts in Foods.



Tabla 6

Normas Sanitarias Microbiológicas para Alimentos y Bebidas

Microorganismo	Limite por gramo (ufc/ml)	
	Mínimo	máximo
Mohos	$<10^2$	10^2
Levaduras	$<10^3$	10^3

Fuente: MINSA Resolución Ministerial 2007

4.6.2 Mediciones experimentales durante el proceso de deshidratación

Las principales mediciones experimentales que se realizarán durante el proceso de deshidratación osmótica, secado y determinación de la actividad de agua.

Determinación de humedad. Se realizó para distintos tiempos en la fruta deshidratada por osmosis y también para la etapa de secado. El método usado fue el 20.013 de la AOAC (1995), especial para frutas ricas en azúcares.

Determinación de sólidos solubles. Esta medición se realizó mediante el refractómetro digital ATAGO

Los arándanos fueron triturados, para posterior lectura del ° Brix para cada temperatura, durante el tiempo de muestreo establecido.

Determinación de la actividad de agua (Aw). Se realizó para los tiempos 0 y durante todo el tiempo del proceso de secado. Se realizó por medio del equipo analizador de Aw NOVASINA

4.6.3 Metodología Experimental

De acuerdo con la bibliografía consultada y por recomendaciones de diversos autores, se tomaron como referencia para determinar los parámetros que intervienen en el proceso de deshidratación osmótica.



Materia prima que se utilizó fue los arándanos (*Vaccinium corymbosum* L.), de variedad Biloxi, de tamaño uniforme (10-13 mm de diámetro), adquiridos en el mercado de frutas N° 2 de la Av. Arriola la Victoria.

La fruta se seleccionó, clasificó y lavó.

Agente Osmótico Se utilizó la sacarosa de grado comercial para preparar la solución que actuó como agente osmótico en la deshidratación de la fruta por osmosis, el cual se adquirió en el mercado local.

Materiales y equipos empleados en la deshidratación osmótica

- ✓ Agua destilada.
- ✓ Papel toalla.
- ✓ Papel aluminio.
- ✓ Vaso Precipitado (2 L).
- ✓ Termómetro.
- ✓ Balanza Analítica Modelo: LX 220A Marca: Precisión de 0.01g
- ✓ Refractómetro Digital ATAGO
- ✓ Estufa Eléctrica – Marca P-Selecta
- ✓ Deshidratador osmótico
- ✓ Baño María termostático.
- ✓ Equipo analizador de actividad de agua NOVASINA

Figura 9

Equipo Refractómetro Digital y Analizador de Actividad de Agua



Fuente: Foto, Elaboración Propia

Materiales y equipos empleados en la etapa de Secado

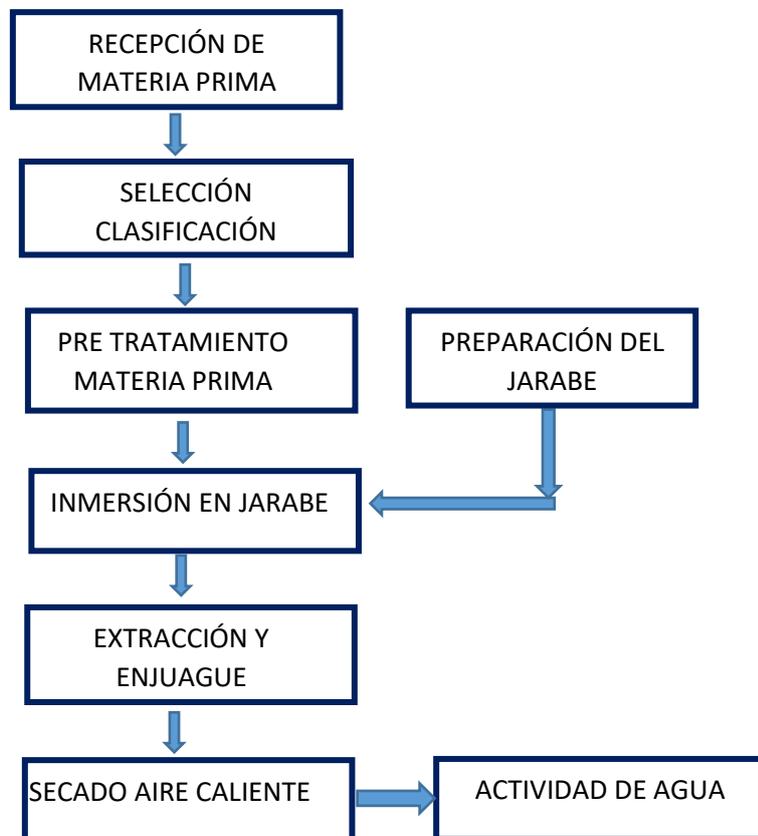
- ✓ Papel toalla.
- ✓ Alcohol.
- ✓ Fuentes.
- ✓ Mallas plásticas (15 x 15 cm) con marco metálico
- ✓ Balanza Analítica Precisa.
- ✓ Secador de bandejas

Proceso de deshidratación osmótica y secado de arándanos

En la figura 10 se muestra el diagrama de bloques general del proceso de deshidratación de arándanos.

Figura 10

Diagrama General del Proceso Deshidratación Osmótica y Secado del Arándano



Recepción de la materia prima: Los arándanos (*Vaccinium corymbosum* L.) provenientes del mercado mayorista de futas del distrito de San Luis figura 11, fueron seleccionados clasificados, lavados desinfectados.

Selección, clasificación y lavado. Se realizó teniendo en cuenta, el estado de madurez y un mismo tamaño, que se encontraban en un rango de 11 a 15 mm, así mismo se tuvo en cuenta que no presenten abrasiones en la cascara, daño causado por insectos y por microorganismos. Se prosiguió con lavar y desinfectar la materia prima.

Figura 11

Materia Prima Arándanos



Pre tratamiento de la fruta.

Fuente: Fotos, Elaboración Propia

El pre tratamiento de la fruta, fue un tratamiento químico que consistió en la inmersión por 5 segundos en una solución de soda a 1.5% (según bibliografía) de concentración a temperatura de ebullición, luego lavadas con agua fría para evitar la sobre cocción y eliminar todo tipo de residuo químico.

Preparación de la solución osmótica: se preparó solución de sacarosa según planteado en el ensayo del experimento (Tabla 7), en un recipiente a fuego lento agitando continuamente hasta que el azúcar se disuelva completamente, se retira el recipiente del fuego y se deja enfriar el jarabe. Antes de iniciar el experimento, se verificó la concentración de la solución osmótica (°Brix).

Deshidratación osmótica, Se vierte el jarabe en el recipiente en un equipo deshidratador casero, por un tiempo aproximado de 5 horas, manteniendo a

una determinada temperatura, agitando el recipiente periódicamente, durante este proceso, cada cierto tiempo se extrajo muestras y se determinó humedad y °Brix en la fruta.

Extracción y enjuague de los arándanos. Después de 5 horas (aproximadamente), del proceso de deshidratación osmótica se lava con la finalidad de eliminar de la capa superficial la solución osmótica. Se vertió el contenido, con un cedazo, se recogió el jarabe en otro recipiente y se procedió a enjuagar la fruta durante 4 segundos (máximo), se escurrió la fruta durante 10 minutos.

Proceso de Secado. Luego, de la operación anterior las muestras fueron secadas en un secador de bandejas por 10 horas a 55°C con recirculación de aire del 50%. Al finalizar esta operación se realizó la determinación de la actividad de agua, análisis proximal correspondiente, y el análisis microbiológico.

Actividad de agua. Después del proceso de secado se los arándano con aire caliente, se procede a medir la actividad de agua en todo el tiempo del proceso de secado y en cada una de las pruebas, para el cual se utilizó el equipo para determinar la actividad de agua figura 12

Empaque: El empaque de los arándanos deshidratados se realizó en bolsas de polipropileno

Factores en estudio. Se tomó en cuenta las variables independiente (temperatura, concentración de la solución osmótica), y las variables dependientes la humedad y los °Brix del fruto. Se utilizó un Diseño Factorial de bloques 3^2 en forma aleatoria con dos repeticiones. Este diseño nos proporciona 9 tratamientos y dos tratamientos a los puntos centrales, haciendo un total de once tratamientos. Se muestran en las tablas 7. El diseño se efectuó en forma aleatoria en la tabla 8 se puede observar los valores utilizados.

Figura 12

Equipo Para Determinar Actividad de Agua.



Fuente: Fotos, Elaboración Propia

Tabla 7

Diseño Experimental para la Deshidratación Osmótica

Tratamiento	Temperatura del Agente Osmótico (°C)	Concentración de la Agente Osmótico °Brix
1	45	55
2	45	60
3	45	65
4	50	55
5	50	60
6	50	65
7	60	55
8	60	60
9	60	65
10	50	60
11	50	60

Fuente: Elaboración Propia

Variable respuesta.

Porcentaje de pérdida de humedad (%H), ganancia de sólidos solubles °Brix y actividad de agua del producto final.

Tabla 8

Valores de los Niveles Factoriales

Niveles	Variables	
	Temperatura °C (X ₁)	Concentración del Agente Osmótico °Brix (X ₂)
-1	45	55
0	50	60
1	60	65

Fuente: Elaboración Propia

Temperatura °C $45 \leq X_1 \leq 60$

Concentración Agente Osmótica °Brix $55 \leq X_2 \leq 65$

El diseño experimental para la deshidratación osmótica de arándanos se muestra en la tabla 9 las variables independientes y las que se obtienen empleando el diseño de la superficie respuesta

4.6.4 Proceso experimental para realizar la deshidratación osmótica

Para realizar el proceso de deshidratación osmótica de arándanos, se detallan en el diagrama que se muestran en la figura 13

Procedimiento experimental

Teniendo en cuenta los trabajos experimentales y recomendaciones realizados por diversos investigadores consultados en la bibliografía, se tomaron en consideración los niveles para cada uno de los factores que intervienen en la deshidratación osmótica. Se trabajó con agente osmótico a 45, 50 y 60 °C y a 55, 60, 65, °Brix de concentración de la solución osmótica



Tabla 9*Diseño Experimental Para la Deshidratación Osmótica*

Prueba	Variables			
	(X ₁)	(X ₂)	(X ₁)	(X ₂)
1	-1	1	50	60
2	0	0	55	55
3	0	0	60	65
4	0	-1	45	60
5	-1	-1	50	60
6	1	1	50	65
7	0	1	60	60
8	1	0	45	65
9	0	0	45	55
10	-1	0	50	60
11	1	-1	60	55

Fuente: Elaboración Propia

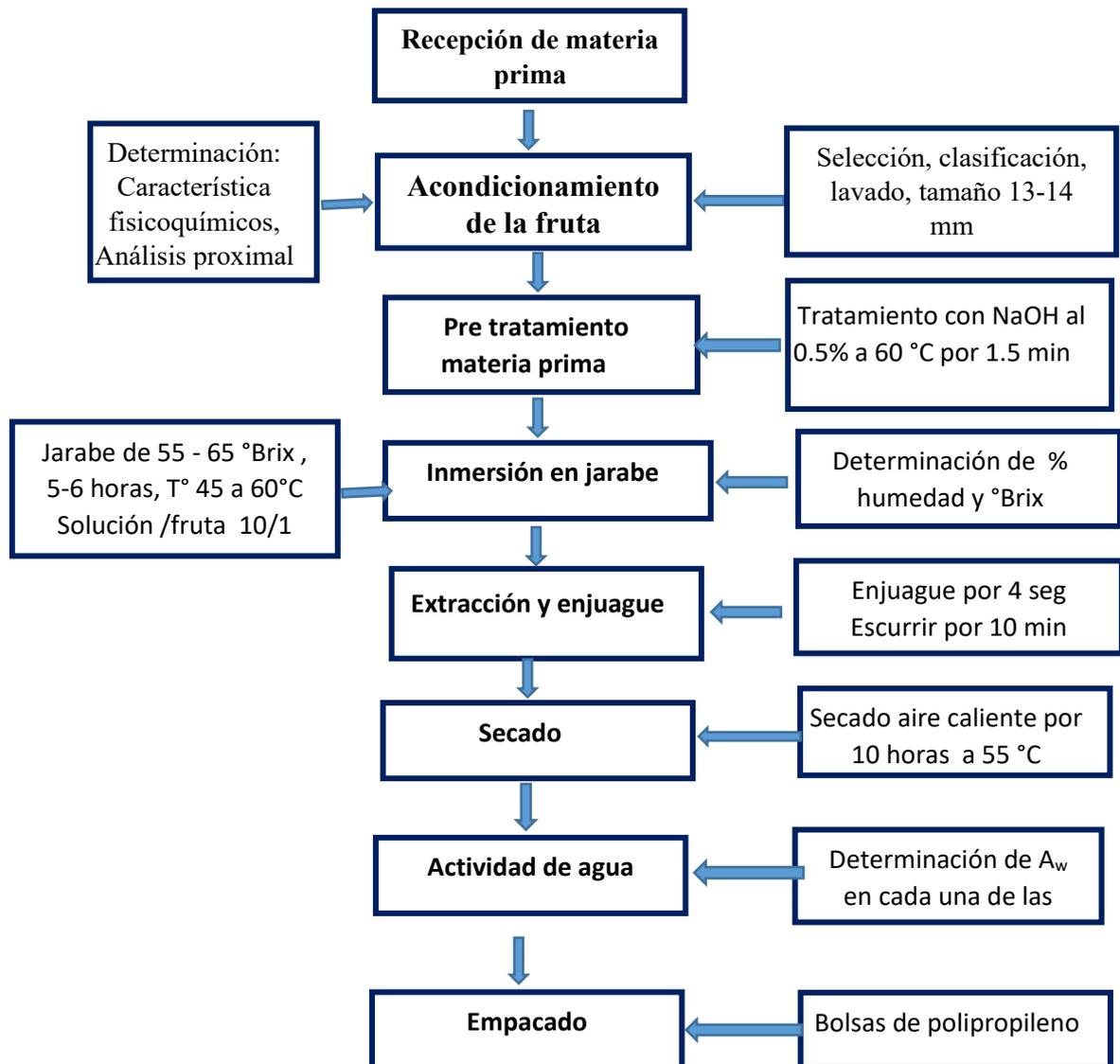
Acondicionamiento de la fruta. En esta etapa La fruta fueron seleccionadas y clasificad teniendo en cuenta el estado de madures y tamaño, que se encontraron en un rango de 11 a 15 mm, se seleccionaron las frutas del tamaño de 13 a 14 mm, para favorecer la deshidratación homogénea, así mismo se tuvo en cuenta que no presenten abrasiones en la cascara, daño causado por insectos y por microorganismos. En estas condiciones se tomaron la muestra para realizar los análisis de las características físicas químicas tabla 10, °Brix, pH, análisis proximal tabla 11 y actividad de agua.

Pre tratamiento de la fruta. Este proceso es un tratamiento químico, que consiste en la inmersión de la fruta una solución de soda de 0.5% (Beaudry, 2001), durante 1.5 minutos a 60°C, luego las frutas fueron lavadas con agua fría

para remover la solución adherida en la superficie y se secaron con papel absorbente.

Figura 13

Diagrama de Proceso Deshidratación Osmótica y Secado de Arándano



Fuente: Elaboración Propia

Preparación de la solución osmótica: Se preparó solución de sacarosa según planteado en el ensayo del experimento según tabla 7, en un recipiente a fuego lento agitando continuamente hasta que el azúcar se disuelva

completamente, se retira el recipiente del fuego y se deja enfriar el jarabe. Antes de iniciar el experimento, se verificó la concentración de la solución osmótica (°Brix).

Deshidratación osmótica, En esta operación, se coloca la fruta y se vierte el jarabe en el recipiente del equipo deshidratador casero, por un tiempo aproximado de 5 a 6 horas, manteniendo a una determinada temperatura, agitando el recipiente periódicamente, cada cierto tiempo se extrajo muestras y se determinó humedad y °Brix en la fruta.

Extracción y enjuague de los arándanos. Después de 6 horas (aproximadamente), del proceso de deshidratación osmótica, se separa la fruta del jarabe, con un colador, luego se lava por no más de 4 segundos, con la finalidad de eliminar la solución osmótica de la capa superficial, se deja escurriendo por 10 a 12 minutos.

Proceso de Secado. Luego, de la operación anterior las muestras fueron secadas en un secador de bandejas por 10 horas a 55°C con recirculación de aire caliente 50% de recirculación a una velocidad de 6 m/s, se tomaron la muestra cada 25 minutos. Al finalizar esta operación se realizó la determinación de la actividad de agua, análisis % de humedad y análisis microbiológico.

Actividad de agua. Después del proceso de secado se los arándano con aire caliente, se procede a medir la actividad de agua al principio de proceso de secado por aire caliente y al final del proceso las mediciones se realizaron utilizando el equipo analizador de actividad de agua.

Empaque: El empaque de los arándanos deshidratados se realizó en bolsas polipropileno de alta densidad y para complementar su conservación se almaceno refrigerado para evitar el desarrollo de hongos y levaduras según (Camacho, 1994).

V. RESULTADOS

5.1 Resultados descriptivos

5.1.1 Análisis de la materia prima arándano (*Vaccinium corymbosum L.*)

En la tabla 10 se muestra el análisis físico químico que se realizó a los arándanos, dichos análisis es el promedio de tres pruebas experimentales

Tabla 10

Propiedades Físico Químicas de Arándanos

Característica	Unidad	Valor Promedio
Peso	g	2.52
Diámetro	cm	1.5
Longitud	cm	1.13
Sólido soluble	°Brix	12.54
pH		2.93

Fuente: Elaboración propia

5.1.2 Pre tratamiento de la fruta.

Este proceso es un tratamiento químico, que consiste en la inmersión de la fruta una solución de soda de 0.5% (Beaudry, 2001), durante 1.5 minutos a 60°C, luego las frutas fueron lavadas con agua fría para remover la solución adherida en la superficie y se secaron con papel absorbente.

En la tabla 11 se muestra el análisis proximal de las materias primas utilizadas en la investigación dichos análisis es el promedio de tres pruebas experimentales y en el tabla 12 se detalla el Análisis microbiológico

Tabla 11*Análisis Proximal de la Materia Prima*

Componentes	Valor por 100 g
Humedad	85.12
Proteínas	1.01
Grasa	0.02
Ceniza	1.03
Carbohidratos	10.66
Fibra total	2.16

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12*Análisis Microbiológico de Materia Prima Arándanos (*Vaccinium corymbosum* L.)*

Componentes	(UFC/ml)
Mohos	1.2×10^3
Levaduras	10×10^2
Mesófilos totales aerobios	12×10^3

Fuente: Elaboración propia

5.1.3 Determinación de la variación del contenido de agua (humedad) y °brix)

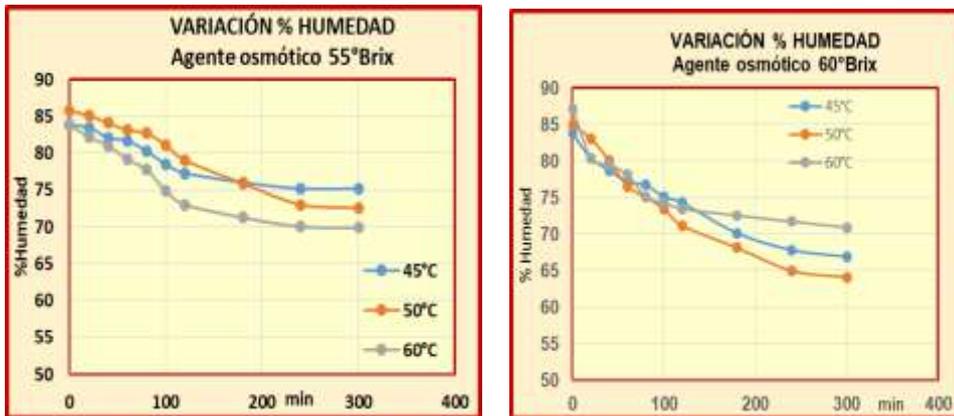
Durante el proceso de deshidratación osmótica de arándanos, se realizó la determinación de la pérdida de humedad y la ganancia de sólidos solubles (°Brix) en el fruto a través del tiempo en los diversos agentes osmóticos. Según el diseño experimental aplicado en la DO se realizó con tres concentraciones del agente osmótico (55, 60 y 65 ° Brix), 3 niveles de temperaturas (45°C, 50°C y 60°C). Los tiempos de contacto en arándanos fueron 20, 40, 60, 80, 100, 120, 180, 240 y 300 minutos. Se utilizó sacarosa comercial para la preparación del agente osmótico. La relación fruta/jarabe

fue 1:10, permitiendo generar una alta presión osmótica sobre el fruto y lograr una mayor transferencia de masa durante el proceso.

En la figura 14 y 15 se observa la variación del contenido de humedad y en la figuras 16 y 17 se muestran el contenido de grados brix respecto al tiempo, del mismo modo sólidos solubles en fruta vs tiempo respecto a la humedad. Se tomaron las muestras durante 5 horas.

Figura 14

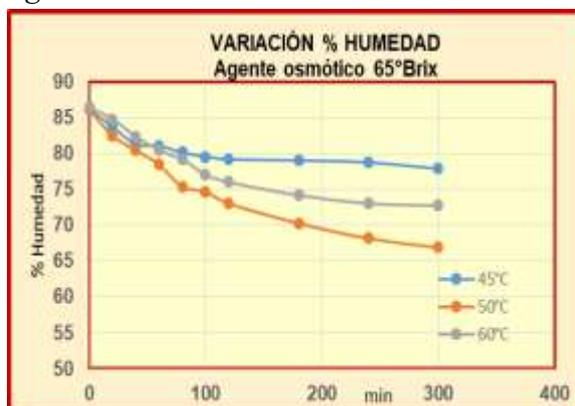
Variación de Humedad en la Deshidratación Osmótica a 45, 50 Y 60 °C, Agente Osmótico de 55 y 60 °Brix



Fuente: Elaboración propia

Figura 15

Variación de Humedad en la Deshidratación Osmótica a 45, 50 y 60 °C, Agente Osmótico de 65 °Brix



Fuente: Elaboración propia



Figura 16

Variación de Sólidos Solubles en la Deshidratación Osmótica a 45, 50 y 60 °C, Agente Osmótico de 55 y 60 °Brix



Fuente: Elaboración propia

Figura 17

Variación de Sólidos Solubles en la Deshidratación Osmótica a 45, 50 y 60 °C, Agente Osmótico de 65 °Brix



Fuente: Elaboración propia

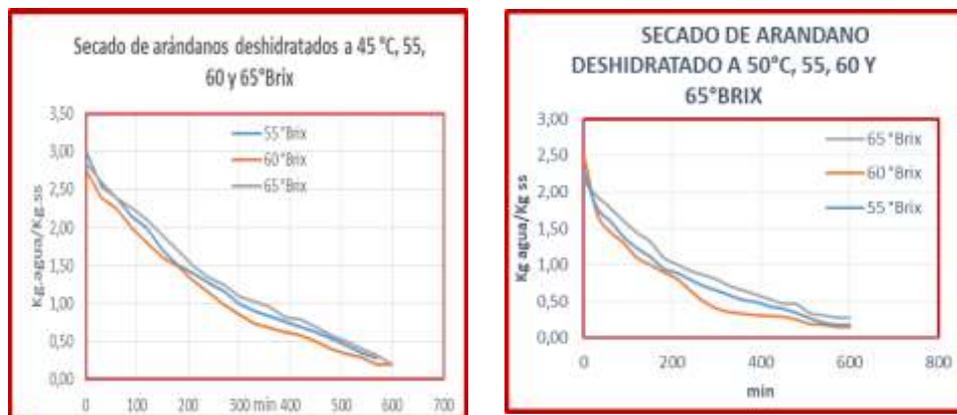
5.1.4 Secado de arándanos deshidratados por osmosis

El secado se realizó en un tiempo de 10 horas en un secador de bandejas a 55°C de aire con 50% de recirculación, aquí se midió la humedad y la actividad de agua, así como se tomaron muestras para verificar la pérdida de

peso. En las figuras 18 y 19 se muestra la variación de Kg agua/Kg ss de arándanos deshidratados en agente osmótico de 55, 60 y 65 °Brix y a 45, 50 y 60 °C En el proceso de secado con aire caliente.

Figura 18

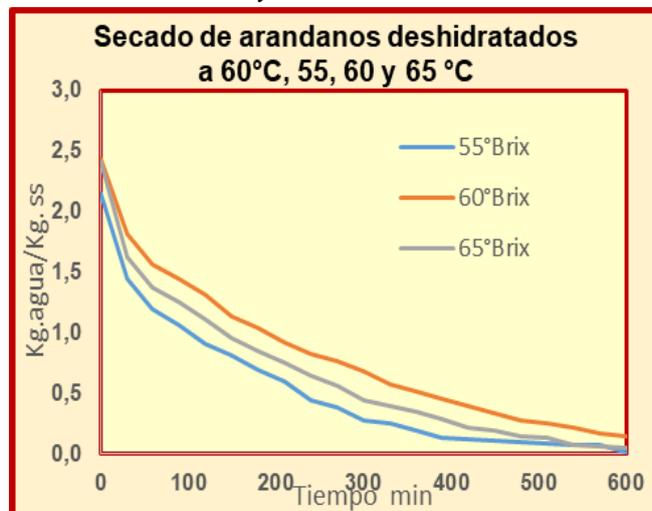
Variación de Kg agua/Kg ss de Arándanos Deshidratados en Agente Osmótico de 55, 60 y 65 °Brix a 45 y 50 °C. - Proceso de Secado con Aire Caliente



Fuente: Elaboración propia

Figura 19

Variación de Kg Agua/Kg Ss de Arándanos Deshidratados en Agente Osmótico de 55, 60 y 65 °Brix s 60 °C. - Proceso de Secado con Aire Caliente



Fuente: Elaboración propia



5.1.5 Actividad de agua de arándanos deshidratados por osmosis y secado con aire caliente

En la tabla 13 se muestra la actividad de agua de arándano deshidratados por osmosis y secados con aire calientes, Los cuales fueron medidos con el equipo NOVASINA en cada una de las pruebas

Tabla 13

Actividad de Agua y % de Humedad de Arándanos Deshidratados de Agente Osmótico de 55, 60 y 65 °Brix y a Temperaturas de 45, 50 y 60 °C

	45 °C			50 °C			60 °C		
Medio									
Osmótico °Brix	55	60	65	55	60	65	55	60	65
Aw Fruta									
Deshidratado	0,92	0,89	0,95	0,91	0,89	0,89	0,91	0,88	0,93
%H Fruta									
Deshidratado	75,20	66,92	77,86	72,57	64,12	66,87	69,87	70,91	72,72
Aw Fruta Seca	0,74	0,74	0,74	0,73	0,72	0,75	0,72	0,73	0,72
%H Fruta Seca	16,67	16,67	16,67	15,25	13,04	21,88	12,28	13,04	11,50

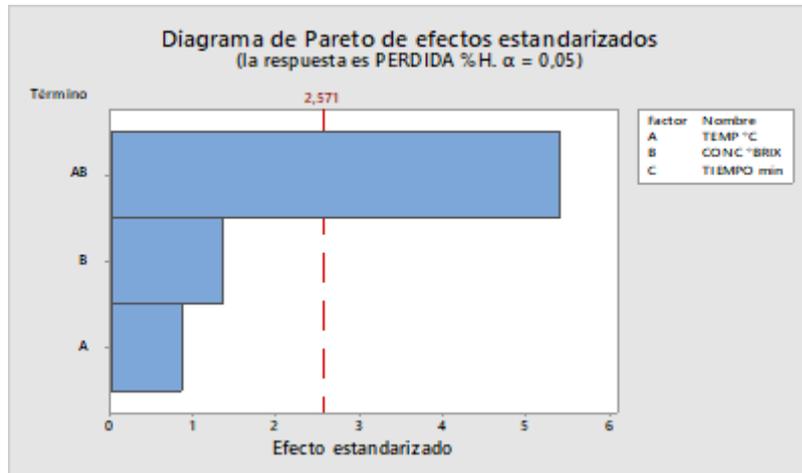
Fuente: Elaboración propia

5.2 Resultados inferenciales

Se puede observar en la figura 20 el diagrama de Pareto, se puede observar los efectos estandarizados de las variables que influyen en la pérdida de humedad (Kg. Agua/Kg ss), y figura 21 se muestra la gráfica de residuos para pérdida de humedad en el proceso de deshidratación por osmosis

Figura 20

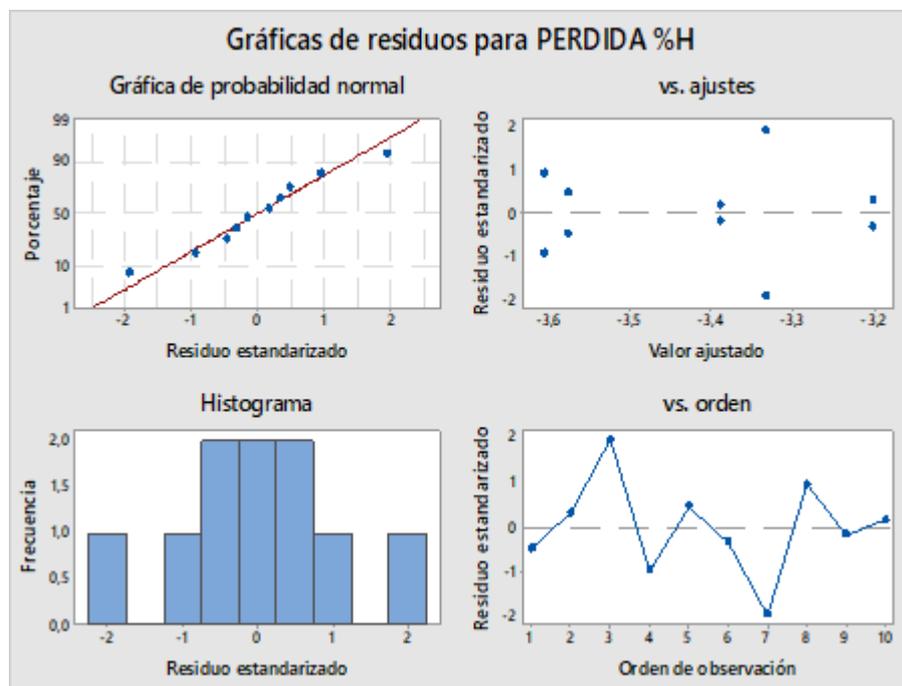
Diagrama de Pareto de Arándanos Deshidratados en Agente Osmótico de 55, 60 y 65 °Brix a 45. 50 y 60 °C.



Fuente: Elaboración propia

Figura 21

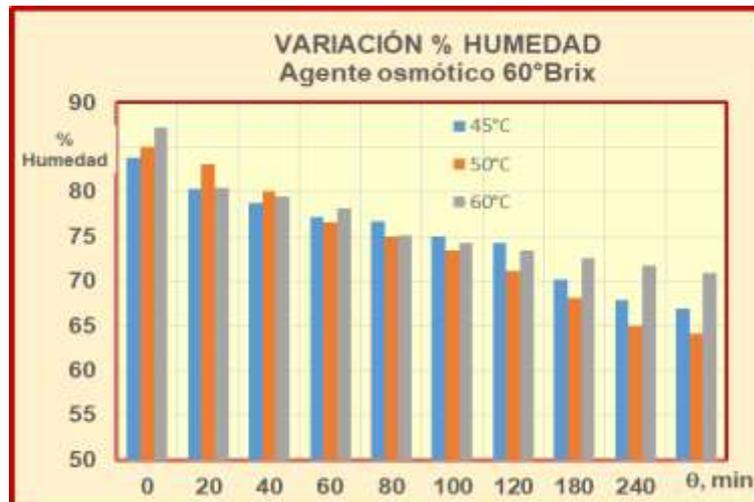
Residuos Para Pérdida de Humedad



Fuente: Elaboración propia

Figura 22

Variación del % de Humedad a Temperatura de 45, 50 y 60 °C y Concentración del Agente Osmótico de 60 °Brix



Fuente: Elaboración propia

5.3 Resultados estadísticos, de acuerdo a la naturaleza del problema y la hipótesis

Para la evaluación estadística se utilizó MINITAB 19, Para realizar evaluación de la pérdida de humedad y la ganancia de sólidos solubles en el fruto se muestran las siguientes figuras.

En la tabla 14 se muestra el análisis de varianza para pérdida de humedad en la deshidratación de arándanos por osmosis.

En la figura 23 se muestra la capacidad de la temperatura de disminuir la humedad en las tres temperaturas y en las figuras 24 y 25 se muestra Interacción para pérdida de humedad y el efectos principales para pérdida de humedad respectivamente.

En la figura 25, 27 y 28 se puede mostrar el Análisis de cubos (medias ajustadas) en la pérdida de humedad en el proceso de deshidratación osmótica; Superficie respuesta Comparación de promedios para pérdida de

humedad solubles, según la temperatura y concentración del agente osmótico y Comparación de las variables en la gráfica de contorno de pérdida de humedad con respecto a la concentración temperatura del agente osmótico y el tiempo respectivamente.

Tabla 14

Análisis de Varianza Para la Pérdida de Humedad en la Deshidratación Osmótica

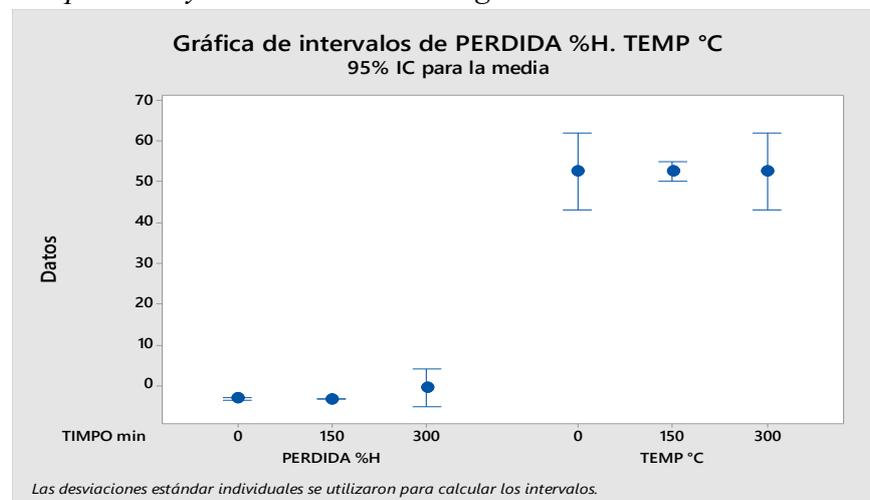
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	1	1,132959	0,058240	8,05	0,0021
Lineal	1	0,18530	0,009265	8,28	0,0356
TEMP °C	1	0,05408	0,005408	10,75	0,0427
Conc °Brix	1	0,13122	0,013122	10,81	0,0236
Temp °C*Conc °Brix	1	0,21900	0,211900	9,29	0,0300
Error	5	0,36171	0,007234		
Total	9	0,269130			

R-Cuadrado 93.93 %
R-Cuadrado Ajustado 89.33

Fuente: Elaboración propia

Figura 23

Comparación de Promedios de la Variación Humedad Para 45, 50 y 60 °C Temperatura y Concentración del Agente Osmótico

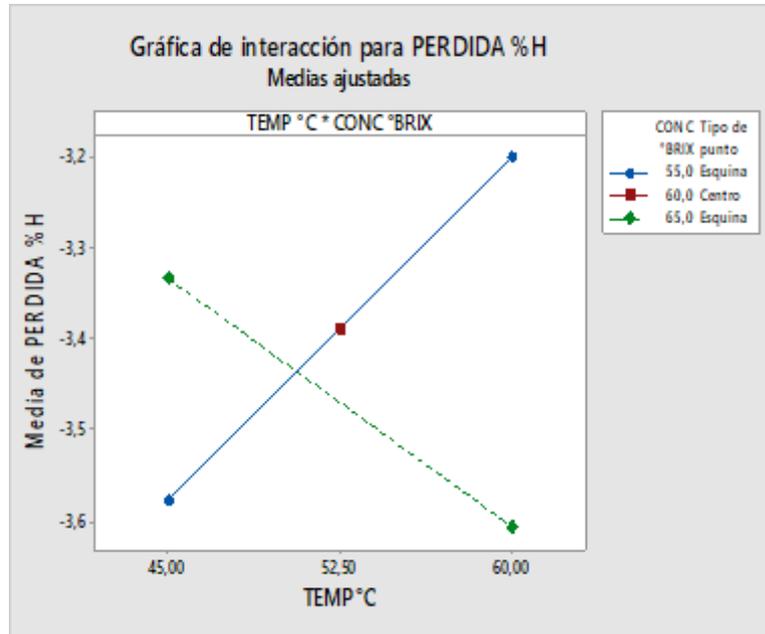


Fuente: Elaboración propia



Figura 24

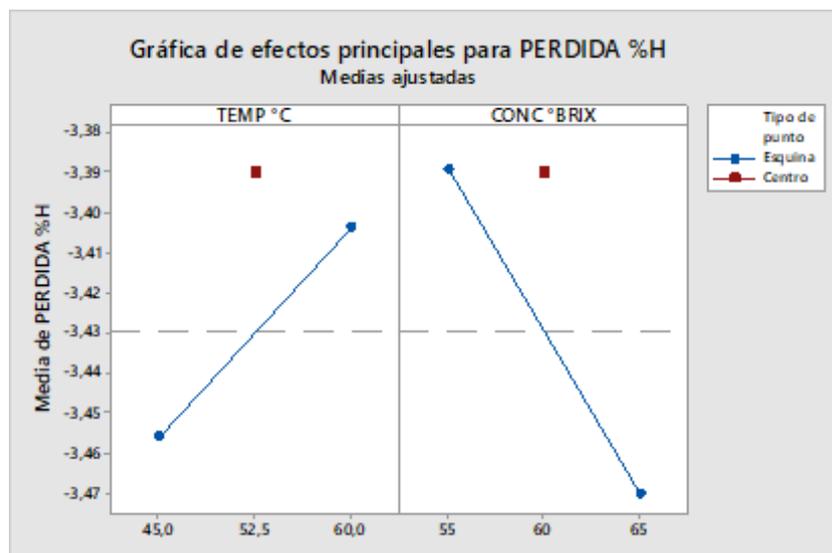
Interacción de la Pérdida de Humedad



Fuente: Elaboración propia

Figura 25

Efectos Principales para Pérdida de Humedad

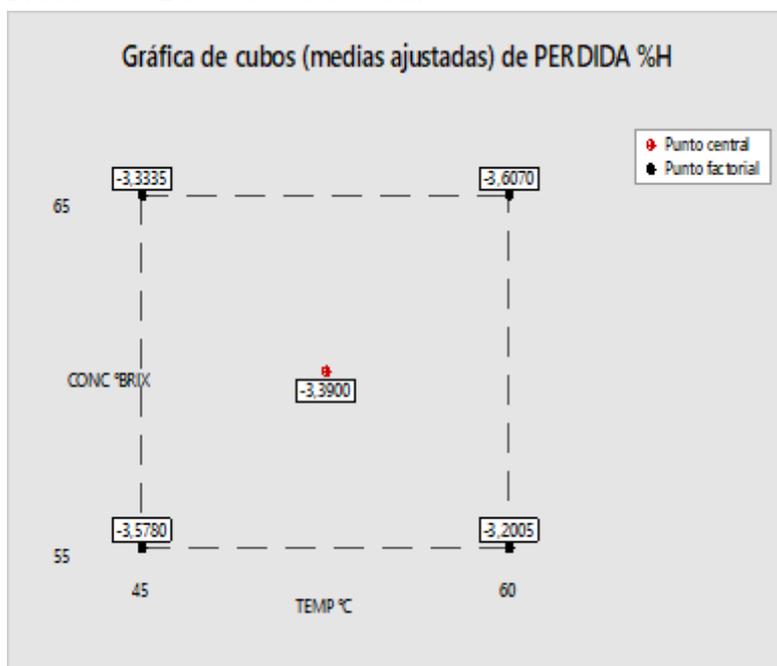


Fuente: Elaboración propia



Figura 26

Análisis de Cubos (Medias Ajustadas) en la Perdida de Humedad en el Proceso de Deshidratación Osmótica



Fuente: Elaboración propia

Optimización de la pérdida de humedad en la deshidratación osmótica de los arándanos

Para la optimización de la pérdida de humedad, se utilizó la metodología de optimización, en la que obtuvimos las condiciones ideales para lograr reducir al máximo el valor de la variable respuesta delta de humedad, se debe tomar en cuenta que más bajo sea esta diferencia, habrá mayor pérdida de humedad. La ecuación cuadrática que modela empíricamente el proceso de deshidratación osmótica en la fruta es la siguiente:

$$\Delta H = -21,409 + 0,3481 * T + 0,3005 * C + 0,00561 T^2 - 0,005813 T * C - 0,0538 C^2$$

Dónde:

T= Temperatura (°C) del agente osmótico

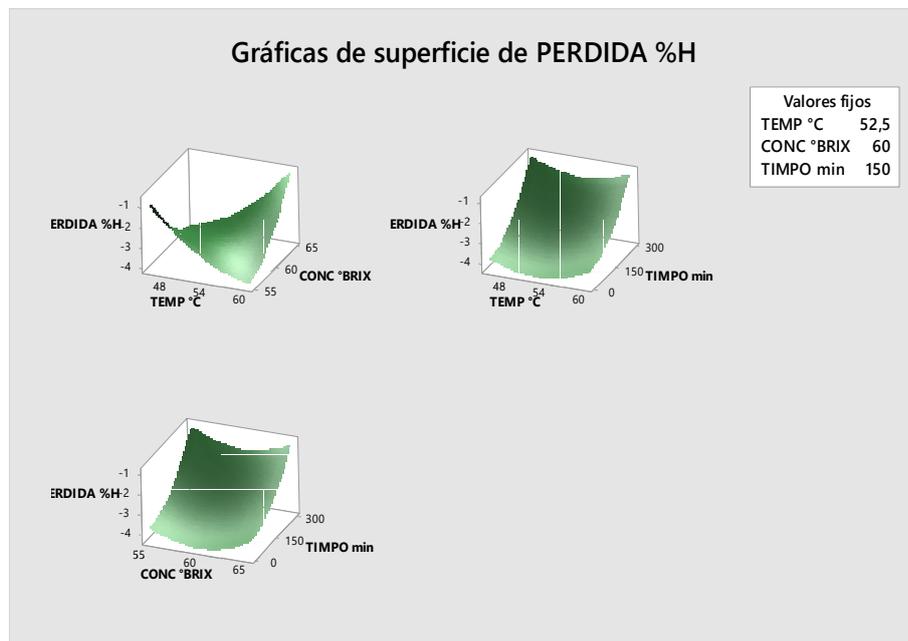
C= Concentración (°Brix) del agente osmótico



ΔH = Diferencia contenido de humedad (Humedad final – Humedad inicial);
(Kg agua/Kg s.s)

Figura 27

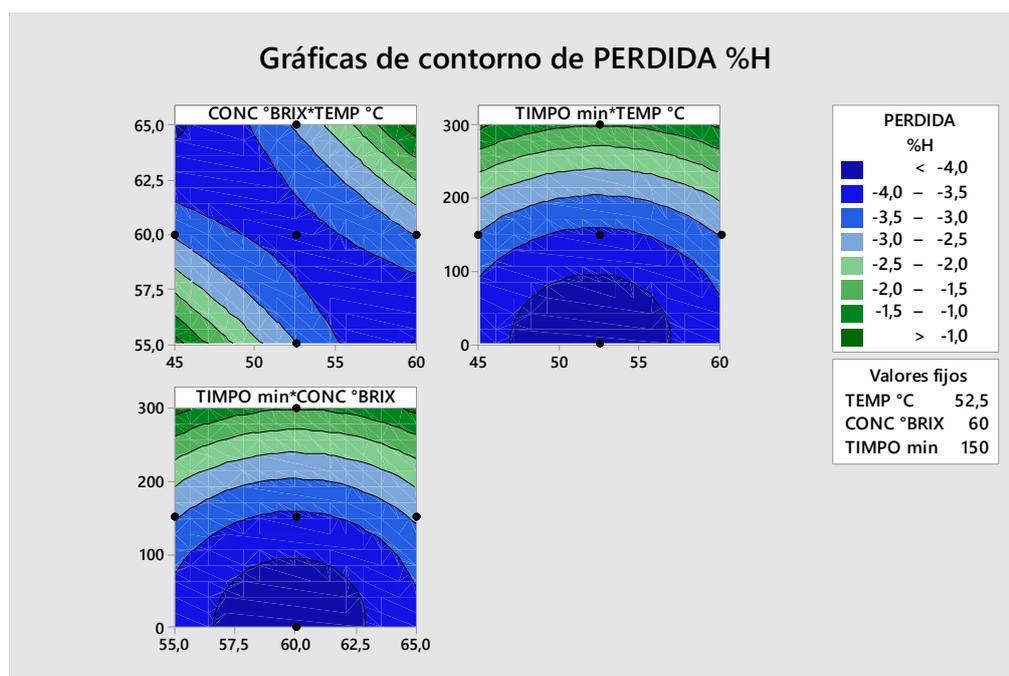
Superficie Respuesta Comparación de Promedios Para Pérdida e Humedad Según la Temperatura y Concentración del Agente Osmótico



Fuente: Elaboración propia

Figura 28

Comparación de las Variables en la Gráfica de Contorno de Pérdida de Humedad con Respecto a la Concentración Temperatura del Agente Osmótico y el Tiempo.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 15

Análisis de Varianza en la Ganancia de Sólidos Solubles en el Fruto

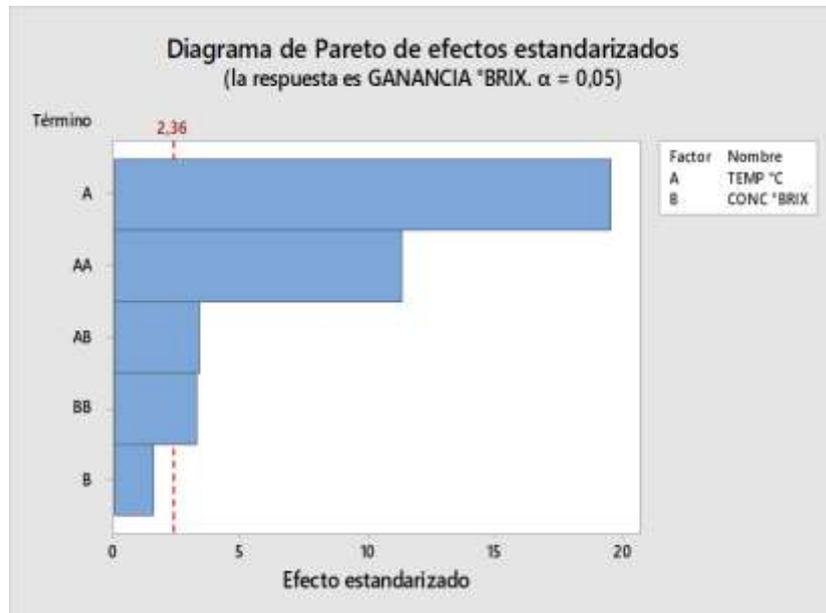
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	251,400	50,280	105,12	0,000
Conc °Brix	1	1,170	1,170	2,45	0,162
Conc °Brix*Conc °Brix	1	5,107	5,107	10,68	0,014
Temp °C*Conc °Brix	1	5,336	5,336	11,16	0,012
Error	7	3,348	0,478		
Error puro	4	0,299	0,075		
Total	12	254,748			

R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
98,69%	97,75%	90,92%

Fuente: Elaboración propia

Figura 29

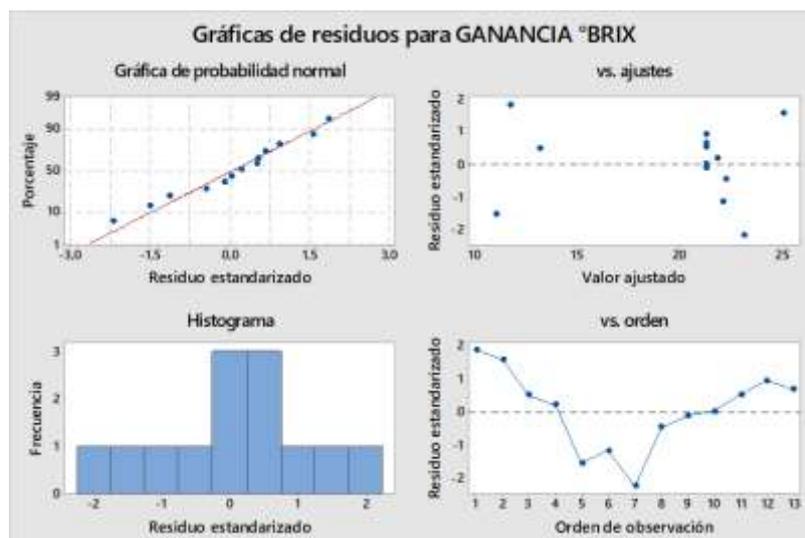
Diagrama de Pareto en el Incremento de Grados °Brix



Fuente: Elaboración propia

Figura 30

Residuos en el Incremento de Grados Brix en la Fruta



Fuente: Elaboración propia

Optimización de ganancia de sólidos solubles en el fruto durante la Deshidratación osmótica.

Para la optimización de la ganancia de sólidos solubles, se utilizó la metodología de optimización, en la que obtuvimos las condiciones ideales para lograr reducir al máximo el valor de la variable respuesta delta de ganancia de sólidos solubles se debe tomar en cuenta que más alto sea esta diferencia, habrá mayor ganancia de sólidos solubles (azúcar).

La ecuación cuadrática que modela empíricamente el proceso de deshidratación osmótica en la fruta es la siguiente:

$$\Delta SS = 18,878 - 6,365 * T + 0,468 * C - 0,230 * T^2 + 0,413 * T * C + 0,099 * C^2 + 0,025 C - 0,063 C$$

Donde:

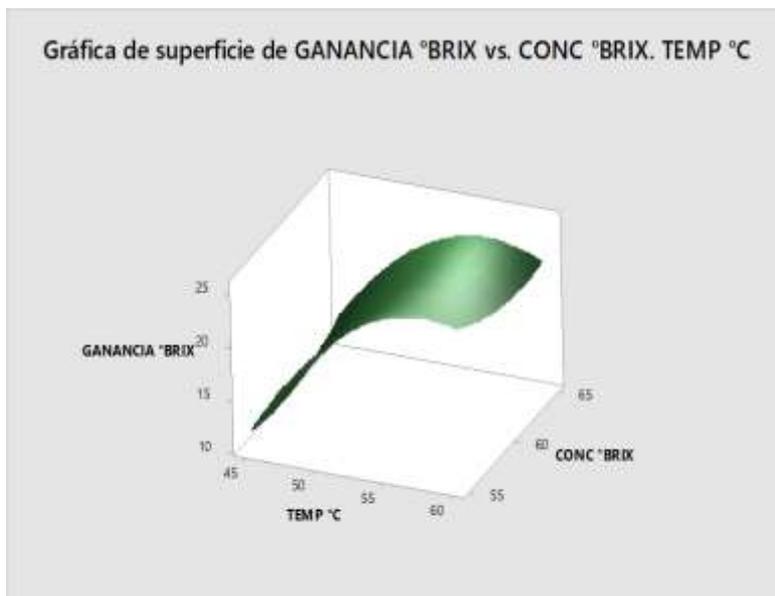
T = Temperatura (°C)

C = Concentración de la solución osmótica (°Brix)

ΔSS = Ganancia de sólidos solubles (°Brix)

Figura 31

Superficie Respuesta Comparación de Promedios para la Ganancia de Sólidos Solubles de la Fruta vs Concentración de °Brix y Temperatura en °C del Agente Osmótico



Fuente: Elaboración propia

Figura 32

Intervalos de y Temperatura °C a 95% IC para la Media en el Incremento de Grados °Brix

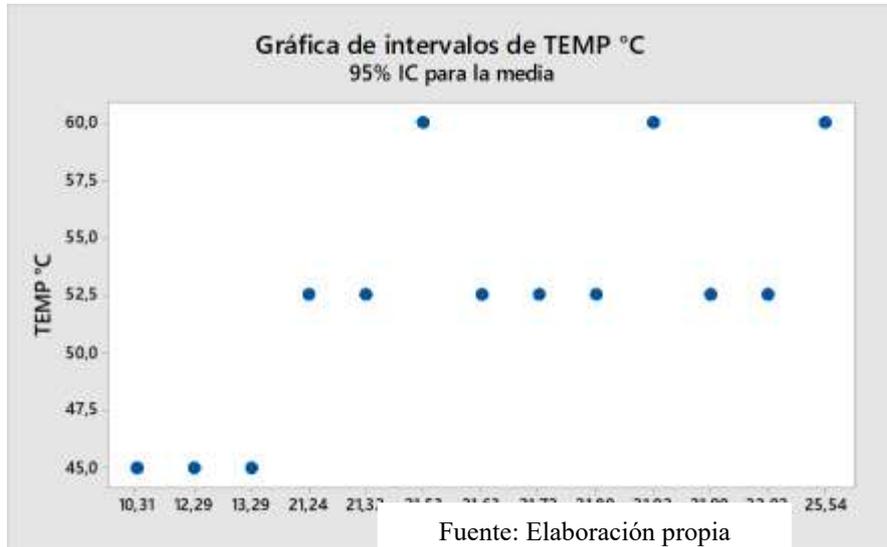


Figura 33

Intervalos de la Concentración de °Brix a 95% IC para la Media en el Incremento de Grados °Brix

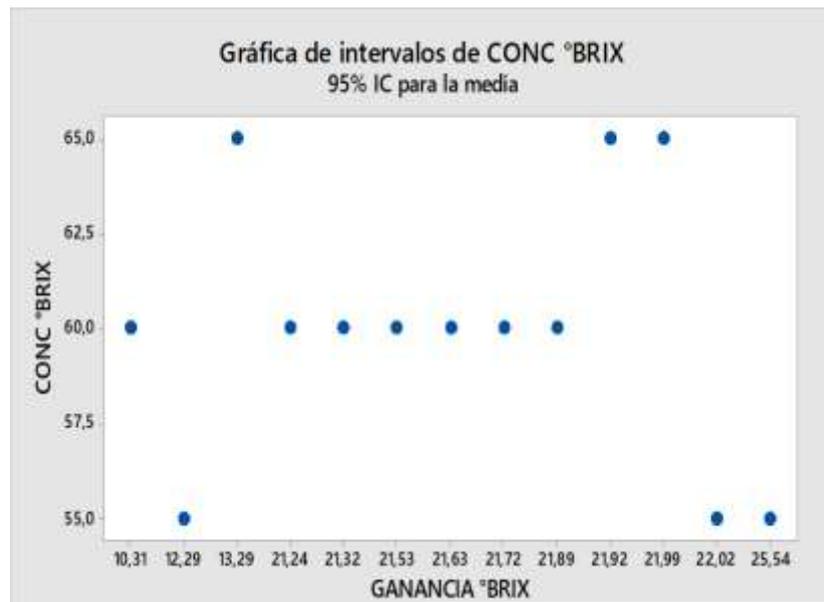
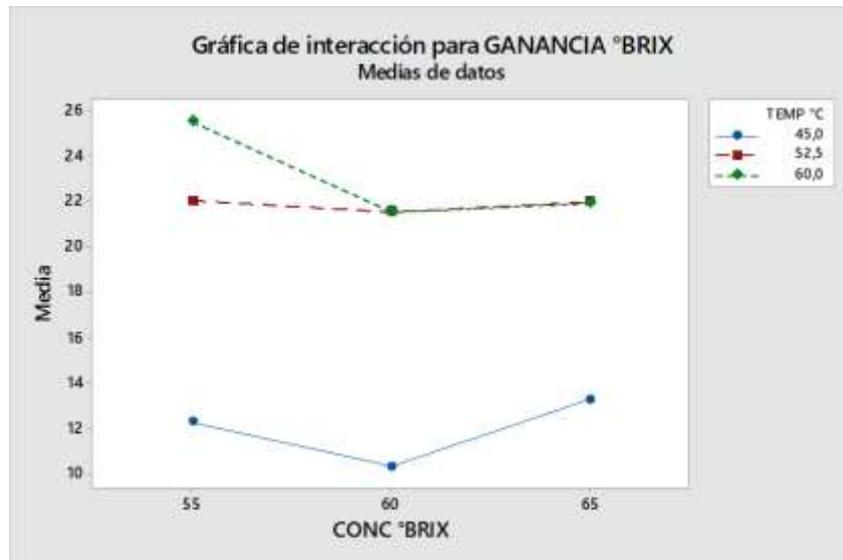


Figura 34

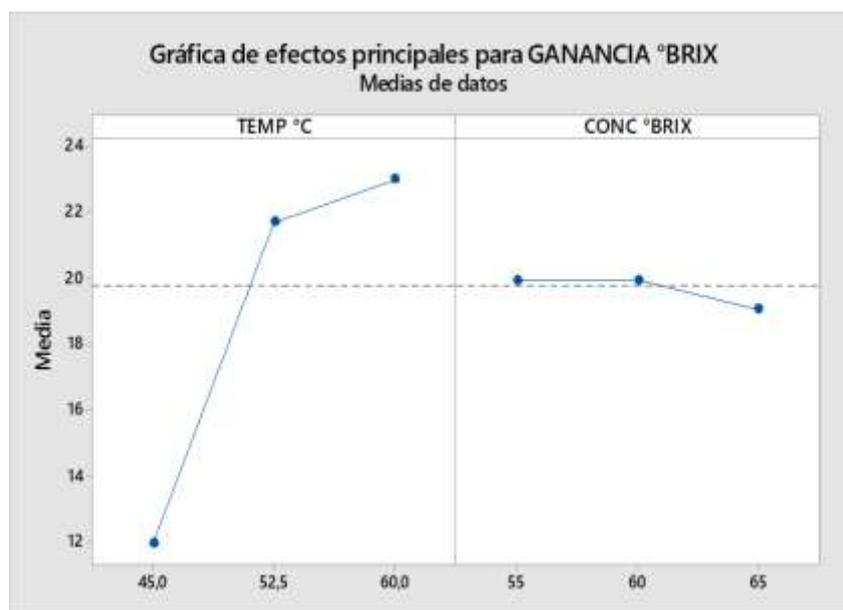
Intervalos de la Concentración de °Brix



Fuente: Elaboración propia

Figura 35

Efectos Principales en Incremento de la Concentración Grados °Brix y la Temperatura °C



Fuente: Elaboración propia

Secado de arándanos con aire caliente

La operación de secado se realizó en una cabina de secado con aire caliente, las curvas de secado se muestran en las figuras 18 y 19. Con los datos experimentales obtenidos después de la deshidratación osmótica, se procedió al secado con aire caliente, cuyos resultados de la evaluación estadística se muestran en las tablas 13 y las figuras 36, 37,38, 39,40, 41 y 42

Tabla 16

Análisis de Varianza Secado de Arándanos

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	14	500,355	35,740	14,54	0,0020
AA	2	18,703	9,351	0,162	0,033
A	2	0,048	0,024	2,01	0,046
AB	4	0,022	0,005	10,02	0,012
B	4	0,064	0,016	5,01	0,042
Error	9	22,124	0,0458		
Total	23	522,478			

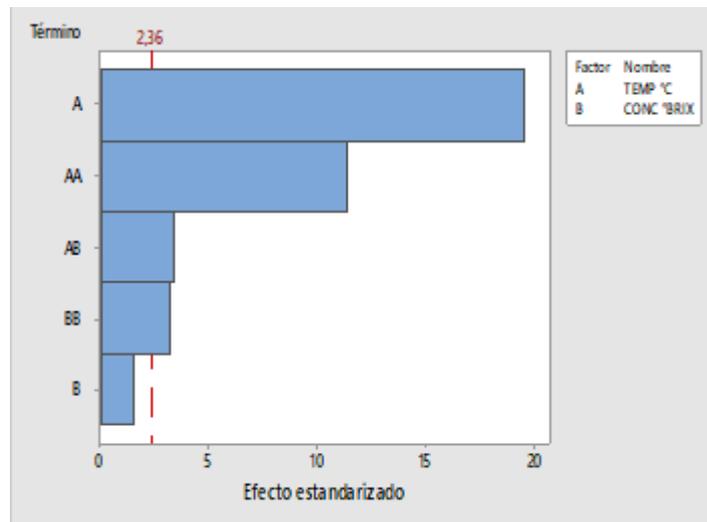
R- cuadrado = 95.77%

R- cuadrado (ajustado)= 89.18

Fuente: Elaboración propia

Figura 36

Diagrama Pareto de Efectos Estandarizados (Respuesta °Brix Final del Fruto a α a 0,05

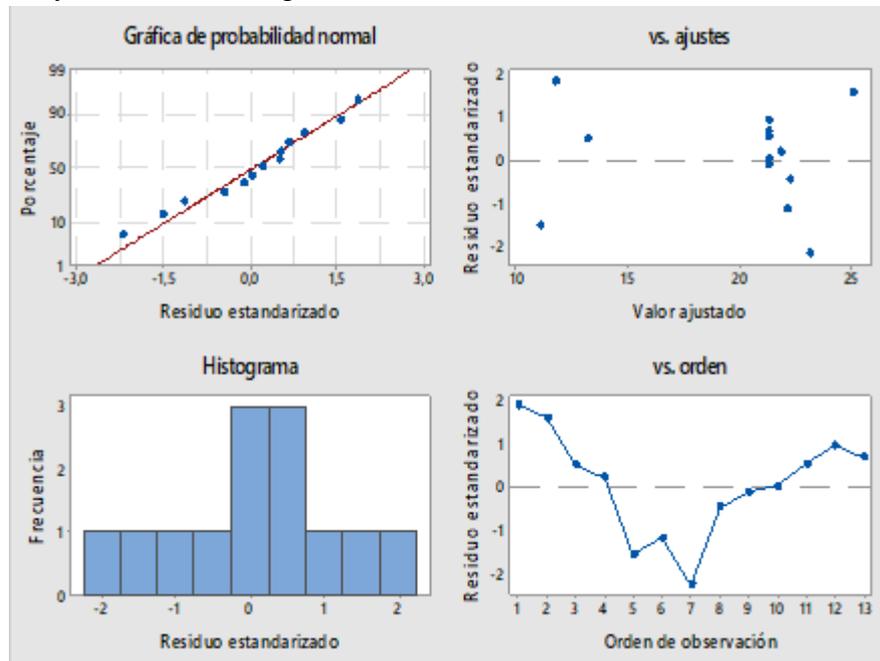


Fuente: Elaboración propia



Figura 37

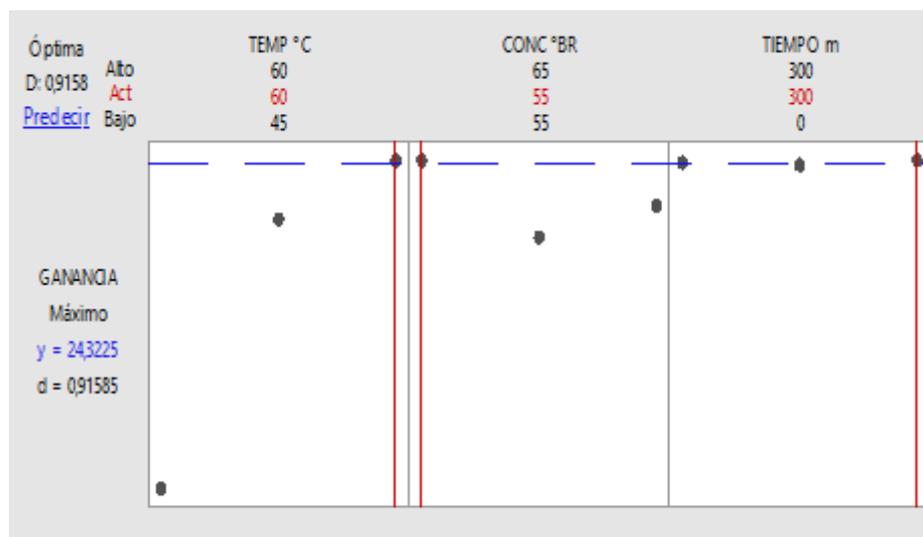
Grafica de Residuos para °Brix Final del Fruto



Fuente: Elaboración propia

Figura 38

Grafica Optimización de Residuos para °Brix Final del Fruto

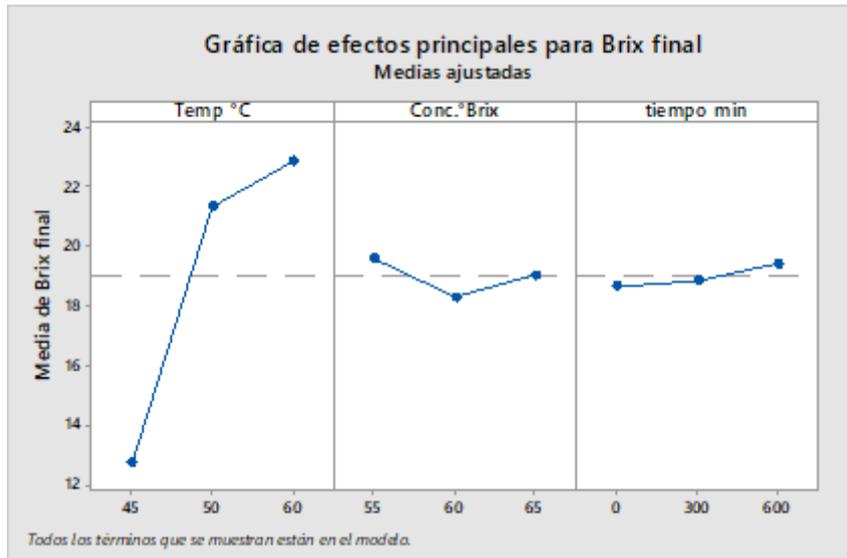


Fuente: Elaboración propia



Figura 39

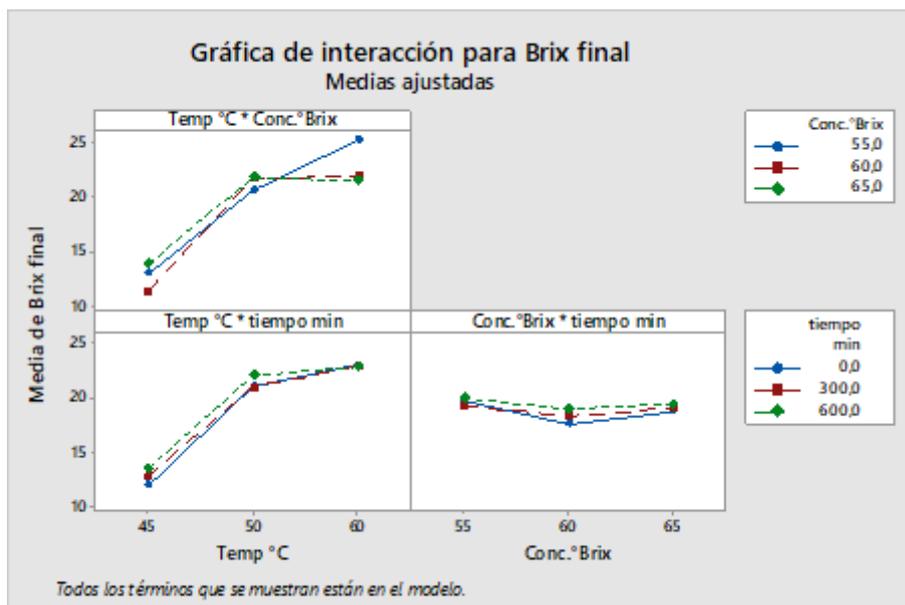
Grafica de Efectos Principales para °Brix Final del Fruto, Medias Ajustadas



Fuente: Elaboración propia

Figura 40

Grafica de Interacción para °Brix Final del Fruto, Medias Ajustadas



Fuente: Elaboración propia



Ecuación de regresión para optimizar el contenido de °brix final del fruto

$$\begin{aligned} \text{°Brix} &= -144,8 + 11,404 *T - 5,00 *C - 0,08400 T^2 \\ \text{Final} &+ 0,0544 *C^2 - 0,03080 T*C \end{aligned}$$

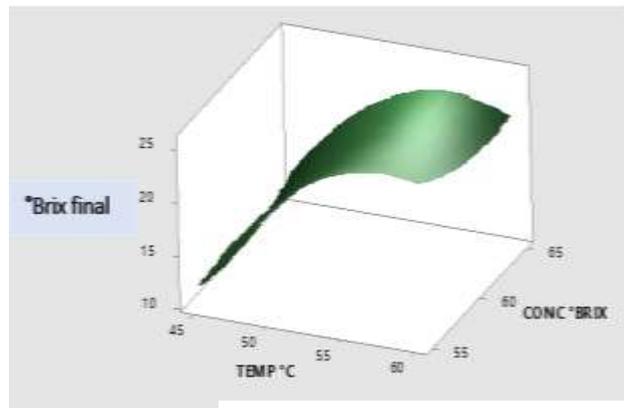
Donde:

T = Temperatura °C

C = Concentración °Brix

Figura 41

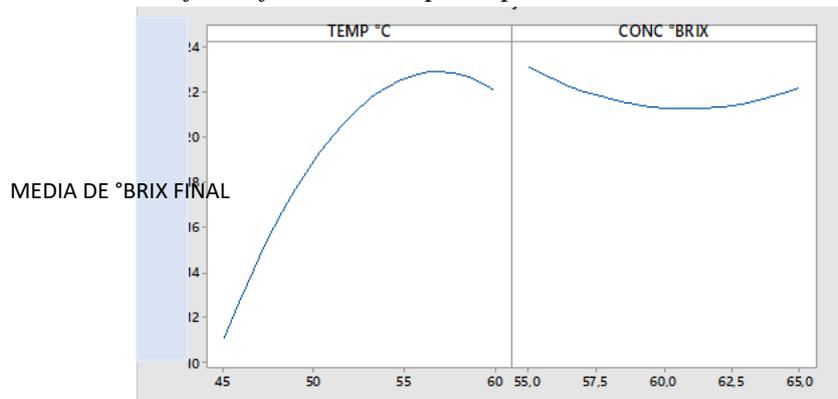
Grafica Superficie de °Brix para °Brix Final del Fruto, vs Concentración °Brix. Temperatura °C



Fuente: Elaboración propia

Figura 42

Grafica Efectos Principales para °Brix Final del Fruto- Medias Ajustadas



Fuente: Elaboración propia

Actividad de agua (Aw) del producto final

Después de la deshidratación por osmosis de los arándanos se determinaron la actividad de agua, así mismo se se determinó la actividad del agua del fruto seco por aire caliente, en cada uno de los ensayos como se muestra, así como de la humedad correspondiente, se muestra en la siguiente tabla 17

Tabla 17

Actividad de Agua y % de Humedad de Arándanos Deshidratados en Agente Osmótico de 55, 60 y 65 °Brix y a Temperaturas de 45, 50 y 60 °C

Medio Osmótico °Brix	45 °C			50 °C			60 °C		
	55	60	65	55	60	65	55	60	65
Aw Fruta Deshidratado	0,92	0,89	0,95	0,91	0,89	0,89	0,94	0,88	0,93
%H Fruta Deshidratado	75,20	66,92	77,86	72,57	64,12	66,87	69,87	70,91	72,72
Aw Fruta Seca	0,74	0,74	0,74	0,73	0,72	0,75	0,72	0,73	0,72
%H Fruta Seca	16,67	16,67	16,67	15,25	13,04	21,88	12,28	13,04	11,50

Fuente: Elaboración propia

Análisis microbiológico de arándanos como producto terminado

El análisis microbiológico del producto terminado se muestra en la tabla 18

Tabla 18

Análisis Microbiológico de Arándanos Como Producto Final

Microorganismo	ufc/g
Mohos	< 1.0 10 ²
Levaduras	< 1.0 10 ²

Fuente: Elaboración propia



VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

Hipótesis General

En el proceso de deshidratación de arandinos por osmosis se realizó con agentes osmóticos a concentraciones de 55, 60 y 65 °brix, y 45, 60 y 65 °C para poder determinar, la pérdida de humedad y la variación de sólidos solubles en el fruto, en las figuras 15,16,17 y18 se pueden observar. Las frutas deshidratadas se sometieron al proceso de secado con aire caliente y su posterior determinación de actividad de agua que contienen en cada tratamiento, se muestra en la tabla 13.

La actividad de agua en los alimentos es muy importante y poder determinar la cantidad de agua libre que contiene el alimento, de este tipo de agua los microorganismos aprovechan para desarrollarse y deteriorar los alimentos. En la deshidratación por osmosis de frutas, el azúcar capta el agua libre del alimento por lo tanto ya no está disponible para el crecimiento de los microorganismos, la vida útil del alimento por más baja que sea la actividad del agua va depender del tipo de almacenamiento del alimento. Diferentes tipos de microorganismos pueden crecer y sobrevivir en los alimentos, como las bacterias que requiere mayor cantidad de agua libre para desarrollarse, en actividades de agua inferiores a 0,91 existe algunas bacterias patógenas que pueden crecer (Cheftel, 1997)

Hipótesis Específica

Durante el proceso de la deshidratación osmótica de arándanos, se realizaron a diferentes temperaturas (°C) y concentración (°brix) del agente osmótico, para determinar la pérdida de humedad y el incremento de sólidos solubles (SS)

Las características físico químicas de la materia prima arándano (*Vaccinium corymbosum L.*), se muestran en la tabla 11 en la que determino el porcentaje de humedad de 85.15, cuyo valor es cercano a los reportados por otros autores como (Barboza y Canova, 2000). En la tabla 13 se puede observar la actividad de agua de la fruta fresca antes de someter a ningún proceso que es de 0,99 el cual es similar al reportado por Fennema, 1993). El valor promedio calculado de los sólidos solubles se muestran en la tabla 10 que es de 12.54 °Brix, los rangos referenciales según la bibliografía deben de encontrarse entre 11.20 a 14.30 ° Brix (Fennema, 1993) y de 10 a 15 °Brix según (Buzeta,1997)

En la tabla 12 se presenta los resultados de análisis microbiológico del producto donde se observa que hongos y levaduras es menor a 10^2 ufc/g. Según las Normas técnicas Sanitarias ver tabla 6 y (Mossel 1967), citado por (Solís 1994), indica que el rango de tolerancia para mohos es 10^4 ufc/g, y para levaduras es 10^3 ufc/g,

La variación de humedad y solidos solubles en el proceso de deshidratación osmótica, se muestran en las figuras 14, 15, 16 y 17. En la figura 14 y 16 se observa que la humedad final y sólidos solubles de la fruta, tiene un comportamiento similar en las tres concentraciones del medio osmótico. La humedad (Kg. agua/Kg. ss), así como los sólidos solubles de la fruta respecto al tiempo, se observa que la humedad tiende a disminuir a medida que transcurre el tiempo, esto se debe a la perdida de agua del fruto. (Leneart y Flink, 1994)

La pérdida de humedad en la fruta es mayor con el aumento de la temperatura y respecto a la ganancia de sólidos solubles se observa que es mayor por efecto de la temperatura

En las figura 14, 15, 16 y 17. se muestra la perdida de humedad y ganancia de sólidos solubles para las diferentes concentraciones de agente osmótico.

Se puede observar que según la temperatura existe diferencia significativa para cada una de las concentraciones. Durante las primeras horas del proceso de deshidratación osmótica el fruto se adecua ganando y perdiendo humedad, luego la pérdida de humedad se produce en forma lenta

En las figuras 14 y 15 de pérdida de humedad podemos observar que la temperatura de tratamiento es muy importante e influye que la concentración de la solución osmótica con respecto a la pérdida de humedad. Se puede ver que a temperatura a 50 60°C y el aumento de la concentración del agente osmótico de 55°Brix a 65 °Brix se da mayor pérdida de humedad, por lo tanto, la temperatura como la concentración del agente osmótico influye significativamente en la pérdida de humedad, la temperatura en mayor importancia como se muestra en la figura 14 y15 a medida que aumenta la temperatura de 45 a 60°C se produce mayor pérdida de humedad, por lo tanto existe relación directa con la temperatura y la tasa de deshidratación.

Respecto a la ganancia de sólidos solubles en la figura 16 y17 se muestra que el comportamiento de ganancia de sólidos solubles tratado a 45 °C, 50 y 60 °C en las tres concentraciones del agente osmótico son muy similares en la gráfica se puede observar la ganancia de sólidos solubles en la fruta, partiendo de 21.02 °brix hasta llegar como máximo a 24.97 °brix , en la prueba sometida a 45 °C y agente osmótico de 65 °brix se observa que se tiene 12.96 °brix al inicio alcanzando como máximo 27.25 °brix.

En las figuras 18 y 19 se muestra la variación de humedad (Kg agua/Kg. ss) en el proceso de secado con aire caliente de arándanos deshidratados en agente osmótico de 55 °brix y 45, 50 y 60 °C son 2.85, 2.27, 2.13 respectivamente; a 60 °brix 45, 50 y 60°C son 2.34, 1.95 y 2.44 respectivamente; a 65 °brix 45, 50 y 60 °C son 2.75, 1.95 y 2.36 respectivamente.

Se puede observar que la pérdida de humedad y la ganancia de sólidos la pérdida sólidos son muy similares a lo reportado por.) en su trabajo del

“Efecto del tiempo en la reducción del contenido de agua y aumento de sólidos solubles durante la deshidratación osmótica de tomates”.

Con las pruebas experimentales realizadas, se determinó la variable respuesta de delta de humedad y con ellas se realizan las pruebas estadísticas respectivas.

En la tabla 14 podemos observar el análisis de varianza sobre delta de pérdida de humedad en el fruto durante la deshidratación osmótica, y determinar el efecto de la variable independiente sobre la variable dependiente, en la tabla 14 se observa donde la temperatura y la concentración del agente osmótico sobre la pérdida de humedad, se determinó los diferentes valores de la temperatura y concentración del agente osmótico que se obtuvo un efecto estadísticamente significativo sobre la variable dependiente de respuesta. Asimismo cuanto más negativo sea este valor indicará que la deshidratación osmótica tiene una mayor capacidad de reducir el contenido de agua en el fruto.

Según el análisis de varianza podemos ver que alcanza un valor P inferior a 0,05 lo que nos indica que existe diferencia significativa entre los tratamientos, trabajando con un nivel de confianza de 95%. El estadístico R cuadrado es 93,93% esto nos indica que la variabilidad de la humedad al 93.93% es causado por la influencia de los factores analizados, donde la temperatura tiene un efecto estadísticamente significativa en la variabilidad de la humedad en el fruto.

Realizando el análisis de Pareto que se muestra en la figura 20 sobre la pérdida de humedad se puede observar que los factores que influyen significativamente es la interacción de la temperatura °C con la concentración °Brix del agente osmótico, por lo que es necesario determinar la temperatura y concentraciones óptimas como se muestra en la figura 24. En la figura 21, que representa los residuos en la pérdida de humedad, se observa que los datos tienen un comportamiento normal.

En la figura 23 podemos observar que la temperatura del agente osmótico influye en la disminución del contenido de agua, en los tres casos, siendo mayor a los 50 °C, por lo que el valor óptimo de deshidratación osmótica, estaría entre los 50 y 60°C; la figura 24 corrobora el intervalo de temperatura, donde se puede ver que la mayor pérdida de humedad más negativa corresponde a 52,50 °C que corresponde un delta de humedad de -3,43, como también se muestra en la figura 25

En la figura 27 se muestra la superficie respuesta de la pérdida de humedad según la temperatura y concentración del agente osmótico, nos proporciona valores óptimos de temperatura de 52,5 °C, concentración del agente osmótico de 60 °brix y en un tiempo de 150 min y podemos corroborar en la figura 28 la gráfica de contorno de pérdida de humedad con respecto a la concentración temperatura del agente osmótico y el tiempo, donde se observa la zona de color azul intenso que es de mayor superficie y coincide con lo mostrado en la figura 27.

En el análisis de varianza respecto a la ganancia de sólidos solubles podemos ver en la tabla 15, que alcanza un valor P inferior a 0,05 lo que nos indica que existe diferencia significativa entre los tratamientos, trabajando con un nivel de confianza de 95%. El estadístico R cuadrado es 98.69% esto nos indica que la variabilidad de los sólidos solubles al 93.93% es causado por la influencia de los factores analizados, donde la temperatura tiene un efecto estadísticamente significativa en la variabilidad de los sólidos solubles en el fruto.

Realizando el análisis de Pareto que se muestra en la figura 29 sobre la ganancia de sólidos solubles se puede observar que los factores que influyen significativamente es la interacción de la temperatura °C con la concentración °Brix del agente osmótico, la temperatura es la más significativa luego la interacción de temperaturas, y a la misma intensidad la

interacción de temperatura concentración e interacción de concentraciones y menos significativa la concentración.

En la figura 30, que representa los residuos en la ganancia de sólidos solubles, se observa que los datos tiene un comportamiento normal y se puede continuar con el análisis estadístico.

En la figura 31 se muestra la superficie respuesta de la ganancia de sólidos solubles de fruta, según la temperatura y concentración del agente osmótico. Se puede observar corroborar en las figuras 32, 33, 34 los Intervalos de temperatura °C concentración de °brix a 95%IC y el Intervalos de la concentración de °brix, que se hace casi constante a 52.5 °C y el incremento de la concentración se hace constante a los 60°brix del agente osmótico

En la figura 35 y 34 se observa que los efectos principales en la ganancia de °brix podemos observar que 52,50 °C hay mayor ganancia de sólidos solubles entre 55 y 60 °brix de concentración del agente osmótico.

En la tabla 16 Según nuestro análisis de varianza podemos observar que el valor de P donde es inferior de 0.05, en consecuencia nos indica que existe diferencia significativa entre los tratamientos, trabajando con un nivel de confianza del 95%. El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, explica 95,77% de la variabilidad humedad en la operación de secado, por lo que la variación de la humedad al 95,77%, influyen a los efectos analizados, en el caso de la temperatura la influencia es mayor y tiene un valor de 0.046, podemos deducir que la temperatura tiene un efecto estadísticamente significativo en la pérdida de la humedad en el fruto.

En la figura 36 se muestra el diagrama de Pareto de efectos estandarizados de °brix final del fruto seco a α 0,05 se puede observar que los factores que influyen significativamente es la temperatura, en menor grado la interacción de la temperatura y temperatura, y poco significativa las interacciones de la concentración y concentración, concentración temperatura del agente osmótico.

La figura 37 podemos observar en las gráficas de residuos para el °brix final del fruto los datos empleados tienen un comportamiento normal, por lo que puede proseguir con el análisis estadístico.

En la figura 38 se puede mostrar la optimización de residuos para °brix final del fruto, en la que a 60 °C y a 55 °brix de agente osmótico se obtiene una concentración de sólidos solubles de 24,3225 en 300 minutos, este resultado es corroborado en las gráficas de efectos principales figura 39 y la gráfica de interacción para °brix final de la figura 40, del mismo modo en la figura 41 de superficie de °brix para °brix final del fruto y la figura 41 de efectos principales para °brix fruto del final.

Después de la deshidratación por osmosis de los arándanos se determinaron la actividad de agua (A_w), así mismo se determinó la actividad del agua del fruto seco por aire caliente, en cada uno de los ensayos, así como de la humedad correspondiente, se muestra en la siguiente tabla 17, la actividad de agua de fruta seca, varía de 0.72 a 0.93 de A_w a 45, 50 y 60°C y en concentraciones de 50, 60 y 65 de grados brix, según la evaluación de los datos se puede deducir que la A_w a 50 y 60 °C y a una concentración de 55 y 65 °brix tienen la actividad de agua más baja. La actividad de agua en los alimentos es muy importante y poder determinar la cantidad de agua libre que contiene el alimento, de este tipo de agua los microorganismos aprovechan para desarrollarse y deteriorar los alimentos. En la deshidratación por osmosis de frutas, el azúcar capta el agua libre del alimento por lo tanto ya no está disponible para el crecimiento de los microorganismos, la vida útil del alimento por más baja que sea la actividad del agua va depender del tipo de almacenamiento del alimento. Diferentes tipos de microorganismos pueden crecer y sobrevivir en los alimentos, como las bacterias que requiere mayor cantidad de agua libre para desarrollarse, en actividades de agua inferiores a 0,91 existe algunas bacterias patógenas que pueden crecer (Cheftel, 1997)

En la tabla 12 se presenta los resultados de análisis microbiológico del producto donde se observa que hongos y levaduras es menor a 10² ufc/g. Según las Normas técnicas Sanitarias y (Mossel 1967), citado por Solís (1994), indica que el rango de tolerancia para mohos es 10⁴ ufc/g, y para levaduras es 10³ ufc/g,

6.2 Contratación de los resultados con otros estudios similares

La ganancia de sólidos solubles que se muestran en la figura 16 y 17 se observa el comportamiento de ganancia de sólidos solubles tratado a 45, 50 y 60 °C y medio osmótico de 55 °Brix, varia de 24,97 a 28,72 °Brix; en medio osmótico de 60 °Brix varia de 23,10 a 28,49 °Brix: así mismo en medio osmótico de 65 °Brix la ganancia de sólidos solubles varia de 25,241 a 30,51 °Brix, en las tres concentraciones del agente osmótico son muy similares, en la gráfica se puede observar la ganancia de sólidos solubles en la fruta. Se debe tener en cuenta que al incremento de temperatura se logró obtener mayores ganancias de sólidos solubles en la fruta, estos resultados, lo reafirma (Barat et al, 1998) en los estudios realizados en manzanas.

En la Figura 14 y 15 respecto a la variación del contenido de humedad en el fruto en un medio osmótico a 45, 50, 60 °Brix se muestra que cerca de 60 °C, se modifican las características de los tejidos de la fruta, por lo que favorece la difusión de la solución osmótica hacia la fruta, produciéndose la ganancia de los sólidos solubles, que concuerda con los estudio realizados por (Maestelli, 1997), del mismo lo reafirma los estudios realizados por (Barat et al., 1998) en manzanas. Según los resultados experimentales y los estudios realizados por otros autores podemos manifestar que la mayor ganancia de sólidos solubles se observa que es a temperatura menor de 60 ° C, manteniendo de esta manera las propiedades termolábiles del producto final.

El comportamiento de las curvas en las Figs. 13, 14 y 15 con respecto a la perdida de humedad es fundamentado por los estudios experimentales

realizados por (Rosell y J, Lluch, 1994) el cual nos menciona sobre el comportamiento sobre la ganancia de sólidos soluble en la fruta.

En las Figuras 14 y 15 respecto a la pérdida de humedad podemos observar que la humedad mínima registrada fue de 3.038 kg agua/kg ss para el tratamiento con agente osmótico osmótica de 45°C-55 °Brix, y el registro mayor fue de 3.945 kg agua/kg ss para el tratamiento con agente osmótico osmótica de 60°C-65 °Brix. Se puede observar que la humedad no siempre disminuye con el aumento de la concentración de agente osmótico, como se puede ver en la figura 14 y 15 que es el caso de para el tratamiento de 45°C-65 °Brix (3.009 kg agua/kg ss), así mismo se ve en el tratamiento 45°C-60 °Brix (3.344 kg agua/kg ss), en consecuencia en algunos tratamientos a mayores concentraciones se logra mayor pérdida de humedad, esto corrobora los estudios experimentales realizados por (Rosell y J , Lluch., 1994), se puede apreciar en la graficas que la pérdida de humedad baja lentamente después de las primera horas, esto se debe al poder osmótico.

Se pueden observar en las figuras 14 y 15 que a los 180 minutos la pérdida de humedad se hace paulatinamente constante.

Respecto a la ganancia de sólidos solubles en la figura 16 y17 se muestra que el comportamiento de ganancia de sólidos solubles tratado a 45 °C, 50 y 60 °C en las tres concentraciones del agente osmótico son muy similares en la gráfica se puede observar la ganancia de sólidos solubles en la fruta, partiendo de 21.02 brix hasta llegar como máximo a 24.97 °brix , en la prueba sometida a 45 °C y agente osmótico de 65 °brix se observa que se tiene 12.96 °brix al inicio alcanzando como máximo 27.25°brix, este comportamiento es similar a los estudios realizados por (Gamboa y Silva, 2018)

Se puede observar que los sólidos solubles va aumentando gradualmente cuando la temperatura y la concentración del agente osmótico es mayor, el cual es similar en a otros investigadores que realizaron trabajos similares, como es el caso de (Shi y Col, 2009) que realizaron deshidratación osmótica

con diversas fruta. Del mismo modo (Pereira y Col 2006), atribuye el aumento de la difusividad del agua y soluto

Para determinar el análisis de varianza con respecto a la pérdida de humedad en el fruto haremos uso de la Tabla 15, en donde se muestran los resultados de las 11 experiencias realizadas en el laboratorio para lograr obtener la variable respuesta Delta de humedad, con estos resultados se realizaron los análisis estadísticos correspondientes a la pérdida de humedad.

El objetivo principal del análisis de varianza es el de determinar el efecto de la variable independiente sobre la variable dependiente, en la Tabla 16, se observa el efecto que tienen los factores de temperatura y concentración de la solución osmótica sobre la perdida de humedad en el fruto, además pudimos determinar los diferentes niveles de los factores temperatura y concentración de solución osmótica que tuvieron 120 en efecto estadísticamente significativo sobre el valor de la variable dependiente o de respuesta (Pérdida humedad).

También pudimos determinar que existen diferencias significativas entre los tratamientos aplicados en relación a su capacidad para disminuir la cantidad de humedad en el fruto.

Para la realización de este análisis empleamos la variable respuesta delta de humedad que corresponde a la diferencia entre la humedad final del proceso menos la humedad inicial del mismo. De acuerdo a ello, mientras más negativo sea este valor indicará que las condiciones de deshidratación osmótica tienen una mayor capacidad de reducir la humedad inicial en fruto. Sobre la ganancia de solidos solubles se observa que aumenta con la concentración del agente osmótico, resultados similares a lo reportado por (Chenlo et al, 2006)

La actividad de agua determinado después de la deshidratación osmótica y secado la mejor condición reportada fue a 55 °brix, 60 °C , que es de 0,72 en

un tiempo de 300 minutos logrando un contenido de °brix del producto final de 24,325 como se observa en la figura 38. Y se corrobora en lo reportado en la figura 39 de efectos principales para el °brix final del fruto, así mismo en la figura 42 en los efectos principales para °brix final del fruto de medias ajustadas, para la temperatura y concentración del agente osmótico. Los datos reportados son similares a los resultados de (Gamboa y Silva, 2018)

Se puede observar en la figura 17 que cuando aumenta la concentración de los grados °brix, disminuye la actividad de agua, lo que indica que existe una relación inversamente proporcional entre estas variables. Manifestado también por (Baianu, 1992 y Fennema 1996).

En la tabla 18 se presenta los resultados de análisis microbiológico del producto donde se observa que hongos y levaduras es menor a 10^2 ufc/g. Según las Normas técnicas Sanitarias ver tabla 16 y (Mossel 1967), citado por (Solís 1994), indica que el rango de tolerancia para mohos es 10^4 ufc/g, y para levaduras es 10^3 ufc/g,

6.3 Responsabilidad ética. El autor del proyecto se responsabiliza por la información emitida en el informe, de acuerdo a los reglamentos vigentes.

CONCLUSIONES

Se determinó la actividad del agua de los arándanos deshidratados por método combinado osmosis - aire caliente, obteniéndose el valor de actividad de agua entre 0,72 y 0,74 a 45, 50 y 65 °C y 55, 60 y 65 °brix, se considerando como optimo la actividad de agua de 0,72 obtenido a 50 °C y 60 °brix. y un contenido de grados °brix de producto final de 24,325

Se determinaron las propiedades fisicoquímicas de los arándanos frescos, como el análisis proximal, obteniéndose como promedio la humedad de 85,12 %, sólidos solubles promedio de la fruta fresca de 12,81 °brix, el tamaño promedio del fruto fue de 13 mm y peso promedio de 2,52 gramos, previo a la determinación de la deshidratación por osmosis la fruta fue sometido a un pretratamiento químico que consistió en la inmersión de 1.5 min en solución de soda al 1.5% de concentración y a temperatura de 60 °C Luego se procedido a la deshidratación osmótica, el secado y la medición dela actividad de agua del producto final.

Para evaluar la concentración, temperatura del agente osmótico y tiempo en la deshidratación osmótica, se utilizó un diseño factorial de bloques 3^2 en forma aleatoria. Este diseño nos proporciona 9 tratamientos y dos tratamientos a los puntos centrales, haciendo un total de once tratamientos. Se tomó en cuenta las variables independiente (temperatura, concentración de la solución osmótica), y las variables dependientes la humedad y los °Brix del fruto. Los valores de los niveles factoriales fueron, temperatura °C $45 \leq x_1 \leq 60$ y concentración del agente osmótico °brix de $55 \leq x_2 \leq 65$; y variable respuesta perdida de porcentaje de humedad (%H) y ganancia de sólidos solubles °Brix y actividad de agua del producto final.

En la deshidratación osmótica la temperatura °C, la concentración del agente osmótico (°brix), son factores que influyen en la pérdida de humedad en los arándanos, la mayor pérdida de humedad es a causa de la temperatura.

Según las pruebas experimentales la mayor pérdida de humedad se logró a 52.50 °C y a 60 °brix, lográndose eliminar 2.124 Kg agua/Kg s seco y una ganancia de sólidos solubles de 24,325 °brix

La concentración °brix, como la temperatura del agente osmótico utilizado en la deshidratación osmótica de la fruta influyen en la eliminación del contenido de agua, del mismo modo en el proceso de secado por aire caliente la concentración y la temperatura del agente osmótico influyen directamente en la pérdida de humedad. Generándose mayor pérdida de humedad de 2,13 (Kg de agua/Kg s. seco), sometidos a 50°C y a 60 °brix de concentración.

La actividad de agua determinada a 25 °C de las fruta seca (pasas) alcanzó a 0.72 a una temperatura de 50 °C y 60 °brix de agente osmótico. A 0,72 de actividad de agua se inhiben desarrollo de la mayoría de los de microorganismos.

En los análisis microbiológicos realizados al producto final después de 7 días, se reportó valores <100 ufc/gr para mohos y levaduras. Con ello se pudo concluir que el producto final arándanos se encuentra dentro de los estándares de calidad microbiana.

RECOMENDACIONES

Realizar estudios de deshidratación por osmosis de otros frutos, incluidos los arándanos ya que existe diversidad de variedades de este fruto

Realizar, estudios sobre la determinación de la actividad de agua y validar con utilizando diversos modelos matemáticos.

Realizar estudios de vida útil de frutos secos con métodos rápidos.

Realizar estudios de variación de color y otras propiedades durante el proceso de deshidratación de la fruta

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Barbosa C., Vega G (1996). Dehydration Of Foods. EE.UU.: Chapman Y Hall, Primera Edición.
- Belitz, H & Grosch, W. (2010). Deshidratación de alimentos. Zaragoza. España: Segunda Edición. Acribia.
- Camacho, A., Giles, A., Ortegón, M., Palao, B., y Velázquez O. (2009). Técnicas para el Análisis Microbiológico de Alimentos. 2ª ed. Facultad de Química, UNAM. México.
- Cosentino, E., Acosta, E., Escriche, I. y Serrra, J. (2015). Experiencia De Conservación De Papaya Deshidratada Osmóticamente Al Vacío. Anales De Investigación Del Master En Ciencia E Ingeniería En Alimentos. . Universidad Politécnica De Valencia. Valencia, España.
- Crank. J. (1998). The Mathematics of Diffusion. Claredon Press. Oxford. CSIC. (2011). Curso de análisis sensorial de alimentos. . Instituto Mixto CSIC-UAM: Instituto de Investigación en Ciencias de la Alimentación (CIAL).
- Crank, J. (1975). The mathematics of diffusion (2 ed.). Oxford University Press, New York.
- DIGESA y MINSA . (1998). Norma sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano.
- Fellows, P. (2018). Food Processing Technology. Chichester, Inglaterra. 505p.
- Fennema, O. (1992). Química De Los Alimentos. Zaragoza, España: Acribia, S.A.
- Fito, P., Chiralt, J., Barat, J., Salvatori, J Y Andrés, A. (2005). Some Advances in Osmotic Dehydration Of Fruit. Food Science and Technology International. (77)., 658-665.
- García F. (2017) en su trabajo de investigación de deshidratación osmótica mejora la calidad de Ananas comosus deshidratada,
- Gabriel, A. A. (2007). Estimación de la actividad de agua a partir del pH y °Brix para algunos productos alimenticios.
- Gamboa C. (2018) “Determinación de la temperatura y concentración de la solución osmótica en la deshidratación del arándano (*vaccinium corymbosum L.*)”

- García, C. (2004). Estimación de la vida útil de un producto alimenticio pasteurizado y uno acidificado mediante pruebas aceleradas. Ingeniería Química, Universidad de Costa Rica, San José,
- García, E. y Serra, J. (2004). Estudio De La Calidad Microbiológica En La Conservación De Kiwi Sometido A Deshidratación Osmótica Al Vacío. Anales De Investigación Del Master En Ciencia E Ingeniería En Alimentos. Valencia, España.: Universidad Politécnica De Valencia.
- Geankoplis, C. (2006). Procesos De Transporte Y Operaciones Unitarias. Continenta. México: 759p.
- Hartal, D. (1997). Osmotic Dehydration With Sodium Chloride And Other Agents. . Chicago, Estados Unidos.: Ph. D. Food Technology, University Of Illinois.
- Hawkes, J., & Flink, J. M. (1978). Osmotic Concentration of Fruit Slices Prior to Freeze Dehydration. Journal of Food Preservation 2, 265-284.
- Krokida, M., V. Oreopoulou, Z. M., & Marinos-Kouris., D. (2001b). Effect of osmotic dehydration pretreatment on quality of french fries. journal of food engineering 49(4): 339-45.
- Lazarides H., Fito, P., Chiralt, A., Gekas, V. Y Andrzej L. . (2009). Advances in Osmotic Dehydration. En: Processing Food. Crc Press. London., 175-199. .
- Lenart, A & Flink, J. . (2003). Osmotic Concentration of Potatoes. I Criteria for De End Point of the Osmotic Process. Journal of Food Technology. (19)., 45-63.
- Mc Cabe, W., Smith, J. Y Harriot, P. 1999. Operaciones básicas de ingeniería Química. Cuarta edición. McGraw-Hill, Inc. 1112p.
- Magee, T., Hassaballah, A., Murphy, W. (2003). Internal Mass Transfer during Osmotic Dehydration of Apple Slices in Sugar Solutions. Journal Of Food Science And Technology. (7), 147-155.
- Mata, M. (2012). Aportación Al Desarrollo De Un Proceso De Deshidratación Osmótica Al Vacío Para Alimentos. . Valencia España: Universidad Politécnica De Valencia. (Departamento De Tecnología En Alimentos.).
- Molano, L., Serna, C. & Castaño, C. (140-158). Deshidratación de Piña Variedad Cayena Lisa por Métodos Combinados. Cenicafé. Vol. 47, N°. 3, 1996. (Lenart y Flink, 2011).

- Potter, N. 1999. Ciencia de los alimentos. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza, España. 667p.
- Prothon, F., Ahrne, L., Funebo, T., Kidman, S., Langton, M y Sjöholm, I. 2001. Effects of combined osmotic and microwave dehydration of apple on texture, microstructure and rehydration characteristics. *LebensmittelWissen und-Technologie*. 34: 95-101.
- Prior, R., Cao, G., Martin, A., Sofic, E., McewenN, J., O'brien, C., y otros. (1998). Antioxidant capacity as influenced by total phenolic and anthocyanin content, maturity and variety of *Vaccinium* Species. *J. Agric. Food Chem* (46), 2686-2693.
- R. Della. (2010). *Secado De Alimentos Por Métodos Combinados: Deshidratación Osmótica Y Secado Por Microondas Y Aire Caliente*. Ciudad Autónoma De Buenos Aires.
- Ramaswamy H & Nsonzi, F. (2014). Osmotic Dehydration Kinetics Of Blueberries. *Drying Technology*., 725-741.
- Rastoghi et al. (2007). Recent Developments In Osmotic Dehydration: Methods To Enhance Mass Transfer. *Trends In Food Science & Technology*: (13), 48-59.
- Ríos, M.; Márquez, C.; Ciro, H. (2005). Deshidratación osmótica de papaya hawaiana (*Carica Papaya L.*) en cuatro agentes edulcorantes. *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín* 58 (2): 2989-3002
- Rodriguez, M. I., & Lemma, A. F. (2014). *Planeamiento de experimentos e optimización de procesos*.Campinas.Brasil.Casa do Pao.
- Rosell & J, Lluch. (2014). *Evolución Del Contenido De Azúcares Durante La Deshidratación Osmótica De Manzana Granny Smith, Y Su Relación Con La Microestructura*. Universidad Politécnica De Valencia, Valencia, España.
- Sacchetti, G., Pinnavaia, G. G., Guidolin, E., & Dalla-Rosa, M. 2. (2004). Effects of extrusión temperature and feed composition on the functional, physical and sensory properties of chestnut and rice flour-based snack like products. *Food Research International* 37,527-534.
- Sakihama, y., Cohen, M., Grace, S. and Yamasaki, H. (2002). Plant phenolic antioxidant and prooxidant activities: Phenolics induced oxidative damage mediated by metals in plants. *Toxicology*,177, 67-80.
- Salunke, D., Do.J.Y, & Bolin, H. (2013). *Developments in technology and nutritive value of dehydrated fruit, vegetables and their products*.

Salvador y Badui D. (2006). Química De Los Alimentos. México.: Cuarta Edición Pearson Educación.

Salvatori, D., Andres, A., Albors, A., Chiralt, A. , Fito, P. (2008). Structural And Compositional Profiles In Osmotically Dehydrated Apple. . Journal Of Food Science. (63), 606-610.

Senser, F. , Scherz, H. 1999. Tablas de composición de alimentos el pequeño

Sharma. (2000). Ingeniería De Alimentos: Operaciones Unitarias Y Prácticas De Laboratorio. México. : Limusa.

Sierra Exportadora. (2012). Perfil Comercial del arandano deshidrtado.

Singh, R & Heldman, D. (2012). Introducción To Food Engineering. California, USA.306p.

Telis, V. R., Murari, R. C., & Yamashita, F. 2. (2004). Diffusion coefficients during osmotic dehydration of tomatoes in ternary solutions. Journal of Food Engineering 74, 253-262.

Vega G. Barbosa C, H. V. (1996). Dehydration Of Foods. EE.UU.: Chapman Y Hall, Primera Edición.

Vega, A., Miranda, M., Bilbao-Sáinz, C., Uribe, E. and Lemus-Mondaca, R. (2008).

Yang, Wills y Yang, 2008 Use of a Combination Process of Osmotic Dehydration and Freeze Drying to Produce a Raisin – Type Lowbush Blueberry Product. En: Journal of Food Tecnology. Vol 52 (1987); p.1651 – 1664.

Zapata, E y Castro G. Deshidratación osmótica de frutas y vegetales. *En*: Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín. Vol. 52, No.1 (1999); p. 451-466.

ANEXO 1

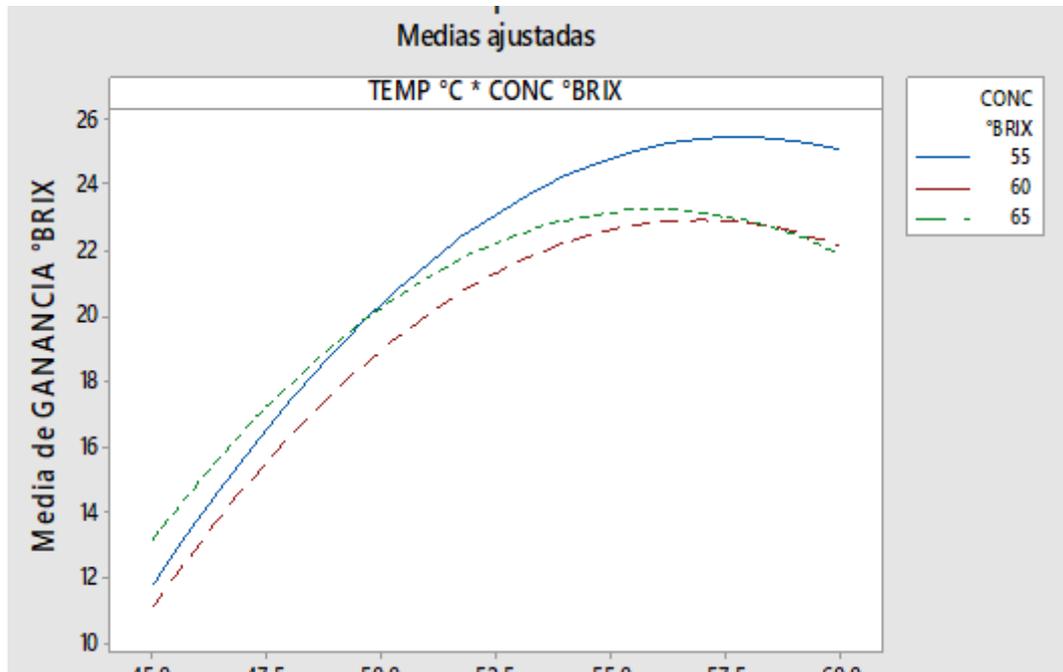
MATRIZ DE CONSISTENCIA.

“Actividad de agua de arándanos deshidratados por método combinado osmosis - aire caliente”

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
¿Cómo realizar la deshidratación de los arándanos por el método combinado de osmosis – aire caliente para determinar la actividad su agua?	Determinar la actividad del agua de los arándanos deshidratados por método combinado osmosis - aire caliente	Los parámetros para la deshidratados de los arándanos por método combinado osmosis - aire caliente influirán en la determinación de la actividad del agua de los arándanos.	X = Actividad de agua	Contenido de agua	• % de humedad	Isotermas
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLES INDEPENDIENTES	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
a) ¿Cómo determinar las propiedades fisicoquímicas de los arándanos para determinar la actividad su agua de los arándanos deshidratados por el método combinado de osmosis – aire caliente?	a) Determinar las propiedades fisicoquímicas de los arándanos para determinar la actividad su agua de los arándanos deshidratados por el método combinado de osmosis – aire caliente	a) Mediante las pruebas fisicoquímicas de los arándanos se podrá determinar la actividad del agua	X ₁ = Parámetros de deshidratación por osmosis	• % de agua removido	• Peso • Concentración • Temperatura • Tiempo • Peso	Método analítico
b) ¿Será posible evaluar la concentración de la solución, temperatura y tiempo en la deshidratación osmótica?	b) Evaluar la concentración de la solución, temperatura y tiempo en la deshidratación osmótica	b) Mediante pruebas experimentales se determinará la concentración de la solución, temperatura y tiempo en la deshidratación osmótica	X ₂ = Parámetros de deshidratación por osmosis	% de agua removido	• Peso • Humedad inicial y final • Temperatura • Tiempo	Método analítico
c) ¿Evaluar la temperatura, velocidad de aire y tiempo en el secado por aire caliente?	c) Evaluar la temperatura, velocidad de aire y tiempo en el secado por aire caliente	b) Mediante pruebas experimentales se determinará la temperatura, velocidad de aire y tiempo en el secado por aire caliente útil	X ₃ = Parámetros de secado por aire caliente	• % de agua removido	• Olor • Color • Sabor	método analítico
d) ¿Será posible determinar la cinética de deshidratación respecto a la disminución de contenido de agua, aumento de sólidos solubles, pérdida de peso, actividad de agua?	d) Determinar la cinética de deshidratación respecto a la disminución del contenido de agua, aumento de sólidos solubles, pérdida de peso, actividad de agua.	d) Mediante pruebas experimentales se determinará la cinética de deshidratación respecto a la disminución del contenido de agua, aumento de sólidos solubles, pérdida de peso, actividad de agua.	d) Evaluación de las características físico químicas de la fruta	• Característica físico químicas	• humedad • sólidos solubles • pH • acidez	Método analítico

ANEXO 2

Interacción para °Brix Final del Fruto- Medias Ajustadas



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 3

Etapas de procesamiento de la fruta



FRUTA FRESCA



FRUTA DESHIDRATADA POR OSMOSIS



FRUTA EN PROCESO DE SECADO



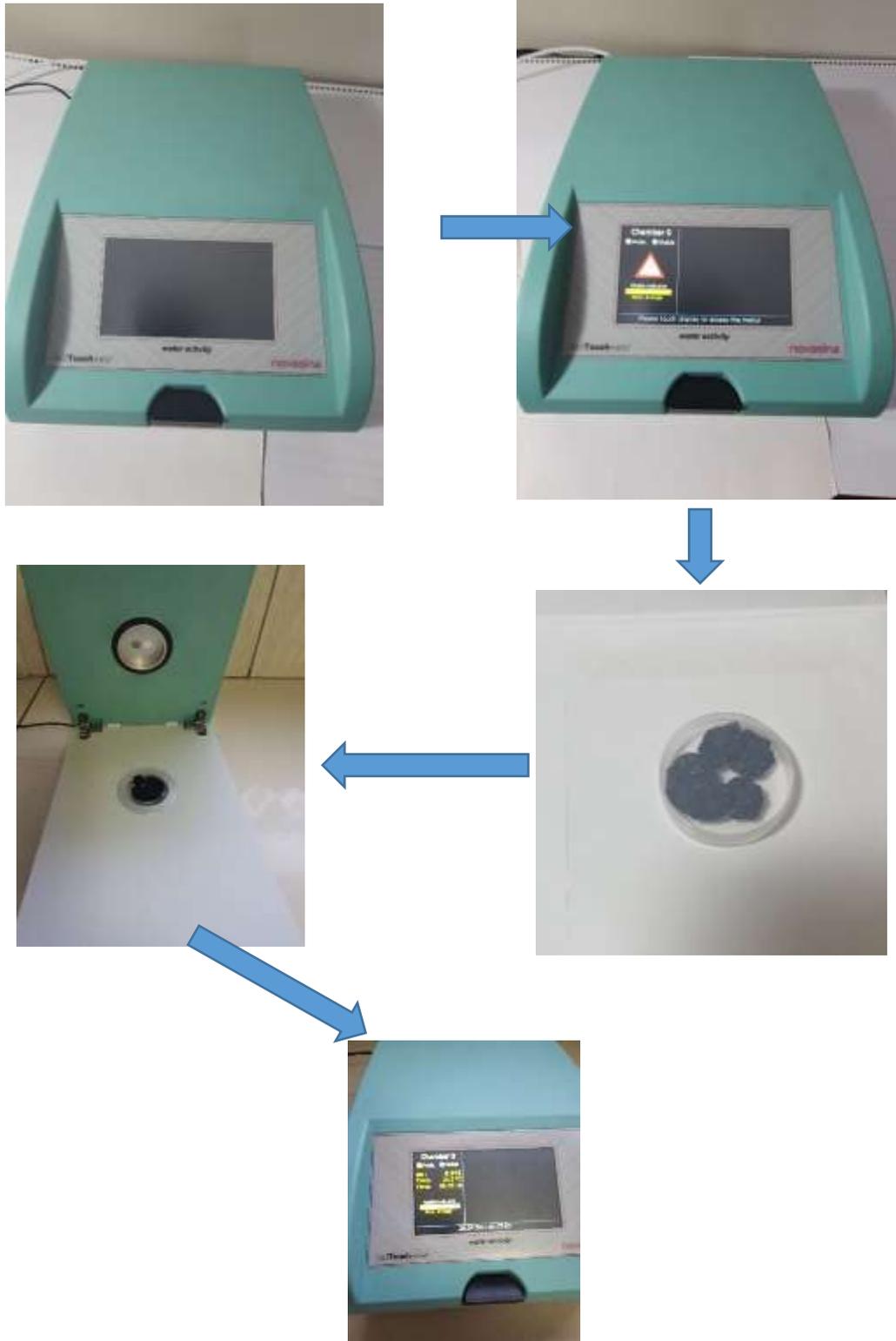
FRUTA SECA - PASAS

Fuente: Elaboración propia

A small, handwritten signature in blue ink.

ANEXO 4

Determinación de la actividad de agua



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 5

Datos Experimentales Pérdida de Humedad

TIEMPO min	55 °Brix			60 °Brix			65 °Brix		
	45°C	50°C	60°C	45°C	50°C	60°C	45°C	50°C	60°C
0	5,061	6,050	6,639	5,029	6,351	6,816	4,813	6,200	6,355
20	4,967	6,394	4,990	4,944	4,897	4,781	4,731	4,490	5,168
40	4,994	5,885	5,641	4,846	4,013	6,173	4,763	6,374	4,668
60	4,979	5,627	3,791	4,955	5,152	4,006	4,775	5,210	4,734
80	4,845	5,615	3,490	4,787	3,010	4,416	4,738	4,503	4,528
100	4,737	4,861	2,568	4,747	3,072	2,484	4,682	4,157	4,253
120	4,727	3,918	2,262	4,461	2,467	3,870	4,641	3,823	4,064
180	4,717	2,747	3,325	4,211	2,261	2,914	4,631	3,044	4,156
240	4,707	2,572	3,104	4,192	1,854	2,807	4,616	1,605	3,069
300	1,244	2,398	3,037	4,138	1,564	2,217	4,557	1,244	1,331
Δ	0,522	3,652	3,602	0,891	4,787		0,256	4,956	5,024

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 6

Datos Experimentales Ganancia de Sólidos Solubles

TIEMPO min	55 °Brix			60 °Brix			65 °Brix		
	45°C	50°C	60 °C	45°C	50°C	60 °C	45°C	50°C	60 °C
0	12,68	12,36	12,74	12,79	12,36	11,13	12,96	12,99	12,99
20	14,40	13,33	13,80	13,29	13,33	13,35	14,62	12,59	13,81
40	14,95	15,98	14,48	14,72	15,98	14,80	15,44	12,95	15,44
60	15,72	16,42	16,43	16,59	16,42	16,20	15,95	15,16	15,95
80	15,83	19,88	18,22	18,06	19,88	17,21	16,20	16,69	16,20
100	15,87	20,90	18,83	18,46	20,90	19,38	17,18	18,47	17,18
120	16,31	24,19	19,44	19,00	24,19	22,38	18,28	20,24	17,87
180	18,30	27,18	22,64	20,08	27,18	23,55	21,85	23,62	20,56
240	20,82	27,60	25,20	21,23	27,60	24,38	24,91	29,54	20,89
300	24,97	33,41	28,84	23,10	33,41	32,66	26,25	38,52	34,91
Δ	12,29	21,05	16,10	10,31	21,05	21,53	13,29	25,54	21,92

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 7

CABINA DE SECADO UTILIZADO



Fuente: Foto elaboración propia

[Handwritten signature]

ANEXO 8

Instrumentos Validados de Recolección de Datos

Para la recolección de los datos se realizará mediante los análisis físicos, químicos, microbiológicos Para efectuar dichos análisis se utilizaron:

a) Materiales

- Termómetros marca GIARDINO rango -10 a 50°C.
- Placas Petri marca PYREX diámetro 60mm.
- Desecador marca PYREX capacidad 2l.
- Matraces marca DURAN capacidad 250ml.
- Pipetas marca HIRSCHMANN capacidad 10ml y 5ml.
- Tubos de ensayo marca SCHOTT capacidad 5ml.
- Probetas marca PYREX capacidad 100ml y 250ml.
- Vasos de precipitado PYREX capacidad 100ml.

b) Equipos

- Balanza analítica marca METTLER TOLEDO modelo ABS/FACT.
- Mufla marca LABOR MUSZERIPARI MUVER, modelo LR-201/A.
- Analizador de proteínas, marca J.P. SELECTA modelo 0552974.
- Analizador de grasa, marca VELD SCIENTIFICA modelo 148.
- Estufa convección forzada marca BINDER modelo FP.
- Analizador de humedad marca HW KESSEL modelo XX47-0047.
- Cabina de secado
- Equipo analizador de actividad de agua NOVASINA
- Refractómetro digital ATAGO