

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA**

**AGROINDUSTRIAL**



DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA Y CONCENTRACIÓN  
DE LA SOLUCIÓN OSMÓTICA EN LA DESHIDRATACIÓN DEL  
ARÁNDANO (*Vaccinium corymbosum* L.)

**PRESENTADO POR** Bach. GAMBOA CRUZADO WAGNER

BRANDOT Y Bach. SILVA NATIVIDAD JUAN JOSÉ

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**NUEVO CHIMBOTE – PERÚ**

**2018**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



**HOJA DE AVAL DEL JURADO EVALUADOR**

El presente trabajo de tesis titulado “DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA Y CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN OSMÓTICA EN LA DESHIDRATACIÓN DEL ARÁNDANO (*Vaccinium corymbosum L.*)” para obtener el título profesional de ingeniero Agroindustrial, presentado por Bach. WAGNER BRANDOT GAMBOA CRUZADO y Bach. JUAN JOSÉ SILVA NATIVIDAD, que tienen como asesor al docente Dr. Augusto Castillo Calderón designado por resolución N° 267-2016-UNS-FI, Ha sido revisado y aprobado el día 19 de diciembre del 2017 por el siguiente jurado evaluador, designado mediante resolución N° 312-2017-UNS-CFI.

---

**Dr. Gilbert Rodríguez Paucar**  
Presidente

---

**Dr. Augusto Castillo Calderón**  
Secretario

---

**Ms. Jorge Domínguez Castañeda**  
Integrante

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 12 p.m. del 19 de Diciembre del dos mil diecisiete se instaló en el Auditorio de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Agroindustrial, el Jurado Evaluador, designado mediante resolución N° 312-2017-UNS-CFI integrado por los docentes:

- **Dr. Gilbert Rodríguez Paucar** (Presidente)
- **Dr. Augusto Castillo Calderón** (Secretario)
- **Ms. Jorge Domínguez Castañeda** (Integrante); para dar inicio a la Sustentación y Evaluación de Tesis, titulada:

**“DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA Y CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN OSMÓTICA EN LA DESHIDRATACIÓN DEL ARÁNDANO (*Vaccinium corymbosum L.*)”**, elaborada por el (os) bachilleres en Ingeniería Agroindustrial.

- **Bach. Wagner Brandot Gamboa Cruzado**
- **Bach. Juan José Silva Natividad**

Asimismo, tienen como Asesor al docente: **Dr. Augusto Castillo Calderón**

Finalizada la sustentación, el (os) Tesistas respondió (eron) las preguntas formuladas por los miembros del Jurado y el Público presente.

El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes y en concordancia con el Artículo 39° y 40° del Reglamento de Grados y títulos de la Universidad Nacional del Santa, declaran:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
WAGNER BRANDOT GAMBOA CRUZADO	<b>18</b>	<b>BUENO</b>

Siendo las 14:00 horas del mismo día, sé dio por terminado dicha sustentación, firmando en señal de conformidad el presente jurado.

Nuevo Chimbote, 19 de Diciembre del 2017

---

**Dr. Gilbert Rodríguez Paucar**  
Presidente

---

**Dr. Augusto Castillo Calderón**  
Secretario

---

**Ms. Jorge Domínguez Castañeda**  
Integrante

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 12 p.m. del 19 de Diciembre del dos mil diecisiete se instaló en el Auditorio de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Agroindustrial, el Jurado Evaluador, designado mediante resolución N° 312-2017-UNS-CFI integrado por los docentes:

- **Dr. Gilbert Rodríguez Paucar** (Presidente)
- **Dr. Augusto Castillo Calderón** (Secretario)
- **Ms. Jorge Domínguez Castañeda** (Integrante); para dar inicio a la Sustentación y Evaluación de Tesis, titulada:

**“DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA Y CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN OSMÓTICA EN LA DESHIDRATACIÓN DEL ARÁNDANO (*Vaccinium corymbosum L.*)”**, elaborada por el (os) bachilleres en Ingeniería Agroindustrial.

- **Bach. Wagner Brandot Gamboa Cruzado**
- **Bach. Juan José Silva Natividad**

Asimismo, tienen como Asesor al docente: **Dr. Augusto Castillo Calderón**

Finalizada la sustentación, el (os) Tesistas respondió (eron) las preguntas formuladas por los miembros del Jurado y el Público presente.

El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes y en concordancia con el Artículo 39° y 40° del Reglamento de Grados y títulos de la Universidad Nacional del Santa, declaran:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
JUAN JOSÉ SILVA NATIVIDAD	<b>18</b>	<b>BUENO</b>

Siendo las 14 horas del mismo día, se dio por terminado dicha sustentación, firmando en señal de conformidad el presente jurado.

Nuevo Chimbote, 19 de Diciembre del 2017

---

**Dr. Gilbert Rodríguez Paucar**  
Presidente

---

**Dr. Augusto Castillo Calderón**  
Secretario

---

**Ms. Jorge Domínguez Castañeda**  
Integrante

## DEDICATORIA

A Dios, por permitirme alcanzar este logro y por haberme dado la fortaleza para seguir adelante en momentos de debilidad, además de infundirme valentía para hacerle frente a múltiples adversidades que se presentaron en mi vida, así como por su infinita misericordia para conmigo.

*A mis padres, por brindarme su apoyo incondicional permanentemente, y por ser mi motivación principal para el logro de mis metas y objetivos, pues, los considero pilares fundamentales en el desarrollo de mi tesis y en toda mi carrera universitaria.*

*A mis maestros, por ofrecerme su tiempo y por impulsarme al desarrollo de mi formación profesional, sin duda fueron de gran apoyo por sus asesorías y de gran motivación para la culminación satisfactoria de mis estudios profesionales y para la elaboración de esta tesis.*

*A mis familiares, por su apoyo y ayuda sostenida durante todo el tiempo de formación profesional, así como por sus ánimos para no desistir y salir airoso de las dificultades, que se presentaron durante el desarrollo de la presente tesis.*

**Wagner Brandot Gamboa Cruzado**

## DEDICATORIA

*A mis padres, primo por su apoyo incondicional y sus orientaciones en el día a día. Por ser mi ejemplo de trabajo y constancia, que con entero sacrificio y abnegación han dado todo de sí para darme la posibilidad de ser un profesional.*

*A mis profesores, porque sus enseñanzas y motivación ayudaron a mi desarrollo profesional durante mis años en la Universidad.*

*A mis amigos por tantos momentos de alegría y por su incondicional amistad y, todas aquellas personas que de alguna u otra forma han marcado en mi vida estuvieron siempre brindándome su apoyo y cariño*

*A Dios por darme una oportunidad cada día, en compañía de mi familia y amigos, permitiéndome adquirir nuevas experiencias. Y dando gracias por dichas oportunidades.*

**Juan José Silva Natividad**

## **AGRADECIMIENTO**

Nuestro profundo agradecimiento principalmente a Dios, por darnos la sabiduría para cumplir con esta etapa de nuestras vidas y por ser nuestro guía en cada paso que damos.

Especial reconocimiento a los profesores por los conocimientos y asesorías brindadas, a lo largo de nuestra formación profesional. En especial agradecemos a nuestro asesor Dr. Augusto Castillo Calderón por su apoyo y orientación en el desarrollo de la presente tesis, su persistencia, su paciencia y su motivación han sido fundamentales para concluir el presente proyecto de tesis.

A la Universidad nacional del Santa, que nos acogió en sus aulas y nos dio la oportunidad de ofrecernos educación. Forjándonos para un futuro competitivo y motivándonos día a día para seguir desarrollándonos, como personas y profesionales.

Un especial agradecimiento a la Ing. Berenice Córdova Chang, por su tiempo prestado en apoyarnos de manera desinteresada en la realización de esta investigación.

A nuestros grandes amigos, que siempre estuvieron ahí cuando se les necesitaba, brindándonos sus consejos y apoyo para culminar satisfactoriamente este proyecto de tesis.

A la Biol. Yesenia Guzmán por brindarnos su apoyo desinteresado para la culminación del presente proyecto de tesis.

## INDICE GENERAL

I. INTRODUCCION.....	26
II. REVISION BIBLIOGRAFICA.....	30
2.1. Antecedentes generales.....	30
2.2. Producción nacional de arándanos .....	30
2.3. Producción mundial de arándanos.....	32
2.4. Composición química del arándano .....	33
2.5. Pre tratamiento .....	35
2.6. Deshidratación osmótica.....	36
2.6.1. Aplicación de la deshidratación osmótica .....	38
2.6.2. Ventajas y desventajas de la deshidratación osmótica .....	39
2.6.3. Cinética de la deshidratación osmótica .....	40
2.6.4. Factores que afectan la deshidratación osmótica .....	40
2.6.5. Influencia de la agitación del medio sobre la velocidad del proceso de osmótico ..	43
2.6.6. Fase de contacto en la deshidratación osmótica .....	44
2.6.7. Duración del proceso de deshidratación osmótica.....	45
2.6.8. Transferencia de masa en la deshidratación osmótica .....	45
2.6.9. Modelos de deshidratación osmótica .....	47
2.6.10. Agentes osmóticos más utilizados .....	51
2.7. Temperatura: .....	53
2.8. Humedad: .....	53



2.8.1. Humedad final del producto:.....	54
2.9. Secado.....	55
2.9.1. Proceso de secado .....	55
2.9.2. Factores que intervienen en el proceso de secado .....	58
2.9.3. Clasificación y tipos de secadores .....	60
2.10. Actividad de agua ( $a_w$ ).....	62
2.10.1. Actividad de agua y estabilidad de los alimentos.....	63
2.11. Las antocianinas, fenoles y capacidad antioxidante en el arándano.....	65
2.12. Análisis sensorial.....	69
2.12.1. Aceptabilidad general .....	69
2.12.2. Clasificación de pruebas .....	69
2.13. Vida Útil .....	71
2.14. Análisis microbiológico.....	71
2.14.1. Mohos y levaduras .....	72
III. MATERIALES Y METODOS.....	77
3.1. Materiales.....	77
3.1.1. Materia Prima. ....	77
3.1.2. Reactivo (Pre Tratamiento) .....	77
3.1.3. Agente Osmótico .....	77
3.1.4. Materiales y equipos empleados en el pre tratamiento .....	77
3.1.5. Materiales y equipos empleados en la Deshidratación Osmótica.....	77

3.1.6. Materiales y equipos empleados en la etapa de Secado.....	78
3.1.7. Reactivos para análisis de antioxidantes, antocianinas y fenoles. ....	78
3.1.8. Equipo experimental para la etapa de vida útil.....	79
3.2. Métodos .....	79
3.2.1. Diseño y características de la muestra .....	79
3.2.2. Método para determinar la cinética de deshidratación osmótica. ....	80
3.2.3. Procedimiento detallado para la toma de muestras.....	82
3.2.4. Diagrama de flujo para la deshidratación osmótica y secado del arándano.....	85
3.2.5. Descripción de los procesos para la deshidratación osmótica y secado del arándano.....	87
3.2.6. Diseño factorial completo $3^k$ .....	89
3.2.7. Metodología de superficies de respuesta.....	89
3.2.8. Diseño experimental para la deshidratación osmótica.....	89
3.2.9. Métodos de caracterización de materia prima .....	92
3.2.10. Método para obtener las muestras para la determinación de Antocianinas Totales, Fenoles Totales y Capacidad Antioxidante.....	93
3.2.11. Determinación de antocianinas totales.....	95
3.2.12. Determinación de fenoles totales.....	96
3.2.13. Determinación de la actividad antioxidante. ....	97
3.2.14. Estudio de difusividad.....	99
3.2.15. Métodos de caracterización al producto final:.....	103
IV. RESULTADOS Y DISCUSION .....	109

4.1. Caracterización de la materia prima arándano ( <i>Vaccinium corymbosum</i> L.) .....	109
4.2. Análisis de textura .....	111
4.3. Variación de humedad y sólidos solubles en la deshidratación osmótica .....	112
4.4. Análisis de varianza para pérdida de humedad en la fruta durante la deshidratación osmótica.....	119
4.4.1. Análisis de Pareto para pérdida de humedad en la fruta.....	122
4.5. Optimización de la pérdida de humedad en el proceso de osmodeshidratación .....	124
4.6. Análisis de varianza para la ganancia de sólidos solubles en la fruta durante la deshidratación osmótica.....	127
4.6.1. Análisis de Pareto para la ganancia de sólidos solubles en la fruta.....	131
4.7. Optimización de la ganancia de sólidos solubles en el proceso de osmodeshidratación. ....	132
4.8. Optimización conjunta de pérdida de humedad y ganancia de sólidos solubles en la osmodeshidratación .....	135
4.9. Análisis sensorial de las pasas de arándano .....	138
4.9.1. Procesamiento estadístico de los resultados del análisis sensorial .....	141
4.9.2. Análisis de los resultados estadísticos del análisis sensorial.....	149
4.10. Análisis de difusividad. ....	151
4.10.1. Osmosis con disoluciones de sacarosa.....	151
4.11. Determinación de la actividad de agua ( $a_w$ ).....	159
4.12. Cuantificación de antocianinas totales .....	167
4.13. Cuantificación de fenoles totales.....	172

4.14. Cuantificación de capacidad antioxidante. ....	178
4.15. Evaluación de la vida útil.....	183
4.15.1.    Discusión de resultados para cada indicador evaluado.....	183
4.15.2.    Discusión final de los 4 indicadores analizados .....	198
4.16. Análisis microbiológico del producto final.....	201
V.    CONCLUSIONES .....	204
VI.    RECOMENDACIONES .....	207
VII.    REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	208
VIII.    ANEXOS .....	220

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Producción mundial de arándanos .....	33
Tabla 2: Composición Química del fruto del Arándano.....	35
Tabla 3: Parámetros del arándano deshidratado producto terminado .....	55
Tabla 4: Actividad de agua y crecimiento de microorganismos en los alimentos .....	64
Tabla 5: Sustituyentes de las antocianinas.....	66
Tabla 6: Numero de muestras a medir por cada hora.....	82
Tabla 7: Numero de muestras medidas en 5 horas de osmodeshidratación.....	83
Tabla 8: Corridas experimentales del diseño experimental .....	83
Tabla 9: Resumen de la primera corrida experimental.....	84
Tabla 10: Niveles de factores.....	90
Tabla 11: Matriz decodificada y codificada del diseño experimental para la deshidratación osmótica.....	91
Tabla 12: Secuencia de muestreo para el análisis de pasas de arándano .....	105
Tabla 13: Caracterización de la materia prima arándano .....	109
Tabla 14: Resultados del análisis de textura a la materia prima .....	111
Tabla 15: Corridas experimentales para obtener la pérdida de humedad en el fruto .....	119
Tabla 16: Análisis de varianza para la pérdida de humedad en el fruto .....	120
Tabla 17: Condiciones óptimas de deshidratación osmótica para la pérdida de humedad en el fruto .....	126
Tabla 18: Corridas experimentales para obtener la ganancia de sólidos solubles en el fruto.	127
Tabla 19: Análisis de varianza para la incorporación de sólidos solubles en el fruto.....	128
Tabla 20: Condiciones óptimas de deshidratación osmótica para la ganancia de sólidos solubles en la fruta .....	134

Tabla 21: Condiciones óptimas de deshidratación osmótica que logran maximizar la función Deseabilidad en la fruta .....	137
Tabla 22: Valores óptimos de las variables respuestas en la deshidratación osmótica que maximizan función Deseabilidad en la fruta .....	138
Tabla 23: Reporte de los valores de las variables respuestas durante 300 min a las condiciones óptimas de deshidratación osmótica a un nivel de agitación de 300rpm.....	139
Tabla 24: Valores óptimos con margen de error de las variables respuestas en la deshidratación osmótica que maximizan función Deseabilidad en la fruta .....	140
Tabla 25: Análisis de varianza (ANOVA) para puntaje de color .....	142
Tabla 26: Análisis de varianza (ANOVA) para puntaje de sabor .....	143
Tabla 27: Análisis de varianza (ANOVA) para puntaje por textura .....	145
Tabla 28: Análisis de varianza (Anova) para puntaje por aceptabilidad general.....	146
Tabla 29: ANOVA para puntaje por intensidad de compra .....	148
Tabla 30: Parámetros cinéticos de ganancia de sólidos (SG), pérdida de agua (ML) y relación ML/SG, correspondientes al tiempo máximo ensayado (300 min) en la deshidratación con sacarosa (55, 60 y 65 °Brix) con velocidades de agitación del medio (0,150 y 300 rpm) .....	153
Tabla 31: Coeficientes de la ecuación de Hawkes-Flink para el agua (kw) y el soluto (ks), coeficientes de difusividad efectiva (Deff) y de difusividad del agua en el sólido (Ds) y coeficientes de transferencia de masa externo (kext), correspondientes al tiempo tiempo máximo ensayado (5h) en la deshidratación con sacarosa (55, 60 y 65°Brix), velocidades de agitación del medio osmótico (0, 150 y 300 rpm) a 56°C .....	158
Tabla 32: Validación de modelos en sistemas alimentarios reales .....	164
Tabla 33: Reporte de los cambios en el peso, humedad, pH, °Brix y aw25°C durante el proceso completo de Deshidratación y Secado del arándano .....	166

Tabla 34: Contenido de antocianinas totales al final de cada etapa del proceso de osmodeshidratación y secado del arándano.....	167
Tabla 35: Reporte del contenido de fenoles totales al final de cada etapa del proceso de osmodeshidratación y secado del arándano.....	173
Tabla 36: Reporte del contenido de capacidad antioxidante al final de cada etapa del proceso de osmodeshidratación y secado del arándano .....	179
Tabla 37: Reporte de los valores de Vida Útil (días) encontrados, para cada indicador de deterioro, cuando la temperatura de almacenamiento es de aprox. 23°C .....	200
Tabla 38: Reporte de los análisis microbiológicos.....	201
Tabla 39: Corridas experimentales para las condiciones de solución osmótica de °T= 40°C – 55, 60,65 °Brix .....	220
Tabla 40: Corridas experimentales para las condiciones de solución osmótica de °T= 50°C – 55, 60,65 °Brix .....	221
Tabla 41: Corridas experimentales para las condiciones de solución osmótica de °T= 60°C – 55, 60,65 °Brix .....	222
Tabla 42: Corrida experimental para las condiciones de solución osmótica de °T= 50°C - 60°Brix. Con sus repeticiones correspondientes a los dos puntos centrales.....	223
Tabla 43: Códigos para identificar las muestras en los platos descartables .....	227
Tabla 44: Escala Hedónica para determinar la aceptabilidad de las pasas de Arándano .....	227
Tabla 45: Escala Hedónica para determinar la intensidad de compra de las pasas de Arándano .....	227
Tabla 46: Resultados generales de la evaluación Sensorial realizada a las muestras óptimo 1 y óptimo 2, de pasas de Arándano. ....	228
Tabla 47: Corridas experimentales para las condiciones de solución osmótica de °T= 56°C – 55, 60,65 °Brix a una velocidad de agitación de 300 rpm.....	230

Tabla 48: Corridas experimentales para las condiciones de solución osmótica de °T= 56°C – 55, 60,65 °Brix a una velocidad de agitación de 150 rpm.....	231
Tabla 49: Corridas experimentales para las condiciones de solución osmótica de °T= 56°C – 55, 60,65 °Brix a una velocidad de agitación de 0 rpm.....	232
Tabla 50: Reporte de los parámetros cinéticos del contenido normalizado de humedad (NMC) en la deshidratación del arándano, en disoluciones de sacarosa a diferentes concentraciones y velocidades de agitación .....	233
Tabla 51: Reporte de los parámetros cinéticos del contenido normalizado de sólidos (NSC) en la deshidratación del arándano, en disoluciones de sacarosa a diferentes concentraciones y velocidades de agitación.....	234
Tabla 52: Reporte de los valores de pH a las diferentes temperaturas establecidas .....	243
Tabla 53: Reporte completo, tanto de los días de muestreo, así como de las variables para el cálculo de % Acidez a las diferentes temperaturas establecidas.....	243
Tabla 54: Reporte de los valores de % Acidez a las diferentes temperaturas establecidas ....	244
Tabla 55: Reporte de los valores de °Brix a las diferentes temperaturas establecidas .....	244
Tabla 56: Reporte general de los valores de Pérdida de Peso durante los días de muestreo a las diferentes temperaturas establecidas.....	245
Tabla 57: Reporte general de los valores de Pérdida de Peso durante los días de muestreo a las diferentes temperaturas establecidas.....	245



## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Producción nacional de arándanos. Copyright 2012 por ProArándanos-Sierra exportadora.....	31
Figura 2: Esquema de transferencia de masa en la deshidratación osmótica .....	45
Figura 3: Estructura química de la sacarosa.....	52
Figura 4: La fuerza impulsora promedio en el periodo de velocidad constante de secado. ....	57
Figura 5: Estructura general de las antocianinas. ....	65
Figura 6: Diagrama de flujo de la deshidratación osmótica .....	81
Figura 7: Equipamiento para la deshidratación osmótica .....	81
Figura 8: Diagrama de flujo para la deshidratación osmótica y secado del arándano .....	86
Figura 9: Diagrama de flujo del método de obtención de muestra para la determinación de AT, F.T. y C.A.....	94
Figura 10: Diagrama de flujo de la determinación de antocianinas totales por el método de pH diferencial. ....	96
Figura 11: Diagrama de flujo de la determinación de la actividad antioxidante por el método de DPPH.....	97
Figura 12: Diagrama de flujo de los análisis al tratamiento optimo .....	107
Figura 13: Variación del contenido de humedad y solidos solubles en el fruto para las condiciones de solución osmótica de 40°C, 55, 60,65°Brix .....	114
Figura 14: Variación del contenido de humedad y solidos solubles en el fruto para las condiciones de solución osmótica de 50°C, 55, 60,65°Brix .....	115
Figura 15: Variación del contenido de humedad y solidos solubles en el fruto para las condiciones de solución osmótica de 60°C, 55, 60,65°Brix .....	118
Figura 16: Valores promedios de delta de Humedad para cada nivel de temperatura de la solución osmótica.....	121

Figura 17: Valores promedios de delta de Humedad para cada nivel de concentración de la solución osmótica.....	122
Figura 18: Diagrama de Pareto estandarizada para la humedad .....	123
Figura 19: Superficie respuesta para optimizar la pérdida de humedad en el fruto, en el proceso de deshidratación osmótica.....	124
Figura 20: Contorno de superficie respuesta para el proceso de deshidratación osmótica ....	125
Figura 21: Valores promedios de delta de Sólidos solubles para cada nivel de temperatura de la solución osmótica .....	129
Figura 22: Valores promedios de delta de Sólidos solubles para cada nivel de concentración de la solución osmótica.....	130
Figura 23: Diagrama de Pareto estandarizada para la ganancia de sólidos solubles en el fruto .....	131
Figura 24: Superficie respuesta para optimizar la ganancia de Sólidos solubles en el fruto, en el proceso de deshidratación osmótica .....	133
Figura 25: Contorno de superficie respuesta para optimizar la ganancia de sólidos solubles en la fruta, en el proceso de deshidratación osmótica .....	134
Figura 26: Superficie respuesta para maximizar la función deseabilidad del fruto, en el proceso de deshidratación osmotica.....	136
Figura 27: Contorno de superficie respuesta para maximizar la función Deseabilidad en la fruta, en el proceso de deshidratación osmótica .....	136
Figura 28: Cinética de la pérdida de humedad y ganancia de sólidos solubles en el fruto para las condiciones de osmodeshidratación óptimas de 56°C y 65°Brix.....	139
Figura 29: Valores promedios del puntaje para color .....	142
Figura 30: Valores promedios del puntaje para sabor .....	144
Figura 31: Valores promedios del puntaje para textura.....	145

Figura 32: Valores promedios del puntaje para aceptabilidad general.....	147
Figura 33: Valores promedios del puntaje para intensidad de compra .....	149
Figura 34: Parámetros cinéticos de ganancia de sólidos (SG) y pérdida de humedad (ML) de la deshidratación del arándano al tiempo de 300min en disoluciones de sacarosa a diferente concentración y velocidad de agitación, a 56 °C.....	152
Figura 35: Parámetros cinéticos de contenido normalizado de humedad (NMC) y de sólidos (NSC) de la deshidratación del arándano en disoluciones de sacarosa a diferente concentración y velocidad de agitación (0 rpm), a 56 °C. Líneas corresponden a las ecs. (6 y 7) .....	154
Figura 36: Parámetros cinéticos de contenido normalizado de humedad (NMC) y de sólidos (NSC) de la deshidratación del arándano en disoluciones de sacarosa a diferente concentración y velocidad de agitación(150 rpm), a 56 °C. Líneas corresponden a las ecs. (6 y 7) .....	155
Figura 37:Parámetros cinéticos de contenido normalizado de humedad (NMC) y de sólidos (NSC) de la deshidratación del arándano en disoluciones de sacarosa a diferente concentración y velocidad de agitación(300 rpm), a 56 °C. Líneas corresponden a las ec. (6 y 7) .....	156
Figura 38: Concentración de antocianinas totales cuantificadas después de cada etapa del proceso de osmodeshidratación y secado del arándano .....	168
Figura 39: Concentración de fenoles totales cuantificados después de cada etapa del proceso de osmodeshidratación y secado del arándano .....	174
Figura 40: Concentración de capacidad antioxidante cuantificados después de cada etapa del proceso de osmodeshidratación y secado del arándano.....	181
Figura 41:Valores de pH en función del tiempo para la temperatura de 40°C .....	183
Figura 42: Valores de pH en función del tiempo para la temperatura de 50°C .....	183

Figura 43: Valores de pH en función del tiempo para la temperatura de 60°C .....	184
Figura 44: Valores de ln k en función 1/T .....	186
Figura 45: Log vida útil en función de las temperaturas 40, 50 y 60°C .....	186
Figura 46: Valores de % Acidez en función del tiempo para la temperatura de 40°C .....	187
Figura 47: Valores de % Acidez en función del tiempo para la temperatura de 40°C .....	187
Figura 48: Valores de % Acidez en función del tiempo para la temperatura de 60°C .....	188
Figura 49: Valores de ln k en función 1/T .....	190
Figura 50: Log vida útil en función de las temperaturas 40, 50 y 60°C .....	190
Figura 51: Valores de °Brix en función del tiempo para la temperatura de 40°C .....	191
Figura 52: Valores de °Brix en función del tiempo para la temperatura de 50°C .....	191
Figura 53: Valores de °Brix en función del tiempo para la temperatura de 60°C .....	192
Figura 54: Valores de ln k en función 1/T .....	194
Figura 55: Log vida útil en función de las temperaturas 40, 50 y 60°C .....	194
Figura 56: Valores de Pérdida de peso (%) en función del tiempo para la temperatura de 40°C.....	195
Figura 57: Valores de Pérdida de peso (%) en función del tiempo para la temperatura de 50°C.....	195
Figura 58: Valores de Pérdida de peso (%) en función del tiempo para la temperatura de 60°C.....	196
Figura 59: Valores de ln k en función 1/T .....	198
Figura 60: Log vida útil en función de las temperaturas 40, 50 y 60°C .....	198

## INDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Corridas experimentales en el proceso de osmodeshidratación.....	220
ANEXO B: Gráficos del análisis de textura .....	224
ANEXO C: Análisis sensorial realizado a las pasas de arándano .....	225
ANEXO D: Análisis de difusividad .....	229
ANEXO E: Cuantificación de antocianinas totales.....	235
ANEXO F: Cuantificación de fenoles totales .....	236
ANEXO G: Cuantificación de capacidad antioxidante .....	239
ANEXO H: Evaluación de la vida útil de las pasas de arándano.....	243
ANEXO I: Certificado de acreditación del análisis microbiológico .....	246
ANEXO J: Etapas de la investigación .....	248

## RESUMEN

En el Perú el arándano está experimentando un gran auge en el mercado externo, su industrialización es inminente gracias a sus excelentes propiedades, lo que le convierte en un cultivo en potencia. El arándano de variedad Biloxi (*Vaccinium corymbosum L*) de la región de La Libertad (Perú) fue pre tratado, deshidratado y secado por aire caliente a 55°C con 50% recirculación. El objetivo de este estudio fue determinar la temperatura y concentración óptimas 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. A demás se analizó la aceptabilidad general y la intensidad de compra por partes de los panelistas.

Adicionalmente se realizó el estudio de difusividad, en donde se analizó la deshidratación osmótica del arándano en disolución acuosa de sacarosa (55,60, 65°Brix) a diferentes grados de agitación (0, 150, 300 rpm) en tiempos de 0, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 y 300min a 56°C. Se aplicó un modelo matemático a los datos experimentales a fin de representar los datos cinéticos obtenidos durante la deshidratación osmótica. Se determinaron los parámetros cinéticos de ganancia de sólidos, pérdida de humedad y relación pérdida de humedad-

ganancia de sólidos. Las cinéticas de los contenidos de humedad y de sólidos se modelizaron mediante la ecuación de Hawkes y Flink para tiempos cortos. Se determinaron los coeficientes de transferencia para el agua y el soluto osmótico y los coeficientes de difusividad mediante la ley de Fick.

Se hizo uso de un modelo predictivo polinómico de segundo orden, gracias al cual se logró estimar la actividad de agua 0.72 en función de los valores pH 3.53 y °Brix 64.86 finales del proceso.

Los parámetros de calidad estudiados fueron la cuantificación de antocianinas totales en mg cianidina-3-glucósido/100 g de muestra, fenoles totales en mg ácido gálico/100 gr muestra y capacidad antioxidante en  $\mu\text{mol TE}/100$  gr de muestra.

Para encontrar el tiempo real de duración del producto se realizó el modelamiento de la vida útil de las pasas de arándano mediante pruebas aceleradas por temperatura para diferentes temperaturas de almacenamiento, el tiempo de vida útil predicha es de 332.35 días a 23°C, se encontró que las cinéticas de deterioro de las pasas de arándano evaluadas responden a un modelo de orden cero.

Finalmente se realizaron ensayos microbiológicos a los 17 días de su almacenamiento. Los resultados de laboratorio pudieron constatar que las pasas de arándano se mantuvieron estables frente al deterioro microbiano durante el lapso de tiempo estudiado.

Palabras claves: arándano, deshidratación osmótica, antioxidantes.

## ABSTRACT

In Peru, Blueberry is experiencing a big boom in the external market, its industrialization is imminent thanks to its excellent properties, which makes it a potential crop. The La Libertad region (Peru) Variety Biloxi (*Vaccinium corymbosum* L) Cranberry was pre treated, dehydrated and dried by hot air at 55 ° C with 50% recirculation. The objective of this study was to determine the optimal temperature and concentration of the osmotic dehydration process, as well as the influence of the process parameters on the final quality of cranberry raisins.

The variables of the process studied were the ° Brix of the osmotic solution and the temperature, which took the following ranges 55, 60 and 65 ° Brix and 40, 50 and 60 ° C respectively, and the variables responses were: loss of moisture and gain soluble solids In the fruit.

The optimal values in the process of osmotic dehydration were: Temperature 56 °c and concentration of osmotic solution 65 ° Brix, under these conditions was obtained to extract 1.9842 Kg water/kg s. s of humidity and incorporate 24.7491 ° Brix to the product cranberry raisins, low These conditions the product managed to obtain acceptable marketing quality.

Later, a sensory analysis was performed, which allowed to evaluate the finished product in the following attributes: color, flavor and texture. In addition to analysing the general acceptability and the intension of purchase by parts of the panelists.

In addition, the study was carried out of diffusivity, where the osmotic dehydration of Bilberry was analyzed in aqueous solution of sucrose (55.60, (65 ° Brix) at different degrees of agitation (0, 150, 300 rpm) in times of 0, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 and 300min to 56 ° C. A mathematical model was applied to the experimental data in order to represent the kinetic data obtained during osmotic dehydration. We determined the kinetic parameters of solid gain, loss of humidity and relationship loss of moisture-solid gain. The kinetics of the



contents of moisture and solids were modeled using the equation of Hawkes and Flink for short times. The transfer coefficients for the water and the osmotic solute and the coefficients of diffusivity were determined through the Fick law.

It was made use of a predictive polynomial model of second order, thanks to which it was able to estimate the activity of water 0.72 according to the values pH 3.53 and ° Brix 64.86 final of the process.

The quality parameters studied were the quantification of total anthocyanins in MG cyanidin-3-glucoside/100 g of sample, Total phenols in mg gallic acid/100 GR sample and antioxidant capacity in Mmol TE/100 gr of Sample.

In order to find the real time of the product life, modeling the lifespan of cranberry raisins by means of temperature-accelerated tests for different storage temperatures, the predicted lifespan is 332.35 days at 23 ° C, It was found that the impairment kinetics of cranberry raisins evaluated respond to a zero-order model.

Finally, microbiological tests were performed at 17 days after storage. Laboratory results found that cranberry raisins remained stable in the face of microbial deterioration during the period of time studied.

Key words: blueberry, osmotic dehydration, antioxidants.

## **I. INTRODUCCION**

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 muy útil como pre tratamiento, debido a la modificación de la composición química de la fruta o vegetal que ocurre con la pérdida de agua y ganancia de sólidos. Una de las características de esta transformación, antes de aplicar otro método de preservación, es el mejoramiento de algunas propiedades sensoriales, nutricionales y funcionales, así como la estabilidad en el almacenamiento.

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.

Motivados por las demandas de arándano por parte de Europa y de Estados Unidos en el Perú las empresas ya empiezan a fijarse seriamente en el cultivo del arándano, Se prevé que el Perú tenga sembradas unas 30,000 hectáreas de berries, o frutos del bosque, en las zonas altas andinas en seis años, para el 2021, beneficiándose alrededor de 20,000 pequeños agricultores (Sierra exportadora,

2012). De este modo los empresarios ven al cultivo del arándano como una vía de desarrollo y como un cultivo en potencia, debido a ello es necesario darle valor agregado a la fruta de descarte de las empresas. si bien es cierto la principal carta de exportación es fruta en fresco, pero debido a la gran demanda externa, también lo requieren en otras presentaciones, con valor agregado, por ejemplo, por eso resulta fundamental procesar el fruto en cuestión y obtener pasas de arándano que conserven mejor sus propiedades y características sensoriales.

El objetivo general de esta investigación fue obtener los valores de Temperatura y concentración de la solución osmótica, en la deshidratación del arándano (*Vaccinium corymbosum* L.).

Los objetivos específicos fueron:

- Caracterizar la materia prima mediante análisis proximal.
- Evaluar el contenido de humedad y la concentración de sólidos solubles en la fruta durante el proceso de la deshidratación osmótica y secado del arándano.
- Evaluar mediante análisis sensorial al arándano deshidratado.
- Determinar la difusividad en la deshidratación osmótica.
- Determinar la actividad de agua ( $a_w$ ).
- Determinar el contenido de antocianinas totales, fenoles totales y capacidad antioxidante.
- Determinar la vida útil del arándano deshidratado.

La hipótesis es:

Los parámetros óptimos de deshidratación osmótica del arándano (*Vaccinium corymbosum L.*) son 55°C de temperatura y 58.25°Brix de concentración de solución, logrando extraer del producto un contenido de humedad de 2.39 Kg agua/Kg sólido seco.

La investigación se justifica dado que el tema se basa en un proceso novedoso, que consiste en someter al arándano a un proceso de deshidratación osmótica y posteriormente un secado en un secador de bandejas. Por otra parte, se sabe que el arándano actualmente está experimentando un gran auge en el mercado externo, por ende, es importante buscar alternativas de procesamiento para el remanente de exportación de esta fruta, que permita incorporar un mayor valor agregado al producto. Cabe mencionar que mediante la industrialización del arándano se logra 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. Verdaderamente hace falta más conocimiento, más investigaciones en este tema. Actualmente en nuestro país no existe un destino de valor agregado para la fruta de descarte de la primera selección. El arándano es una fruta que puede someterse a diferentes procesos de secado, presentando distintos resultados en cuanto a calidad y cualidades del producto, es por ello que se pueden determinar las condiciones óptimas de temperatura y de concentración de medio osmótico en el procesamiento del arándano.

Con la presente investigación se obtuvo las condiciones experimentales óptimas de procesamiento del arándano (temperatura y concentración del medio

osmótico) que permitirán en un futuro próximo contar con la deshidratación osmótica de arándanos como alternativa viable de industrialización.

## **II. REVISION BIBLIOGRAFICA**

### **2.1. Antecedentes generales**

Desde hace algún tiempo, los arándanos han sido catalogados como frutas saludables para nuestro organismo; en la actualidad, se ha demostrado que esta fruta tiene una alta capacidad antioxidante, además tiene efectos neutralizantes sobre los radicales libres que atacan las células humanas y dañan el DNA. NORTH AMERICAN BLUEBERRY COUNCIL (NABC,2000).

El flavonoide presente en el pigmento del arándano, llamado antocianina, está siendo estudiado por su capacidad de mejorar la visión y reducir la incidencia de enfermedades relacionadas con la edad. (Potter., 1999).

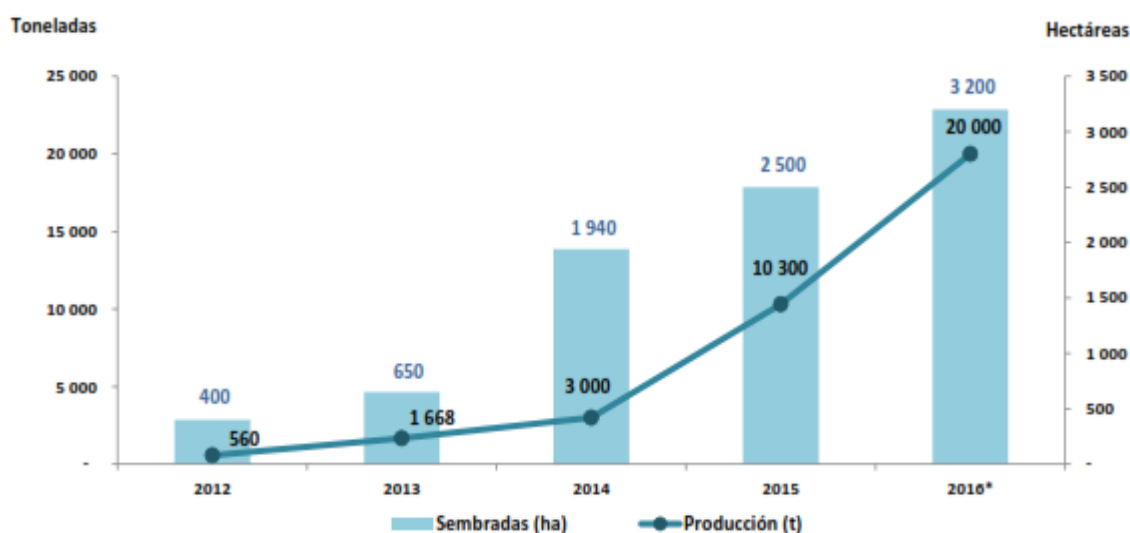
### **2.2. Producción nacional de arándanos**

El arándano es el frutal más rentable del mundo, los arándanos forman parte de la poderosa categoría de las súper frutas. (MINGRAGRI, 2016).

En el Perú se iniciaron los primeros estudios y experimentos hace menos de una década. En el 2004, bajo un proyecto de cooperación con la Unión Europea (UE Perú/PENXALA/2004/016-913) se realiza un estudio de zonificación agraria de cultivos, a fin de contar con una herramienta que permita tomar decisiones de orientación sobre la ubicación geográfica de las zonas potenciales para el desarrollo de cultivos de arándanos. En el 2004 también ingresan los primeros plantones de arándanos de alta calidad genética del vivero Fall Creek de Oregon-USA. Al 2006 ya se habían establecido los requisitos fitosanitarios para la importación de arándanos procedentes de

Argentina y también los protocolos de importación procedentes de Chile, siendo ésta última la de mayor trascendencia. (Sierra Exportadora, 2012).

La primera plantación de la que se tiene registro es en Arequipa, en el 2008 se inició con 10 ha y 100 000 plantas. A partir del 2008, se empieza a plantar un creciente número de hectáreas de arándanos; en ese sentido, al año 2012 ya se tenían sembradas 400 hectáreas de arándanos y ésta aumenta en 385% respecto al 2014, cuando se estima una extensión plantada de 1 940 hectáreas. Para el 2015 el número de áreas sembradas se calcula en 2 500 hectáreas (+ 29% respecto 2014) y para el 2016 todas las estimaciones apuntan a una cifra récord de 3200 hectáreas sembradas (+ 28% con relación a 2015). Lo cual refleja la enorme expectativa que este cultivo ha generado en el país y que muestra el crecimiento promedio anual de las áreas sembradas en un 68%. DIRECCIÓN GENERAL DE POLÍTICAS AGRARIAS (DGPA,2016.)



**Figura 1:** Producción nacional de arándanos. Copyright 2012 por ProArándanos-Sierra exportadora Fuente: (Sierra Exportadora, 2012)

En cuanto a la producción nacional por regiones, cabe precisar que la mayor parte de ésta se encuentra concentrada en la región La Libertad, que

representa aproximadamente un 90% del total producido y exportado por el país, le siguen con volúmenes poco significativos Ancash, Arequipa, Cajamarca, Ica, Lima y Lambayeque. (Sierra Exportadora, 2012).

La evolución de la producción nacional durante los años 2012 al 2016, se estima en un 144,5% de crecimiento promedio anual, explicado por las nuevas áreas sembradas y paralelamente por el incremento del rendimiento de las plantas de arándano que van entrando en producción a partir del segundo año, hasta alcanzar su madurez a partir del 8° o 9° año y mantener un rendimiento constante en los siguientes diez años. En ese sentido, en el 2012 el volumen de la producción nacional fue de 560 toneladas, pero al 2013 esta producción casi se triplica con 1 668 toneladas, en el año 2014 se incrementa en casi un 80% respecto al año anterior, con un volumen de producción de 3 000 toneladas. Para el 2016, Sierra Exportadora estima una producción de 20 000 toneladas, que representa un 94% de aumento con relación al 2015. (Romero, 2016)

### **2.3. Producción mundial de arándanos**

Entre los principales países productores de arándano como se observa en la tabla 1, destacan Estados Unidos y Canadá, que participan con el 56,9% y 25,9% respectivamente del total producido en el año 2013. Ambos países en conjunto han sumado un total de 348 mil toneladas de producción y han desarrollado sus cultivos en 31,6 mil has en el caso de Estados Unidos y 37,6 mil has en el caso de Canadá. En cuanto a los países de la Unión Europea, el volumen de su producción consolidada solo representa el 12,4% de la producción total (no obstante que son 13 los países que producen, entre éstos Polonia, Alemania, Francia, Países Bajos y España). México es otro país cuya



producción ha crecido, en el 2013 ya era de 10,1 mil toneladas (2,4% de participación) ocupando el 4° lugar. En cuanto al Perú, al 2013 ocupaba el 14° lugar si se considera a los países miembros de la Unión Europea de manera individual o el 7° lugar considerando a la Unión Europea como bloque, como se observa en la Tabla 1.

**Tabla 1:**  
*Producción mundial de arándanos*

Países	2000	2005	2010	2011	2012	2013
Mundo	256607	264609	324005	361137	400846	420379
Estados Unidos	134446	135534	188926	196905	214708	239071
Canadá	59035	69410	83550	105140	121780	109007
Unión Europea	55288	51399	44055	44921	49047	52276
México	285	260	1059	6704	7191	10160
Nueva Zelanda	1500	1951	2620	2526	2526	2718
Rusia	-	2500	1900	2500	2400	2500
Perú	-	-	30	320	560	1840
Ucrania	5500	3000	700	800	1200	1300
Uzbekistán	500	500	800	900	1000	1100
Suiza	-	-	247	342	331	308
Marruecos	53	55	60	65	68	72
Noruega	-	-	58	14	35	27

*Fuente: FAOTAT, 2016*

#### **2.4. Composición química del arándano**

Los arándanos poseen aproximadamente 80 calorías por 100 g (una taza tipo té) y prácticamente no contienen grasas, ofreciendo beneficios nutricionales y para la salud. Son una excelente fuente de vitamina C, como podemos observar en Tabla 2, una porción contiene aproximadamente 14 mg,

o sea casi el 25% de los requerimientos diarios de Vitamina C, como su alto valor contenido de agua (83 %) y su contenido en carbohidratos (15.3%).

Los arándanos son también una buena fuente de fibra alimenticia y contribuyen a mantener el sistema circulatorio y el control del colesterol, ya que éste -así como los ácidos biliares y sus productos de fermentación y distintos metabolitos y compuestos tóxicos- pueden ser absorbidos por las fibras, aumentando su eliminación en las heces. La fibra también ayuda en la digestión y a mantener la regularidad intestinal, incrementando el volumen fecal por un mayor contenido en agua y bacterias que acelera el tránsito del colon. Esto disminuye el tiempo de interacción de carcinógenos potenciales con la superficie mucosa (Van Dokkum, 1998).

**Tabla 2:**  
*Composición Química del fruto del Arándano*

Componentes	Cantidad (gr)
Agua	83.2
Carbohidratos	15.3
Fibras	1.5
Proteínas	0.7
Grasas	0.5
Pectinas	0.5
Azúcares totales	10 - 14
Sacarosa	0.24
Fructosa	4.04
Glucosa	3.92
Contenido de solubles	10.1 - 14.2
Acidez titulable	0.3 - 0.38
Vitamina A (U.I)	100
Ácido Ascórbico	14

(mg/100 gr)

**Fuente:** (Kalonji *et al.*, 2010).

Los arándanos constituyen las principales fuentes de compuestos fenólicos en la dieta: claro esto es porque la materia prima contiene antocianinas, flavonoles, catequinas y taninos condensados e hidrolizables, esto manifiesta (Macheix, Fleuriet, & Billot., 1990).

## 2.5. Pre tratamiento

El pre tratamiento químico usado en la elaboración de pasas de arándano incrementa la velocidad de secado. El arándano es igual que la uva, ya que posee una piel muy impermeable que no permite la transferencia de

masa. La metodología consiste en poner en contacto el fruto con la solución alcalina durante un periodo de tiempo controlado, determinando visualmente el tiempo óptimo para separar el fruto del reactivo químico (Cohen & Yang, 1997). En nuestro caso empleamos como pre tratamiento una concentración de Hidróxido de sodio (Soda Cáustica).

Investigaciones recientes han reportado condiciones óptimas de procesamiento (Shi, *et al.*, 1997), sugiere utilizar el hidróxido de sodio, el cual es conocido como soda cáustica. La fórmula del hidróxido de sodio es NaOH y a temperatura ambiente, el hidróxido de sodio es un sólido blanco cristalino sin olor que absorbe la humedad del aire (higroscópico) (Stojanovic & Silva, 2007) para frutos mediante métodos mínimo

## **2.6. Deshidratación osmótica**

La deshidratación osmótica en disoluciones hipertónicas de determinados agentes en alta concentración puede constituir un método alternativo para la conservación del arándano. El contenido de humedad del alimento es parcialmente eliminado, consiguiéndose mantener la calidad del producto por la reducción de la actividad de agua. Al sumergir un alimento en medios hipertónicos se produce un transporte de agua del alimento hacia el medio osmótico y, en contracorriente, de soluto hacia el seno del alimento, lo que puede resultar interesante y atribuirle un valor añadido. Así, se logra una mejor conservación manteniendo por más tiempo las propiedades físicas y organolépticas del producto (Jayaraman & Das Gupta, 1992); (Raoult & Wack, 1994); (Sacchetti *et al.*, 2004). Además, en la deshidratación por ósmosis, al no consumir prácticamente energía, se disminuyen los costos y la degradación del producto al evitar altas temperaturas (Chenlo *et al.*, 2006).

La deshidratación osmótica es un proceso que permite la obtención de productos mínimamente procesados. La estructura que conforma la fruta posee células con una membrana semipermeable para el paso libre del agua y una selectividad de los solutos, permitiendo ocupar este tipo de productos en procesos de deshidratación osmótica (Megías *et al*, 2013).

La tendencia de la industria de alimentos es lograr productos estables con características sensoriales y nutritivas, lo más similar posible al alimento fresco, y productos mínimamente procesados. En el proceso de osmodeshidratación la eliminación del agua se realiza sin cambio de estado, por lo que la estructura de la fruta se conserva de mejor forma, lo que está relacionado con la textura del producto; y también la incorporación, junto con la solución osmótica, de componentes que pueden controlar el crecimiento fúngico y bacteriano, tales como el sorbato y el ácido cítrico. (Tortoe., 2010).

El proceso de osmodeshidratación es relativamente lento, por lo que analizar el efecto de diferentes variables sobre la velocidad de los procesos de transferencia de materia es un aspecto importante. De este modo, es común el análisis de la temperatura, nivel de agitación, concentración y viscosidad del medio osmótico, tamaño y geometría del alimento, aplicación de vacío, entre otras variables, con el fin de optimizar la etapa de deshidratación (Rastogi *et al.*, 2002); (Giraldo *et al.*, 2003). En general, se admite que un método combinado que incluye la deshidratación osmótica con pretratamiento, seguida de un secado, en un equipo secador de bandejas, es una buena alternativa desde el punto de vista de la calidad del producto final, del ahorro energético y de la economía del proceso (Karanthanos *et al*, 1995).

### **2.6.1. Aplicación de la deshidratación osmótica**

Frecuentemente, el proceso de deshidratación osmótica es aplicado para conservar la calidad y estabilidad de frutas y hortalizas, sin tener pérdidas considerables en compuestos aromáticos; además de que puede ser utilizado como una operación previa en el secado y la liofilización, reduciéndose así los costos energéticos. La deshidratación osmótica de alimentos incluye dos tipos de transferencia de masa: la difusión del agua del alimento a la solución y la difusión de solutos de la solución al alimento. En el primer tipo, la fuerza impulsora de la transferencia de masa es la diferencia de presión osmótica, mientras en la segunda es la diferencia de concentraciones (Barbosa & Cánovas, G, , 2000). Es un tratamiento de eliminación parcial de agua, donde se sumerge la materia prima en una solución hipertónica que tiene una alta presión osmótica y baja actividad de agua, siendo la fuerza impulsora para que el agua del alimento se difunda en el medio, originándose así una transferencia de masa desde la región de mayor concentración hacia la de menor concentración (Kaymak & Sultanoglu., 2000).

La remoción de humedad de los productos alimenticios es uno de los métodos de preservación más antiguos (Sing & Heldman., 1992). 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, 1998).

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 & Lluch., 1994)

### **2.6.2. Ventajas y desventajas de la deshidratación osmótica.**

En la literatura se citan las principales ventajas del proceso de deshidratación osmótica en contraposición a los tratamientos tradicionales de secado utilizados en la industria alimentaria. Algunas de las principales son las siguientes:

- Debido a que la osmosis puede realizarse a temperaturas medias (55-65 °C) el daño en el color y sabor de los alimentos es mínimo.
- El sabor “fresco” de los productos como las frutas se mantiene mejor si éstas se someten a deshidratación osmótica, que a los tratamientos de secado tradicional para la elaboración de productos autoestables de humedad intermedia (Cosentino *et al.*, 1994).
- 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.*, 1994).
- La estructura de los alimentos se conserva más adecuadamente, debido a que la eliminación de agua se realiza sin cambio de estado (Mata, M., 1992).
- Si se considera al proceso de deshidratación osmótica como un pretratamiento del secado por aire caliente, permitiría reducir los costos de esta

última operación, debido a que la masa de agua a extraer sería de una magnitud menor (Mata, 1992).

Aunque, como se mencionó anteriormente, el proceso de deshidratación osmótica posee muchas ventajas; también se presenta algunas desventajas que se mencionan a continuación:

- En la mayoría de los casos, es necesario una etapa posterior a la deshidratación osmótica para estabilizar completamente el producto (Ramaswamy & Nsonzi, , 1998).
- Puede formarse una capa de azúcar en los productos después del secado complementario, que no favorezca la textura final de los mismos. Además, 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 (Ramaswamy & Nsonzi, 1998).

### **2.6.3. Cinética de la deshidratación osmótica.**

El modelamiento del proceso de deshidratación osmótica puede ser realizado mediante el estudio de la influencia de factores extrínsecos tales como: temperatura, concentración de la solución osmótica y tiempo de contacto; e intrínsecos como: tipo de alimento, tamaño y forma, tienen sobre el fenómeno de transferencia de masa (pérdida de humedad y ganancia de sólidos). Todas las condiciones anteriores, influyen las características del producto final y por tanto su calidad (Ramaswamy & Nsonzi, 1998).

### **2.6.4. Factores que afectan la deshidratación osmótica.**

- *Especie, variedad, tamaño y grado de madurez.* La especie, variedad, el tamaño y el grado de madurez tienen un efecto significativo sobre la estructura natural del tejido en términos de composición de la pared celular;



por lo tanto, afecta sustancialmente el intercambio de masa entre el producto y el medio osmótico (Lazarides *et al.*, 1999). Además, 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., 1992).

Es por eso que se realizara una calibración a lo que se refiere al tamaño, para así poder tener un tamaño uniforme de la muestra, y lograr de esa manera una transferencia de masa del medio hipertónico al arándano y viceversa.

García & Serra., (1994), señalan que la firmeza de la materia prima afecta las características de calidad de la deshidratación osmótica y posterior secado de rodajas de Kiwi. (Hartal., 1997), encontró que bajo condiciones de proceso similares; diferentes variedades de tomate generaron pérdidas de agua sustancialmente distintas en el proceso de deshidratación osmótica.

- *Superficie específica de contacto.*

El tamaño y la forma juegan un rol muy importante en el proceso de transferencia de masa debido a que determinan al 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 por lo tanto la ganancia de solutos se torna mayor (Rosell & Lluch., 1994).

- *Pre tratamiento del producto.*

El pre tratamiento del producto y las condiciones de proceso, afectan la integridad del tejido natural y tienen por lo tanto un severo efecto sobre el proceso de transferencia de masa. Las interrupciones de las barreras estructurales mejoran la difusividad del agua y del soluto al interior del

producto, resultando en un equilibrio más rápido en favor de la ganancia de soluto. El escaldado, la congelación, sulfatación, acidificación y procesos de alta temperatura favorecen la penetración de sólido al interior del fruto (Lazarides *et al.*, 1999).

- *Temperatura del proceso.*

Las temperaturas comprendidas entre los 20 y 60°C son comúnmente usadas en el tratamiento osmótico de frutas. En tales condiciones se aumenta la velocidad de transferencia de masa y se reduce considerablemente el tiempo de tratamiento, lo que permite obtener pérdidas de humedad más elevadas; esto se debe a que en general la transferencia de agua ocurre a tasas mayores durante las dos primeras horas de tratamiento y prácticamente 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 (Mata., 1992). Por otro lado, 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.*, 1997). Por todo lo mencionado consideramos trabajar la etapa de deshidratación osmótica en un rango de temperatura comprendido entre 40 y 60°C.

- *Composición de la solución osmótica.*

Este es otro factor clave del proceso de deshidratación osmótica. La sacarosa y el cloruro de sodio son los solutos mayormente utilizados, aunque se han utilizado otros como glucosa, lactosa, almidón de baja dextrosa, etc. Los solutos usados en deshidratación deben 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.*, 1999). Cuando se aumenta el tamaño molecular de los solutos se puede disminuir la transferencia de estos a la fruta y por lo tanto impedir una ganancia excesiva de masa. Además, la transferencia de solutos a la fruta puede ser buscada con otros fines como: la estabilización (anti fúngicos, antioxidantes), interés nutricional (vitaminas, minerales), fines organolépticos (aroma, sabor, textura), etc, lo cual son citados por (Fito *et al.*, 1998).

- *Concentración de la solución osmótica.*

La transferencia de masa se favorece generalmente al utilizar soluciones muy concentradas (50 a 70°Brix) (Ramaswamy & Nsonzi, 1998). Además, un aumento en la diferencia inicial de concentración entre el producto y la solución tiene un efecto favorable importante en la pérdida de agua y más débil o casi nulo en la ganancia de solutos, de ahí una reducción de peso creciente con la concentración del soluto (Hawkes & Flink, 1978).

### **2.6.5. Influencia de la agitación del medio sobre la velocidad del proceso de osmótico**

En la osmodeshidratación cuantificar el efecto de la agitación sobre la velocidad del proceso, resulta fundamental ya que este conocimiento facilita el transporte del agua hacia el exterior del alimento y/o se evita que el soluto del medio osmótico se deposite en la superficie del arándano. Esto supondrá la reducción del tiempo de contacto muestra-medio y de los costos de operación a nivel industrial (Rastogi *et al.*, 2002). No obstante, resultados previos de

otros autores son contradictorios ya que se han aportado resultados indicando que en el caso de la deshidratación osmótica de la manzana (Moreira & Sereno, 2003) y del tomate (Tonon, Baroni, & Hubinger, 2007) se produce, en ambos casos, un aumento de la velocidad de transferencia de agua sin modificar la velocidad de adquisición de los solutos osmóticos empleados (cloruro sódico y sacarosa), mientras que otros autores (Panagiotou, Karathanos, & Maroulis, 1999) empleando manzana, banana y kiwi obtuvieron que la velocidad de transferencia de soluto osmótico (sacarosa) fue dependiente del nivel de agitación y la del agua se mostró invariable; por último, la agitación fue favorable al proceso de eliminación de agua en geles, sin alterar la adquisición de cloruro sódico y decreciendo la adquisición de sacarosa cuando se emplearon disoluciones ternarias de ambos solutos (Bohuon *et al.*, 1998). Por todo lo mencionado anteriormente, fue necesario llevar a cabo la deshidratación osmótica del arándano en disolución de sacarosa a diferentes concentraciones, tiempos de contacto y niveles de agitación del medio osmótico con el fin de determinar experimentalmente el efecto de la agitación en la velocidad del proceso, en comparación respecto a los resultados obtenidos en los sistemas en estático, así como la modelización a través de ecuaciones existentes en la bibliografía.

#### **2.6.6. Fase de contacto en la deshidratación osmótica**

La fase de contacto es determinada principalmente por 2 factores:

- Tasa producto/solución.
- Movimiento relativo de la solución hacia la superficie del producto.

Usualmente se utiliza una tasa producto solución  $< 1/30$  para lograr que el

efecto de dilución causado por la remoción de agua se torne despreciable (Lazarides *et al.* , 1999).

### 2.6.7. Duración del proceso de deshidratación osmótica

Para alcanzar el equilibrio (caracterizado por una igualdad en el potencial químico del agua en el producto y la solución) 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 & Flink, 1994).

El tiempo de proceso, depende de la profundidad de los cambios que se quiera lograr en la fruta: Impregnación, pre tratamiento osmótico, deshidratación osmótica, producción de fruta confitada, etc. (Fito *et al.*, 1998).

### 2.6.8. Transferencia de masa en la deshidratación osmótica.

Cuando un trozo de fruta con actividad de agua  $A_{w1}$  se introduce en una solución con actividad de agua  $A_{w2}$  más baja, se suceden dos flujos simultáneos en contracorriente tal como se muestra en la figura 2:

1. El agua se transporta desde el interior del alimento hacia la solución.
2. El soluto se transporta de la solución al alimento.

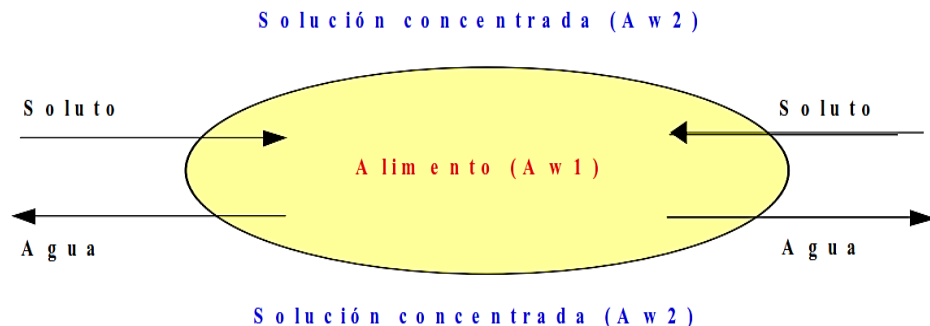


Figura 2: Esquema de transferencia de masa en la deshidratación osmótica  
Fuente: Mata (1992).

La transferencia de masa toma lugar en las primeras dos horas del proceso de deshidratación osmótica para conseguir la pérdida de agua y en los primeros treinta minutos la ganancia de sólidos (Gómez et al., 2005). En los productos deshidratados osmóticamente la mayor resistencia a la transferencia de masa se localiza en la membrana celular semipermeable, la cual depende de las características y morfología de los productos; y a través de la cual es posible la transferencia de agua, sales, y azúcares naturales, tales como la glucosa y la fructosa. Las variables de proceso, que son la concentración de la solución osmótica, el tipo de soluto, la temperatura, la presión, los tiempos de residencia, la geometría y el tipo de tejido, han sido estudiadas extensamente, ya que todas tienen una considerable influencia en la velocidad de la transferencia de masa.

El aumento de la temperatura en el sistema produce cambios en la permeabilidad de la membrana celular y en la fluidez de la solución osmótica. Cuando se aplica una presión de vacío se favorece el proceso de transferencia de masa, ya que permite retirar los gases ocluidos en los espacios intracelulares, característicos del tejido parenquimatoso, y los espacios intracelulares pueden ser ocupados por la solución osmótica, incrementando el área disponible para la transferencia de masa. La concentración de la solución afecta a la cinética de la deshidratación, ya que, si se mantiene el gradiente de concentraciones, se favorece la velocidad de transferencia (Rastogi et al., 2002).

Según (Magee *et al.*, 1993), tres pasos principales están implicados en el proceso de difusión del soluto en la deshidratación osmótica:

1. La transferencia de masa de la solución concentrada a la superficie del alimento.
2. Difusión interna
3. Adsorción en un punto activo situado en el interior de la estructura.

### 2.6.9. Modelos de deshidratación osmótica

El modelado de la deshidratación osmótica resulta complejo debido a que en el sistema existen dos flujos opuestos y simultáneos de solvente y soluto en condiciones alejadas del equilibrio, a la vez que el producto se encoje y deforma durante el proceso. Los modelos más frecuentemente utilizados para describir este proceso vinculan la variación de la pérdida de agua (WL) y la ganancia de sólidos (SG) con otras variables del proceso. Sin embargo, estos modelos suelen no ser extrapolables a condiciones diferentes de las experimentales en las que se obtuvieron los parámetros del modelo. Otro tipo de modelo es el fenomenológico basado en la segunda ley de Fick para la difusión en estado no estacionario. Para geometría esférica, considerando constantes la difusividad y la concentración en la interfase, resulta el modelo de (Crank., 1998).

$$\frac{LW - LW_{\infty}}{LW_0 - LW_{\infty}} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp\left(-n^2 \pi^2 \frac{D_{e1} t}{R^2}\right) \dots \dots \dots (1a)$$

$$\frac{SG - SG_{\infty}}{SG_0 - SG_{\infty}} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp\left(-n^2 \pi^2 \frac{D_{e2} t}{R^2}\right) \dots \dots \dots (1b)$$

Siendo  $D_{e1}$ , la difusividad efectiva del agua que sale del sólido,  $D_{e2}$  la difusividad efectiva del azúcar que ingresa al sólido, (fructosa o sacarosa según corresponda) y  $R$  el radio del arándano.  $LW_{\infty}$  y  $SG_{\infty}$  representan, respectivamente, los valores de la masa de agua pérdida por el sólido y la masa

de soluto que ingresó al sólido cuando se alcanza el equilibrio, mientras que  $LW_0$  y  $SG_0$  representan los valores iniciales de contenido de agua y soluto en el sólido. Para la determinación de los parámetros ( $De_1$  y  $LW_\infty$ ) y ( $De_2$  y  $SG_\infty$ ) en las ecuaciones (1a) y (1b) respectivamente, se consideraron los primeros 20 términos de la serie. Este modelo fenomenológico realiza suposiciones que no se cumplen estrictamente en el ensayo experimental de deshidratación osmótica, como el mantenimiento de la densidad, la forma y el volumen ya que los arándanos se contraen y deforman durante el proceso. Por esta razón la difusividad efectiva incluye variaciones de propiedades físicas, geométricas y cambios estructurales de la matriz del producto. Esto hace que en el modelo algunos parámetros tomen valores que engloban estas variaciones implícitamente y por lo tanto el modelo no representará estrictamente la incidencia de los diferentes parámetros sobre el proceso.

Otros modelos empíricos o semiempíricos han sido desarrollados y aplicados a procesos de deshidratación osmótica de diferentes productos.

El modelo de (Magee *et al.*, 1993) propone:

$$LW = K_1 t^{0.5} + K_{0.1} \dots \dots \dots (2a) SG$$

$$= K_2 t^{0.5} + K_{0.2} \dots \dots \dots (2b)$$

Donde  $K_1$  y  $K_{0.1}$  son parámetros cinéticos asociados la salida de agua del producto mientras que  $K_2$  y  $K_{0.2}$  son parámetros cinéticos asociados al ingreso de azúcares en el sólido (fructosa o sacarosa). Tanto  $K$  como  $K_0$  son parámetros cuyo valor está vinculado a los diferentes mecanismos de transferencia de masa que ocurren durante el proceso de deshidratación osmótica.

El modelo de (Azura *et al.*, 1992) modela la pérdida de agua y ganancia de soluto a partir de los balances de masa correspondientes,



representados por las ecuaciones (3a) y (3b), cada una de las cuales incluye dos parámetros de ajuste,  $S_1$ ,  $LW_\infty$  y  $S_2$ ,  $SG_\infty$  respectivamente:

$$\frac{t}{LW} = \frac{1}{S_1 LW_\infty} + \frac{t}{LW_\infty} \dots \dots \dots (3a)$$

$$\frac{t}{SG} = \frac{1}{S_2 SG_\infty} + \frac{t}{SG_\infty} \dots \dots \dots (3b)$$

Por último, el modelo empírico (Page, 1999), definido por las ecuaciones (4a) y (4b), presenta dos parámetros de ajuste para el solvente  $A_1$ ,  $B_1$ , (Ec. 4a) y dos para el soluto  $A_2$ ,  $B_2$ , (Ec. 4b):

$$LW = \exp(-A_1 T^{B_1}) \dots \dots \dots (4a)$$

$$SG = \exp(-A_2 T^{B_2}) \dots \dots \dots (4b)$$

Se determinaron los parámetros de cada uno de los diferentes modelos a partir del ajuste de los datos experimentales de pérdida de agua y ganancia de sólidos obtenidos durante la deshidratación osmótica de arándanos. Se determinó también en cada caso el error relativo promedio para evaluar el ajuste y determinar cuál o cuáles de los modelos representa mejor el proceso de deshidratación osmótica. El error se calculó según:

$$\%e = \frac{100}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^{i=n} \left( \frac{|X_{calc} - X_{exp}|}{X_{exp}} \right)^2} \dots \dots \dots (5)$$

Donde X representa el valor de LW o SG, calculado por el modelo correspondiente ( $X_{calc}$ ), el valor obtenido experimentalmente es ( $X_{exp}$ ), y n es el número de datos experimentales tomados a distintos tiempos de proceso.

- **Modelo de Peleg.**

La pérdida de agua o de humedad en el producto se puede modelar mediante la ecuación propuesta por (Peleg, 1998):

$$\frac{t}{H - H_0} = K_1 + K_2 * t \dots \dots \dots (6)$$

Dónde:

t: tiempo de deshidratación osmótica

H: contenido de humedad a tiempo t

H<sub>0</sub>: contenido de humedad inicial

K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub>: parámetros del modelo.

El significado físico para ambos parámetros del modelo se puede obtener:

1) Haciendo que t → 0 en la ecuación (6) y reordenando, se obtiene:

$$\frac{1}{K_1} = \left( \frac{dH}{dt} \right)_{t \rightarrow 0} \dots \dots \dots (7)$$

Podemos decir que k1 es inversamente proporcional a la velocidad inicial de transferencia de agua.

2) Si t → ∞, podemos encontrar la relación del parámetro k2 con la humedad de equilibrio:

$$H_e = H_0 + \frac{1}{K_2} \dots \dots \dots (8)$$

Dónde:

H<sub>e</sub>: humedad en equilibrio

Si se sustituye el contenido de humedad por la cantidad de sólidos ganados puede escribirse una ecuación equivalente para la transferencia de sólidos.

- **Modelo de Hawkes y Flink.**

$$PA = kt^{0.5} + k_0 \dots \dots \dots (9)$$

Dónde:

k y  $k_0$  son parámetros cinéticos empíricos.

“k” se asocia a la velocidad de transferencia de agua que ocurre a través del mecanismo osmótico difusional. Este modelo es similar al de Crank para tiempos cortos donde la pérdida de agua queda relacionada con la raíz cuadrada de t.

“ $k_0$ ” cuantifica la ganancia o la pérdida de agua que ocurre luego de procesamientos cortos debido al mecanismo hidrodifusional promovido por las presiones impuestas o movimientos capilares (Giraldo *et al.*, 2004).

#### **2.6.10. Agentes osmóticos más utilizados**

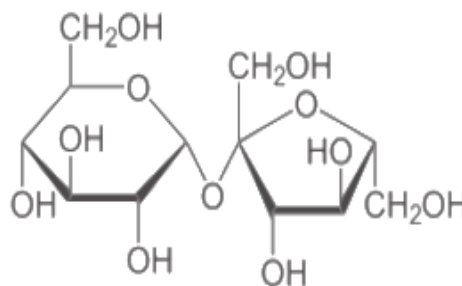
La elección del soluto depende del tipo de producto a tratar, del costo del soluto y la calidad final deseada. Como ya se mencionó el soluto más difundido para la deshidratación osmótica de frutas es la sacarosa, aunque en muchos casos se utiliza mezclas de sacarosa con mínimas proporciones de cloruro de sodio (sal). La aplicación de esta mezcla presenta ventajas respecto a la utilización de cada uno por separado, ya que la deshidratación es mayor y la penetración de solutos es menor. Esto se debe a que la sacarosa forma una barrera sobre la superficie de la fruta que evita la penetración de la sal, pero a su vez la presencia de sal en la solución mantiene una baja actividad de agua lo cual produce una continua pérdida de agua y una baja ganancia de soluto (Vega *et al.*, 1996). (Chenlo *et al.*, 2006), nos dice lo siguiente: debido a que es muy importante para el proceso el tipo de soluto a utilizar en deshidratación de frutas, se eligió emplear la sacarosa por su eficacia, conveniencia y sabor agradable. Se ha encontrado que es uno de los mejores agentes osmóticos y

también es un inhibidor eficaz de la polifenoloxidasas; evita la pérdida de sabores volátiles y la mayoría de las membranas celulares son permeables a ella (Sharma, 2003).

- *Sacarosa.*

Es el disacárido más extendido en el reino vegetal. Se encuentra en casi todos los frutos y en muchas semillas de plantas, sobre todo en la remolacha (16- 20%) y en la caña de azúcar (14 -16%), la cual se produce principalmente en la India, Brasil, Cuba, México, EE.UU y Filipinas (Hans & Wolfgang., 1997).

La sacarosa o también azúcar común (mesa) está formado por los disacáridos alfa alfa-glucopiranososa y beta-fructofuronasa. Su nombre químico es alfa-D-Glucopiranosil - (1→2) - beta-D-Fructofuranósido, mientras que su fórmula es C<sub>12</sub>H<sub>22</sub>O<sub>11</sub>. No posee poder reductor. Es debido a que no tiene ningún carbono anomérico libre. El carbono anomérico de la glucosa es el carbono 1 y el carbono anomérico de la fructosa es el carbono 2. Ambos están formando el enlace glucosídico, por lo que no pueden intervenir en la reacción Fehling. (Dalla Rosa M., & Giroux, 2001). En la figura 3, podemos observar la estructura química de la sacarosa.



*Figura 3: Estructura química de la sacarosa*  
*Fuente: Mata (1992)*

## 2.7. Temperatura:

Este 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.

La temperatura produce cambios en el proceso de deshidratación osmótica, debido a los efectos que tiene sobre la difusión del agua del producto hacia la solución y sobre la permeabilidad de las membranas celulares. Respecto a la velocidad de pérdida de agua, el aumento de temperatura favorece la agitación molecular lo cual eleva la velocidad de difusión. En cuanto a la permeabilidad de las membranas, como ya se mencionó, un aumento de temperatura puede afectarla perjudicando el proceso. Para la mayoría de las especies frutihortícolas el rango de temperatura al cual las membranas de las células se modifican es entre los 50°C y 55° C aproximadamente (Salvador & Badui ., 2006).

## 2.8. Humedad:

Con este parámetro vamos a evaluar la calidad del producto deshidratado, ya que afecta la estabilidad de la fruta deshidratada. la humedad de un fruto es el peso de la cantidad de agua presente en él, en función de su peso seco.

$$\%CH_{bh} = \frac{\text{Peso humedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso humedo}} * 100$$

Todos los alimentos, cualquiera que sea el método de industrialización a que hayan sido sometidos, contienen agua en mayor o menor proporción. Las

cifras de contenido en agua varían entre un 60 y un 95% en los alimentos naturales.

La determinación de humedad puede ser el análisis más importante llevado a cabo en un producto alimentario y, sin embargo, puede ser el análisis del que es más difícil obtener resultados exactos y precisos. La materia seca que permanece en el alimento posterior a la remoción del agua se conoce como sólidos totales. Este valor analítico es de gran importancia económica para un fabricante de alimentos, ya que el agua es un "llenador barato", así:

El contenido de humedad es un factor de calidad en la conservación de algunos productos, ya que afecta la estabilidad de: frutas y vegetales deshidratados, leches deshidratadas; huevo en polvo, papas deshidratadas y especias. Todos los cálculos de valor nutricional requieren del conocimiento previo del contenido de humedad. La forma de preparar la muestra para este análisis quizá sea la fuente de error potencial más grande, así que se deben tomar precauciones para minimizar las pérdidas o ganancias de agua inadvertidas que ocurren durante estos pasos. Obviamente, cualquier exposición de la muestra a la atmósfera abierta debe ser tan breve como sea posible (Salvador & Badui ., 2006)

### **2.8.1. Humedad final del producto:**

Esta etapa de osmosis puede dejarse transcurrir hasta alcanzar distintas concentraciones en el producto que luego será sometido a secado. Estas variaciones en el proceso de deshidratación osmótica incidirán sobre las características del producto final (pasas de arándano) que se obtiene después de la etapa siguiente de secado. Este producto puede obtenerse con humedades que van entre el entre el 10 y el 40% (Tabla 3) y sus cualidades diferirán

dependiendo de su contenido de humedad final pero también de las condiciones de cada etapa del proceso de producción, por lo cual disponer de modelos predictivos de cada etapa del proceso en función de las variables operativas, resulta de mucha utilidad para la determinación de las mismas y el control del proceso (Della, 2010).

FICHA TECNICA DEL ARANDANO DESHIDRATADO DE LA  
EMPRESA BERRIES DEL SUR S.A.C.

**Tabla 3:**

*Parámetros del arándano deshidratado producto terminado*

ESPECIFICACION	RANGO	METODO
Humedad	12 -16 %	Karl fischer
Aceite	1.0 % max	Hexane
Color	Tipico -rojo	Visual
Sabor y olor	Tipico a cranber	Sensorial

*Fuente:* EMPRESA BERRIES DEL SUR S.A.C – SIERRA

## 2.9. Secado

El término secado se refiere a 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, 1986).

### 2.9.1. Proceso de secado

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

1. Transferencia de la humedad interna del sólido hacia la superficie de éste y su subsiguiente evaporación. El movimiento de la

humedad dentro del sólido es una función de la naturaleza física del sólido, su temperatura y su contenido de humedad.

2. Transferencia de energía en forma de calor del ambiente que rodea al sólido para evaporar la humedad de su superficie. Este segundo subproceso depende de las condiciones externas de temperatura, humedad y flujo del aire, presión, área de exposición y el tipo de secador empleado.

En un secador adiabático se cruza la transferencia de calor desde el aire hacia la superficie del sólido húmedo con la transferencia de masa desde la superficie del sólido hacia el aire. Si la superficie del sólido es completamente mojada, la vaporización ocurrirá como si fuese una superficie libre de agua, y la velocidad de secado es generalmente constante. En estado de equilibrio se establece una temperatura de superficie de interfase, la cual puede ser determinada a partir de un balance de flujo de entalpía. En este caso la densidad de flujo de calor se obtiene con la siguiente ecuación:

$$q = \alpha(T - T_F) = m_B A = (Y_F - Y)A \dots \dots \dots Ecu. 1$$

Siendo:

T= temperatura inicial, °C

Y=humedad inicial del aire, Kg/Kg

T<sub>F</sub>=temperatura en la interfase, °C

Y<sub>F</sub>=humedad del aire en la interfase, kg/kg

α=coeficiente de transferencia de calor, W/kg.K

σ=coeficiente de vaporización (Kg de aire seco/m<sup>2</sup>.s)

A=calor latente de vaporización J/kg

Por tanto, se obtiene la temperatura de la superficie:

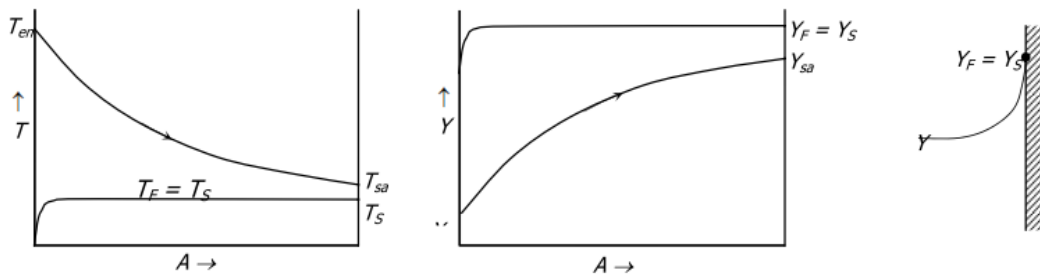


$$T_F = T - \frac{q}{\alpha} = T - \frac{\sigma}{\alpha} (Y_F - Y)A \dots \dots \dots Ecu. 2$$

También:

$$T_F = T - \frac{q}{\alpha_{Total}} = T - \frac{\sigma}{\alpha_{Total}} (Y_F - Y)A \dots \dots \dots Ecu. 3$$

La fuerza impulsora promedio como indica en la figura 4, en el periodo de velocidad constante de secado puede ser representada de la siguiente forma:



**Figura 4: La fuerza impulsora promedio en el periodo de velocidad constante de secado.**

Fuerza impulsora

A la entrada:

$$\Delta T_{en} = T_{en} - T_s$$

$$\Delta Y_{en} = Y_s - Y_{en}$$

A la salida:

$$\Delta T_{sa} = T_{sa} - T_s$$

$$\Delta Y_{sa} = Y_s - Y_{sa}$$

La fuerza impulsora promedio a velocidad de secado constante se puede expresar en función de la temperatura (ecu. 4) o de la humedad (ecu.5) del aire.

$$\Delta T_m = \frac{(T_{en} - T_s) - (T_{sa} - T_s)}{\ln \frac{(T_{en} - T_s)}{(T_{sa} - T_s)}} = \frac{T_{en} - T_{sa}}{\ln \frac{(T_{en} - T_s)}{(T_{sa} - T_s)}} = \frac{T_{en} - T_{sa}}{N} \dots \dots \dots ecu. (4)$$

$$\Delta Y_m = \frac{(Y_s - Y_{en}) - (Y_s - Y_{sa})}{\ln \frac{(Y_s - T_{en})}{(Y_s - Y_{sa})}} = \frac{Y_{sa} - Y_{en}}{\ln \frac{(Y_s - T_{en})}{(Y_s - Y_{sa})}} = \frac{Y_{sa} - Y_{en}}{N} \dots \dots \dots ecu. (5)$$

Siendo N el número de unidades de transferencia en la fase gaseosa para el período de velocidad de secado constante.

### **2.9.2. Factores que intervienen en el proceso de secado**

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

Un proceso de secado es adecuado cuando el tiempo en el que se lleva a cabo es el mínimo, utilizando un mínimo de energía, lo cual está estrechamente relacionado con la eficiencia energética del secador empleado. Con respecto a las frutas y vegetales, el secado puede lograr una reducción en volumen de entre 75% a 85%, dependiendo de la porosidad del alimento (Vega *et al.*, 1996). Por esta razón, la importancia del secado en alimentos representa una disminución en costos a la hora de transportarlos, además de que su manejo es más fácil ya que no es necesario invertir en procesos de refrigeración o añadir conservadores para mantenerlos, estos alimentos se encuentran en buen estado antes de consumirlos, ya que su vida útil es de al menos de 1 año.

- ***Temperatura del aire:***

La temperatura desempeña un papel importante en los procesos de secado. En forma general, conforme se incrementa su valor se acelera la eliminación de humedad dentro de los límites posibles. En la práctica del secado, la elección de la temperatura se lleva a cabo tomando en consideración la especie que se vaya a someter a proceso.

- **Humedad relativa del aire:**

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 (Vega *et al.*, 1996). Generalmente, 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, por el contrario, un aire no saturado tiene la posibilidad de absorber una cantidad determinada de humedad hasta lograr su saturación. A baja humedad relativa del aire, el potencial de secado del aire es mayor.

En la modelación de un secador técnico la relación entre la humedad del producto y la duración del proceso se ve afectada por las condiciones exteriores. Por razones económicas es imposible trabajar siempre con exceso de aire, por lo que se tiene un flujo determinado de aire. Puesto que el estado del aire varía constantemente durante el proceso de secado, se utiliza un concepto adimensional de humedad definida por la ecuación 6.

$$\eta = \frac{Y - Y_{En}}{Y_S - Y_{En}} = \frac{T_{En} - T}{T_{En} - T_S} \dots ecu. (6)$$

Dónde:

S: saturación

En: entrada.

Esta humedad adimensional  $\eta$  se complementa con el potencial de secado  $\varepsilon$  del aire.

$$\eta = 1 - \varepsilon \dots ecu. (7)$$

- **Velocidad del aire:**

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

Durante las primeras etapas del secado, la velocidad del aire desempeña un papel muy importante, 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).

Las ventajas de velocidades altas de aire, disminuyen en cuanto mayor es el espesor del material, menor el contenido de humedad inicial y la temperatura de bulbo seco inicial.

En la práctica, la economía del proceso determina la velocidad del aire. Se utilizan velocidades mayores a 3 m/s sólo en casos excepcionales (material muy húmedo), pero en general, la velocidad se considera entre 2 m/s a 3 m/s. En algunos casos es recomendable utilizar velocidades de secado altas al inicio del proceso de secado, pero a medida que disminuye la humedad se sugiere disminuir la velocidad.

### **2.9.3. Clasificación y tipos de secadores**

Según (Geankoplis, 1986) la clasificación para los secadores es muy amplia, sin embargo, la más general está dada por el método con el que se

lleva a cabo 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, y otros.

Entre los secadores más comunes, destacan los siguientes:

- **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).

## 2.10. Actividad de agua ( $a_w$ )

Desde hace mucho tiempo se sabe que existe una relación, aunque imperfecta, entre el contenido de agua de los alimentos y su alterabilidad. Los procesos de concentración y deshidratación se emplean primariamente con el objeto de reducir en contenido de agua de un alimento, incrementando simultáneamente la concentración de solutos y disminuyendo de este modo su alterabilidad (Fennema, 1993). Sin embargo, también se ha observado que diversos alimentos con el mismo contenido de agua difieren significativamente en su susceptibilidad a la alteración. En consecuencia, el contenido de agua por sí solo, no es un indicador fiable de la alterabilidad. Esta inadecuación puede atribuirse, en parte, a diferencias en la intensidad con que las moléculas de agua se asocian con los constituyentes no acuosos, ya que el agua que interviene en asociaciones fuertes es menos capaz de participar en actividades degradativas, tales como el crecimiento de los microorganismos y las reacciones químicas hidrolíticas (Potter, 1999).

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, 1993). La actividad de agua se define de la siguiente manera (Belitz, H & Grosch, W, 1997).

$$a_w = \frac{HR_E}{100} = \frac{p}{p_0}$$

**Dónde:**

$a_w$ : 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  $T$ .

$HR_E$  = Humedad relativa en el equilibrio.

### **2.10.1. Actividad de agua y estabilidad de los alimentos**

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 Aw	Microorganismos generalmente inhibidos por la Aw más baja de este rango	Alimentos comprendidos dentro de este rango
1,00-0,95	<i>Pseudomonas, Escherichia, Proteus, Shigella, Klebsiella, Bacillus, Clostridium perfringens</i> , algunas levaduras.	Alimentos altamente perecederos (frescos), frutas enlatadas, verduras, carne, pescado, leche, salchichas cocidas, pan.
0,95-0,91	<i>Salmonella, Vibrioparahaemolyticus, C. Botulinum, Serratia, Lactobacillus, 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, Torulopsis, Hansenula, Micrococcus</i> ).	Embutidos fermentados (salame), dulces esponjosos, quesos secos, margarina.
0,87-0,80	Mayoría de mohos ( <i>penicilios micotoxigenicos, Staphylococcus 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, <i>aspergillus</i> micotoxigenicos.	Compota, mermelada, mazapán, frutas glaseadas.
0,75-0,65	Mohos xerofíticos ( <i>Aspergillus chevalieri, A. Candidus, 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, Monascus bisporus</i> )	Frutas desecadas conteniendo 15-20% de humedad, algunos toffes, caramelos y miel.
0,5	No existe proliferación microbiana	Pastas conteniendo 12% de humedad.
0,4	No existe proliferación microbiana	Polvo de huevo entero con 10% de humedad.
0,3	No existe proliferación microbiana	Galletas, cortezas de pan y similares conteniendo entre 3-5% de humedad.
0,2	No existe proliferación microbiana	Leche entera en polvo conteniendo 2-3% de humedad, verduras desecadas conteniendo 5% de humedad, palomitas de maíz.

Además de las reacciones químicas y crecimiento microbiano, la aw también influye en la textura de los alimentos secos y semisecos. La aw

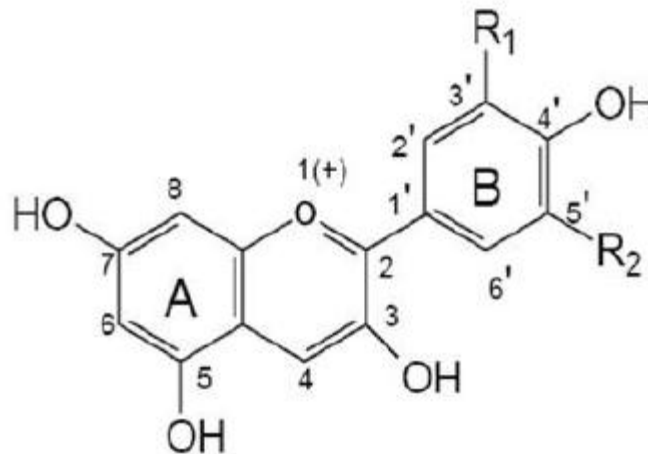


máxima que puede tolerarse en los productos secos sin inducir la pérdida de propiedades deseables oscila desde 0,35 hasta 0,50, dependiendo del producto. Además, para evitar el endurecimiento indeseable de los alimentos texturados blandos se necesitan actividades de agua adecuadamente altas (Fennema, 1993).

### 2.11. Las antocianinas, fenoles y capacidad antioxidante en el arándano.

Como ya se sabe las frutas rojas y bayas se caracterizan por su elevado contenido en compuestos fenólicos, antioxidantes tales como lo son los antocianos, los cuales brindan los colores atractivos.

Las antocianinas son glucósidos de antocianidinas, pertenecientes a la familia de los flavonoides, compuestos por dos anillos aromáticos A y B unidos por una cadena de 3 C. Variaciones estructurales del anillo B resultan en seis antocianidinas conocidas (Fig. 5).



**Figura 5:** Estructura general de las antocianinas.

**Fuente:** Durst (2001).

Según (Clifford, 2000) nos dice que generalmente los vegetales frescos se encuentran unidos a azúcares, dando lugar a los antocianos o antocianinas, los cuales son los responsables de los colores azules,

purpuras, rojos y matices de estas coloraciones de frutas rojas como arándanos, cerezas, ciruelas, fresas, frambuesas, zarzamoras y uvas.

Los azúcares más comunes son glucosa, galactosa, ramnosa y arabinosa, normalmente unidos a la posición 3 o a las posiciones 3 y 5, generando diglicósidos (Clifford, 2000). Los antocianos más comunes en las frutas son los 3-monoglucósidos de cianidina, delphinidina, peonidina, pelargonidina y petunidina, la cianidina-3-galactósido y la cianidina-3-arabinósido, los cuales se muestran en la Tabla 5 (Robards *et al.*, 1999).

**Tabla 5:**  
*Sustituyentes de las antocianinas*

Aglicona	Sustitución		Espectro visible $\lambda$ máx. (nm)
	R1	R2	
Pelargonidina	H	H	494 (naranja)
Cianidina	OH	H	506 (naranja-rojo)
Delfinidina	OH	OH	508 (azul - rojo)
Peonidina	OCH3	H	506 (naranja-rojo)
Petunidina	OCH3	OH	508 (azul - rojo)
Malvidina	OCH3	OCH3	510(azul - rojo)

**Fuente:** Durst (2001).

El estudio de los compuestos fenólicos en alimentos constituye una de las ramas de mayor desarrollo en los últimos años, por su importancia en la protección de la salud, mejora de la alimentación, y alta capacidad antioxidante frente a la acción de radicales libres, así, contribuyen en la prevención de enfermedades de origen oxidativo (enfermedades degenerativas, cardiovasculares; algunos tipos de cáncer). (Barreto *et al.*, 2016).

Los compuestos fenólicos constituyen uno de los grupos de micronutrientes presentes en el reino vegetal, siendo parte importante de la dieta tanto humana como animal. Constituyen un amplio grupo de sustancias químicas, considerados metabolitos secundarios de las plantas, con diferentes estructuras químicas y actividad, englobando más de 8.000 compuestos distintos. Estos compuestos tradicionalmente han sido considerados como antinutrientes, debido al efecto adverso de uno de sus componentes mayoritarios, los taninos, sobre la digestibilidad de la proteína. Sin embargo, actualmente se ha despertado un reciente interés por estos compuestos debido a sus propiedades antioxidantes y sus posibles implicaciones beneficiosas en la salud humana, tales como en el tratamiento y prevención del cáncer, enfermedad cardiovascular y otras patologías de carácter inflamatorio. (Valverde *et al.*, 2000).

El contenido de polifenoles de los alimentos puede verse afectado por diversos factores como la exposición a luz, factores ambientales como respuesta a patógenos, temperatura de almacenamiento (a temperatura media las frutas y zumos presentan poca pérdida y son más estables que la vitamina C, a bajas temperaturas no se ven afectados), procesamiento y métodos culinarios (por ejemplo, el pelado de frutas y verduras puede eliminar una parte significativa de polifenoles pues en algunos casos las mayores concentraciones se encuentran en las partes externas del fruto), maduración en el momento de la cosecha, entre otros. En productos alimentarios las actividades antioxidantes pueden verse afectados por muchos factores, tales como la variedad, la madurez, el almacenamiento y el procesamiento propio de los productos. El procesamiento de los

arándanos como por ejemplo en la obtención de pasas secas. Los componentes fenólicos dependen principalmente de las técnicas de procesado, tales como la duración de contacto con la piel, deshidratado y posterior secado. Otros factores, tales como el oxígeno, enzimas y temperatura, también tendrán un impacto en las composiciones fenólicas y actividad antioxidante de los productos de arándanos. (Anticono *et al.*, 2016).

La actividad antioxidante de los distintos grupos de compuestos fenólicos presentes en el arándano es distinta, siendo el orden de mayor a menor el siguiente: flavonoles > antocianos > proantocianidinas > ácido clorogénico. Además, dentro de una misma familia también existen diferencias entre los glicósidos procedentes de la diferentes agliconas (Kahkonen & Heinonen, 2003). Se han realizado numerosos estudios encaminados a encontrar relaciones entre actividad antioxidante del arándano y algunos de sus compuestos fenólicos mayoritarios, como proantocianidinas y antocianos (Prior *et al.*, 2001); (Connor *et al.*, 2002) o flavonoides y antocianos (Sellappan *et al.*, 2002). Sin embargo, las investigaciones más recientes han puesto de manifiesto que la actividad antioxidante correlaciona mejor con el contenido fenólico total que con los distintos grupos de fenoles (Giovanelli & Buratti, 2009) No obstante, los efectos beneficiosos derivados de la actividad antioxidante de los distintos fenoles del arándano sí que pueden ser distintos en función de la estructura química de cada compuesto y actualmente existen diversas investigaciones encaminadas a establecer correlaciones entre la estructura molecular y la

actividad específica de distintos fenoles aislados de los frutos de arándano (Neto, 2007).

## **2.12. Análisis sensorial**

Es una disciplina científica usada para evocar, medir, analizar e interpretar las reacciones a aquellas características de los alimentos que se perciben por los sentidos de la vista, el olfato, el gusto y el tacto, por lo tanto, la evaluación sensorial no se puede realizar mediante aparatos de medida. Su instrumento utilizado son las personas perfectamente entrenadas (Coste., 2000).

### **2.12.1. Aceptabilidad general**

La calidad de un alimento está determinada por diferentes aspectos: cantidad y calidad de los nutrientes que lo contienen y la calidad y seguridad sanitaria. Sin embargo, lo que determinará la aceptación o rechazo del mismo está relacionado con la percepción subjetiva del consumidor, es decir aspectos ligados a la preferencia del color, sabor, textura, consistencia del producto.

La evaluación sensorial es el proceso en el que utilizamos nuestros sentidos (gusto, olfato, tacto, vista) y su aplicación para la determinación de la aceptabilidad de los alimentos (CSIC, 2011).

### **2.12.2. Clasificación de pruebas**

La información sobre los gustos, preferencias y requisitos de aceptabilidad, se obtiene empleando métodos de análisis adaptados a las necesidades del consumidor y evaluaciones sensoriales con panelistas no entrenados. La información sobre las características sensoriales

específicas de un alimento requiere pruebas orientadas al producto. Se pueden clasificar en 2 grupos: pruebas orientadas al consumidor (afectivas) y pruebas orientadas al producto (discriminativas y descriptivas).

a) **Pruebas orientadas al consumidor (afectivas):** Son pruebas subjetivas en las que los jueces expresan su reacción particular ante un producto (si le gusta o le disgusta, si lo acepta o lo rechaza). Las suelen realizar jueces consumidores. Se requieren al menos 30 panelistas. Tipo de pruebas afectivas:

- Pruebas de preferencia: Se trata de conocer si el juez prefiere una muestra sobre otra. Se presentan dos muestras y se le pregunta al juez cual prefiere.
- Pruebas de grado de satisfacción: Se aplican cuando el número de muestras es mayor que 2 o cuando se desea obtener mayor información sobre el producto. Se utilizan escalas hedónicas que pueden ser verbales o gráficas:
- Escalas hedónicas verbales: Los jueces describen la sensación que les produce la muestra entre las posibilidades que se le ofrecen en la escala. La escala más simple es los tres puntos: Me gusta, ni me gusta ni me disgusta, me disgusta. La más empleada es la de nueve puntos que la escala va desde “Me gusta muchísimo” hasta “Me disgusta muchísimo” (CSIC, 2011).
- Escalas hedónicas gráficas: La descripción verbal se sustituye por la elección que los jueces realizan para cada muestra en una escala gráfica

(caritas, fotografías) con puntuaciones equivalentes a la escala verbal (CSIC, 2011).

**b. Pruebas orientadas al producto (discriminativas y descriptivas):** Mide el deseo de una persona de adquirir un producto, además de su preferencia por él y su grado de satisfacción. Se realizan mediante cuestionarios complejos que contienen preguntas sobre el nivel socio-económico cultural del juez. Además de la pregunta sobre su disposición a adquirir el producto evaluado (CSIC, 2011).

### **2.13. Vida Útil**

La vida útil de un alimento se puede definir como el tiempo que transcurre entre la producción/envasado del producto y el punto en el cual se vuelve inaceptable bajo determinadas condiciones ambientales. La finalización de la vida útil de alimentos puede deberse a que el consumo implique un riesgo para la salud del consumidor, o a que las propiedades sensoriales se hayan deteriorado hasta hacer que el alimento sea rechazado. En este último caso la evaluación sensorial es el principal método de evaluación, ya que no existen métodos instrumentales o químicos que reemplacen adecuadamente a nuestros sentidos (Sancho *et al.*, 1999).

### **2.14. Análisis microbiológico**

Los microorganismos constituyen un factor muy importante en las frutas y vegetales procesadas en fresco, así como en la durabilidad de los productos desecados. Las bacterias, levaduras y mohos son responsables de hasta el 15% de la alteración postcosecha. A demás los productos que muestran signos de crecimiento microbiano son desagradables y no

aceptables por el consumidor, también existe pérdida de ablandamiento, sabor y aromas extraños (Muñoz, 2015).

El examen microbiológico de alimentos desecados suele incluir los recuentos de bacterias heterótrofas, mohos y levaduras, bacterias coliformes, *E. coli*, bacterias esporuladas mesofílicas y termofílicas, *Bacillus cereus*, *Clostridium perfringens*, bacterias lácticas, y la presencia o ausencia de *Listeria* y *Salmonella*, según el tipo de producto analizado y el destino del mismo.

#### **2.14.1. Mohos y levaduras**

Los hongos y las levaduras se encuentran ampliamente distribuidos en el ambiente, pueden encontrarse como flora normal de un alimento, o como contaminantes en equipos mal sanitizados. Ciertas especies de hongos y levaduras son útiles en la elaboración de algunos alimentos, sin embargo, también pueden ser causantes de la descomposición de otros alimentos. Debido a su crecimiento lento y a su baja competitividad, los hongos y levaduras se manifiestan en los alimentos donde el crecimiento bacteriano es menos favorable. Estas condiciones pueden ser bajos niveles de pH, baja humedad, alto contenido en sales o carbohidratos, baja temperatura de almacenamiento, la presencia de antibióticos, o la exposición del alimento a la irradiación. Por lo tanto, pueden ser un problema potencial en alimentos lácteos fermentados, frutas, bebidas de frutas, especias, oleaginosas, granos, cereales y sus derivados y alimentos de humedad intermedia como las mermeladas, cajetas, especias, etc.

El término moho se suele aplicar para designar a ciertos hongos filamentosos multicelulares cuyo crecimiento en la superficie de los



alimentos se suele reconocer fácilmente por su aspecto aterciopelado o algodonoso, a veces pigmentado. Generalmente todo alimento enmohecido se considera no apto para el consumo. La identificación y clasificación de los mohos se basa en observaciones macroscópicas y microscópicas.

El término levadura se refiere a aquellos hongos que generalmente no son filamentosos, sino unicelulares y de forma ovoide o esferoide, y que se reproducen por gemación o por fisión. Las levaduras que se encuentran en los alimentos pueden ser benéficas o perjudiciales. Las levaduras se utilizan en la elaboración de alimentos como el pan, la cerveza, vinos, vinagre y quesos, también se utilizan en la obtención de enzimas y alimentos fermentados. Las levaduras son perjudiciales cuando producen la alteración del sauerkraut, de los zumos de frutas, de los jarabes, de la melaza, de la miel, de las carnes, del vino, de la cerveza y de otros alimentos. Los caracteres morfológicos de las levaduras se determinan mediante su observación microscópica. Su forma puede ser desde esférica a ovoide, alimonada, piriforme, cilíndrica, triangular e incluso alargada. La mayoría se reproducen asexualmente por gemación multicelular o por gemación polar. Unas pocas especies se reproducen por fisión. En los cultivos en placas de agar es difícil diferenciar las colonias de levaduras de las colonias bacterianas; la observación microscópica de los microorganismos es la única forma segura de diferenciarlas. La mayoría de las colonias jóvenes de levaduras son húmedas y algo mucosas; la mayoría de las colonias son blancuzcas, aunque algunas tienen un color crema o rosado. Son oxidativas, fermentativas, o bien su actividad metabólica es a la vez de ambos tipos.

La mayoría de las levaduras crecen mejor con un alto contenido de humedad. No obstante, crecen mejor que la mayoría de las bacterias en sustratos que contienen elevadas concentraciones de solutos (por ejemplo, carbohidratos o cloruro de sodio), es decir son osmotolerantes. Sin embargo, la mayoría de las levaduras necesitan mayor humedad que los mohos. Para la mayoría de las levaduras la  $a_w$  mínima de crecimiento oscila entre 0.88 y 0.94. El intervalo de temperaturas de crecimiento es parecido al de los mohos, con una temperatura óptima en torno a los 25 a 30°C y una temperatura máxima en torno a los 35 a 47°C. Crecen mejor en aerobiosis, aunque las especies de tipo fermentativo son capaces de crecer, aunque lentamente, en anaerobiosis. Los azúcares son la fuente energética más apropiada para las levaduras, aunque las oxidativas, pueden oxidar los ácidos orgánicos y el alcohol. (Camacho *et al.*, 2009).

#### **2.14.1.1. Principales factores que afectan el crecimiento de Mohos y levaduras.**

- ***Nutrientes.***

Con respecto a los nutrientes presentes en el alimento, el mayor o menor contenido en proteínas, en azúcares y otros nutrientes va a determinar cuál es el tipo de microorganismos capaz de crecer en el alimento. La presencia de vitaminas, aminoácidos, etc. va a permitir el crecimiento de algunos microorganismos más exigentes, a nivel nutricional. De manera general los hongos constituyen el grupo de microorganismos nutricionalmente menos exigentes, seguido de las levaduras y estas de las bacterias.

- ***pH.***

El pH es una medida de la acidez de un alimento, conviene referir que el pH afecta no sólo al crecimiento microbiano en los alimentos también a su tasa de supervivencia durante el almacenamiento y los diversos tratamientos de conservación.

- ***Temperatura.***

La temperatura es uno de los factores más relevantes en el crecimiento de los microorganismos. Y si pensamos en la seguridad alimentaria acaba siendo el más importante de todos. En lo que respecta a las toxiinfecciones de origen alimentario, la utilización temperatura inadecuada durante el procesado de los alimentos se apunta como la principal causa de toxiinfecciones. (Camacho *et al.*, 2009).

- ***Crecimiento de mohos y levaduras en el arándano.***

Los arándanos, dado su bajo valor de pH, son muy susceptibles al deterioro microbiológico por mohos y levaduras. Así, los resultados de (Tournas & Katsoudas, 2005) informan que 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.

Los mohos y levaduras pueden causar problemas a través de: síntesis de metabolitos tóxicos (micotoxinas), resistencia al calor, congelamiento, antibióticos o irradiación y habilidad para alterar sustratos no favorables permitiendo el crecimiento de bacterias patógenas (Huera, 2014).

El recuento de mohos y levaduras en pasas de arándano se usa para determinar si un producto apertizado tiene un alto número de hifas de mohos o levaduras por campo microscópico. Si hay una cantidad excesiva de mohos y levaduras, indica pobre selección del producto crudo.

Los Parámetros Microbiológicos según el (Huera, 2014)

- Levaduras: máximo 1000 UFC/gr.
- Mohos: menor de 100 UFC/gr.

Organismo y empresa que colaboraron en la confección del presente

Protocolo, en el año 2006:

- Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria
- Lomas del Sol SRL

### **III. MATERIALES Y METODOS**

#### **3.1. Materiales**

##### **3.1.1. Materia Prima.**

- Como materia prima se utilizó arándanos (*Vaccinium corymbosum L.*), de variedad Biloxi, de tamaño uniforme (11-16 mm de diámetro), provenientes del descarte de la fruta fresca de exportación de la empresa CAMPOSOL, esta empresa recolectó el fruto en los meses de enero abril 2017 del fundo “Yakuy Minka”, ubicada en el distrito de Chao, perteneciente a la provincia de Virú.

##### **3.1.2. Reactivo (Pre Tratamiento)**

- Se utilizó lentejas de NaOH (1.5%) las cuales se prepararon a temperatura de ebullición.

##### **3.1.3. Agente Osmótico**

- Se utilizó sacarosa (azúcar rubia) de grado comercial 98 % de pureza mínima, la cual se adquirió en el mercado local.

##### **3.1.4. Materiales y equipos empleados en el pre tratamiento**

- Cocina eléctrica.
- Vaso precipitado (500 ml).
- Tela.
- Colador.
- Placa Petri.
- Agua destilada.
- Balanza Analítica Modelo: LX 220A Marca: Precisa.

##### **3.1.5. 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: Precisa
- Refractómetro Digital Marca Rudolph Research Analytical – Modelo J157
- Estufa Eléctrica –Marca P-Selecta
- Deshidratador osmótico
- Baño María termorregulador.
- Agitador Mecánico homogeneizador Modelo RW20 Marca IKA.

### **3.1.6. Materiales y equipos empleados en la etapa de Secado**

- Papel toalla.
- Alcohol.
- Fuentes.
- Balanza Analítica Modelo: LX 220A Marca: Precisa.
- Secador de bandejas Bhagwati Machtech Td-12/24/48/96/112

### **3.1.7. Reactivos para análisis de antioxidantes, antocianinas y fenoles.**

- Metanol de grado HPLC. Marca Merck.
- Ácido Gálico (ácido 3,4,5-trihidroxibenzoico) Marca Merck.
- Folin-Ciocalteu (FCR) Marca Merck.
- Trolox (6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid) Marca Merck.
- DPPH (Radical libre 2,2 – Difetil -1 – Picrihidracil) Marca Merck.
- Acetato de Sodio 0.025 M Marca Merck.

- Cloruro de Potasio 0.4 M. Marca Merck.
- Agua ultra pura.

### **3.1.8. Equipo experimental para la etapa de vida útil.**

- Incubadora.

Marca P-Selecta, que permite establecer las temperaturas de interés (40°C, 50°C y 60°C)  $\pm$  1°C; cuenta con el espacio suficiente para colocar las muestras de pasas de arándano que deben tomarse periódicamente para el análisis de pH, Acidez, °Brix y Pérdida de Peso de las pasas. Cabe mencionar que se emplearon 3 incubadoras para las tres temperaturas seleccionadas y en cada una ellas se colaron 6 bolsitas contiendo las pasas de arándano con un peso aproximado de 18gr.

- Peachímetro. Marca Termocientific Orion Star Modelo A211.
- Equipo de titulación potenciométrico. (PeachimetroMarca Orion Star Modelo A211).
- Balanza Analítica Modelo: LX 220A Marca: Precisa
- Refractómetro Digital Marca Rudolph Research Analytical – Modelo J157

## **3.2.Métodos**

### **3.2.1. Diseño y características de la muestra**

La fruta recibió un pre tratamiento químico que se realizó con un tiempo de inmersión de 5 segundos a temperatura de ebullición, a una concentración de soda de 1.5%, luego las muestras fueron lavadas con agua fría para evitar la sobre cocción y poder eliminar todo tipo de residuo químico. Luego, la fruta fue sometida a un deshidratado osmótico, en un equipo deshidratador casero, por un tiempo de 5 horas, usando como medio osmótico a la sacarosa, en esta etapa de ósmosis cada cierto

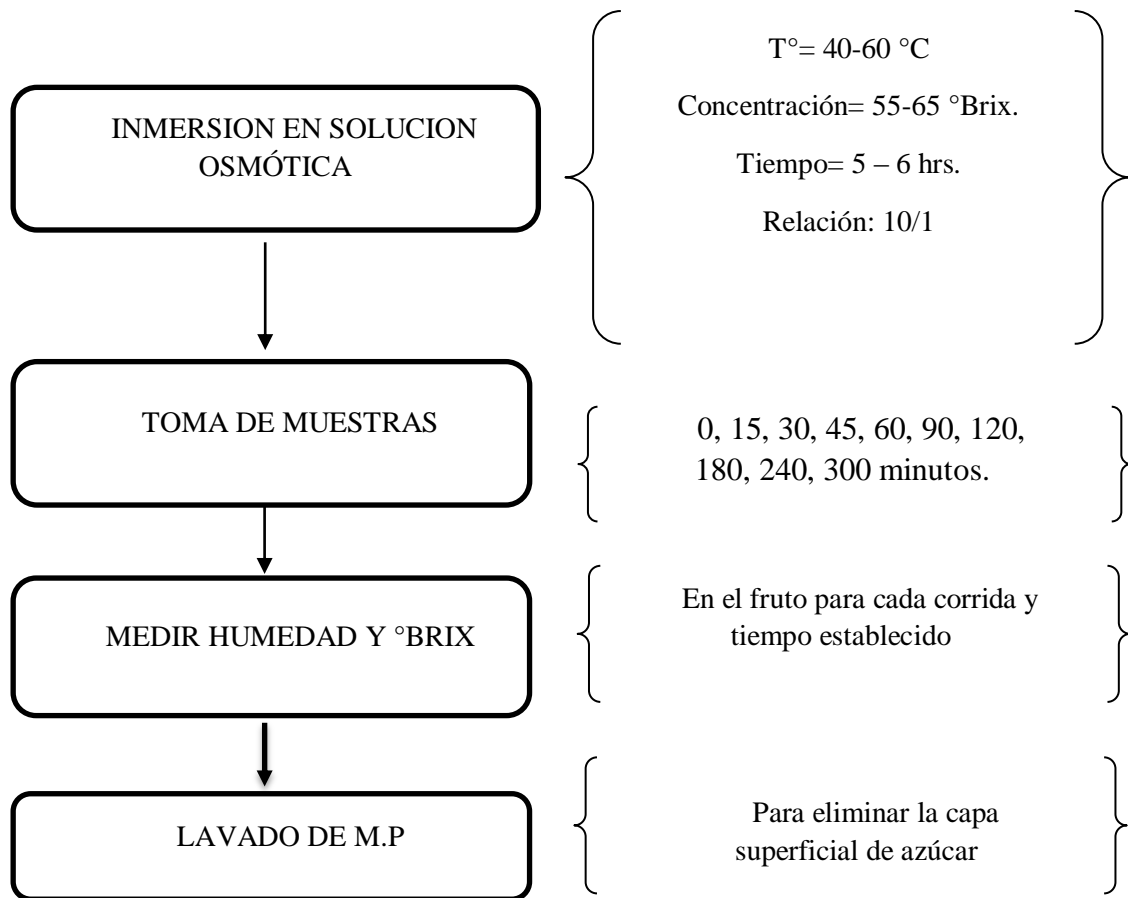
tiempo se determinó humedad y °Brix en la fruta. Finalmente, las muestras fueron secadas en un secador de bandejas a condiciones similares para todos los tratamientos por 10 horas a 55°C con recirculación de aire del 50%. Al finalizar esta etapa al mejor tratamiento (con las condiciones óptimas) se le realizó el análisis proximal correspondiente, fenoles totales, antocianinas totales y capacidad antioxidante, tiempo de vida útil y por último se terminó con un análisis microbiológico.

### **3.2.2. Método para determinar la cinética de deshidratación osmótica.**

Se utilizó una solución osmótica (sacarosa) la cual fue obtenida del mercado local, esta solución de sacarosa con °Brix estipulados en la Tabla 6, se prepararon a partir de sacarosa pura, diluyéndola en agua destilada. Se realizó una relación en peso (solución hipertónica/ arándanos) de 10:1 para minimizar los cambios en la concentración de la solución durante el proceso. Previo a la deshidratación osmótica, los arándanos se sometieron a un proceso de pre tratamiento químico con una solución de soda caliente (NaOH 1.5% en peso a ebullición por 5 segundos) y luego se sometió a un enjuague con agua destilada. El exceso de agua superficial se eliminó con papel absorbente. Los arándanos y la solución osmótica se colocaron en un recipiente en un baño de agua termostatzado a diferentes temperaturas (Tabla 7). El recipiente cuenta con un sistema de agitación que asegura la uniformidad de la temperatura y la concentración de la solución hipertónica en la que se sumergieron los arándanos. Se fueron retirando los arándanos a diferentes tiempos, se enjugaron con agua para eliminar el exceso de solución superficial y se secaron con papel absorbente. En cada muestra se procedió a realizar sus análisis como determinación de humedad y el contenido de sólidos solubles (°Brix) correspondientes al tiempo de muestreo. Estas pruebas se realizaron en el deshidratador osmótico adaptado para las pruebas



anteriormente mencionadas. A continuación, en la Fig. 6 se muestra el diagrama de flujo de la deshidratación osmótica.



**Figura 6:** Diagrama de flujo de la deshidratación osmótica

En la Fig. 7 se muestra el equipo deshidratador osmótico, que consistió de un tanque agitado homogenizador, sumergido en un baño maría.



**Figura 7:** Equipamiento para la deshidratación osmótica

### 3.2.3. Procedimiento detallado para la toma de muestras.

A continuación, se detalla el procedimiento utilizado en la toma de muestras:

En la Tabla 6 se visualiza el número de muestras que se midieron en cada hora, de este modo tenemos que en la 1er hora se tomaron 5 muestras cada 15 minutos, es decir a diferentes tiempos: 0, 15, 30,45 y 60 min. En la 2<sup>da</sup> hora se tomaron 2 muestras, esta vez cada media hora, a diferentes tiempos: 90 y 120 min. A partir de la 3<sup>era</sup>, 4<sup>ta</sup> hora y 5<sup>ta</sup> hora, sólo se tomaron una muestra por cada hora, es decir a los tiempos: 180, 240 y 300min (5h).

**Tabla 6:**  
*Numero de muestras a medir por cada hora*

Tiempo (h)	Nº de muestras por cada hora
1 <sup>era</sup> hora	5
2 <sup>da</sup> hora	2
3 <sup>era</sup> hora	1
4 <sup>ta</sup> hora	1
5 <sup>ta</sup> hora	1

En la Tabla 7, se visualiza el número de muestras que fueron medidas en el transcurso de las 5 horas de deshidratación osmótica, de este modo en 1 hora tuvimos 5 muestras medidas, a las 2 horas tuvimos 7 muestras medidas, a las 3 horas tuvimos 8 muestras medidas, y a las 4 horas tuvimos 9 muestras, al final de las 5 horas obtuvimos 10 muestras medidas en general.

**Tabla 7:***Numero de muestras medidas en 5 horas de osmodeshidratación*

Tiempo (horas)	N° de muestras medidas
1	5
2	7
3	8
4	9
5	10

En la Tabla 8 se muestra el número de corridas experimentales las cuales fueron 11, para cada corrida tuvimos condiciones específicas de temperatura (°C) y concentración de solución osmótica (°Brix), que fueron variando desde  $T_1$  y  $C_1$  hasta  $T_{11}$  y  $C_{11}$ . En la cuarta columna tenemos las condiciones experimentales representadas por “ $T_i C_j$ ”.

**Tabla 8:***Corridas experimentales del diseño experimental*

Corrida Experimental	T (°C)	Cc (°Brix)	$T_i C_j$
1	$T_1$	$C_1$	$T_1 C_1$
2	$T_2$	$C_2$	$T_2 C_2$
3	$T_3$	$C_3$	$T_3 C_3$
4	$T_4$	$C_4$	$T_4 C_4$
5	$T_5$	$C_5$	$T_5 C_5$
6	$T_6$	$C_6$	$T_6 C_6$
7	$T_7$	$C_7$	$T_7 C_7$
8	$T_8$	$C_8$	$T_8 C_8$
9	$T_9$	$C_9$	$T_9 C_9$
10	$T_{10}$	$C_{10}$	$T_{10} C_{10}$
11	$T_{11}$	$C_{11}$	$T_{11} C_{11}$

En la Tabla 9, se muestra la primera corrida experimental, en donde se tomaron muestras de acuerdo a los tiempos establecidos, se hicieron tres repeticiones, es decir se sacaron 5 unidades de arándanos, que fueron analizados para los diferentes tiempos establecidos, sólo se trabajó con los promedios de dichas muestras. En general para la primera condición experimental T<sub>1</sub>C<sub>1</sub> obtuvimos 10 datos de humedad y 10 datos de °Brix.

**Tabla 9:**  
*Resumen de la primera corrida experimental*

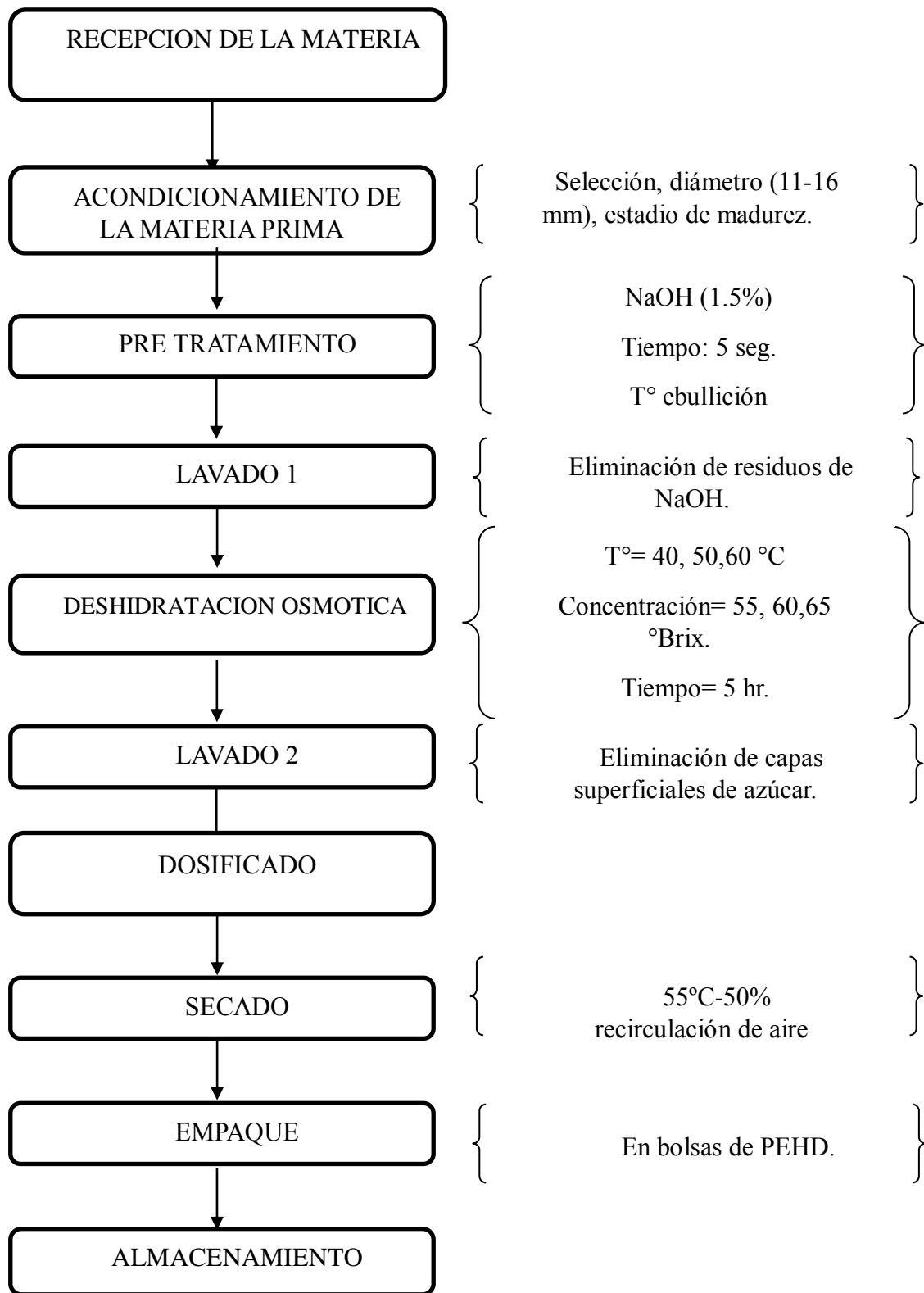
Condición experimental	tiempos por hora	Tiempos para la toma de muestras en minutos	Mediciones de Humedad y °Brix en la fruta
T <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	En la 1 <sup>era</sup> hora se tomaron muestras cada 15 min	0	H <sub>1</sub> °Brix <sub>1</sub>
		15	H <sub>2</sub> °Brix <sub>2</sub>
		30	H <sub>3</sub> °Brix <sub>3</sub>
		45	H <sub>4</sub> °Brix <sub>4</sub>
		60	H <sub>5</sub> °Brix <sub>5</sub>
	En la 2 <sup>da</sup> hora tomaron muestras cada 30 min	90	H <sub>6</sub> °Brix <sub>6</sub>
		120	H <sub>7</sub> °Brix <sub>7</sub>
		En la 3 <sup>era</sup> 4 <sup>ta</sup> y 5 <sup>ta</sup> hora tomaron muestras cada hora	180
	240		H <sub>9</sub> °Brix <sub>9</sub>
	300	H <sub>10</sub> °Brix <sub>10</sub>	

Para cada tiempo de la toma de muestras (0,15,30,45,60,90,120,180,240,300 min) se emplearon recipientes que contuvieron medio osmótico y arándano fresco, es decir no se emplearon un solo recipiente con fruta y medio osmótico, ya que constantemente estuvimos sacando muestras para analizarlas, y ello lógicamente alteró la concentración de la solución.

El mismo procedimiento se realizó para las siguientes corridas experimentales T<sub>2</sub>C<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>C<sub>3</sub>, T<sub>4</sub>C<sub>4</sub>, T<sub>5</sub>C<sub>5</sub>, T<sub>6</sub>C<sub>6</sub>, T<sub>7</sub>C<sub>7</sub>, T<sub>8</sub>C<sub>8</sub>, T<sub>9</sub>C<sub>9</sub>, T<sub>10</sub>C<sub>10</sub>, T<sub>11</sub>C<sub>11</sub>. Se trabajó 10 veces por separado para cada corrida experimental, con la finalidad de obtener datos más exactos.

#### **3.2.4. Diagrama de flujo para la deshidratación osmótica y secado del arándano.**

A continuación, se muestra la Fig. 8, donde se aprecia el diagrama de flujo para el proceso de deshidratación osmótica y secado del arándano.



**Figura 8:** Diagrama de flujo para la deshidratación osmótica y secado del arándano

### 3.2.5. Descripción de los procesos para la deshidratación osmótica y secado del arándano

A continuación, procedemos a describir el diagrama de flujo de la Fig.8:

- **Recepción de la materia prima:** los arándanos (*Vaccinium corymbosum* L.) provenientes del descarte de la fruta fresca de exportación, de la empresa CAMPOSOL llegaron a nuestras manos en cajas.

- **Acondicionamiento de la materia prima:** Una vez hecho la recepción de la materia prima, se procedió a seleccionar teniendo en cuenta que tengan un mismo estadio de madurez y un mismo tamaño, por lo que se trabajó con un diámetro equivalente (11-16 mm), además se tuvo en cuenta que no presenten abrasiones en la cascara, ni daño causado por insectos ni contaminación causada por microorganismos. El rol de esta operación fue uniformizar la materia prima para estandarizar todas las operaciones del proceso. Luego se procedió a lavar y desinfectar la materia prima, posteriormente fueron envasadas y almacenadas en congelación, hasta el momento de su utilización (con periodos máximos de tres a cuatro meses) como se muestra en los ensayos de deshidratación osmótica.

- **Pre tratamiento:** en esta etapa se realizó un pre tratamiento químico a la fruta, la cual consistió en sumergir al producto por 5 segundos a temperatura de ebullición, a una concentración de soda (hidróxido de sodio) de 1.5%.

- **Lavado 1:** fue fundamental el lavado con agua fría después de realizar el pre tratamiento químico para evitar la sobre cocción y para eliminar todo residuo químico.

- **Preparación de la solución osmótica:** se preparó una solución de sacarosa según indica el ensayo del experimento (Tabla 10). La cantidad de solución se determinó en la práctica, la cual llegó a las temperaturas del ensayo en el baño

termoregulado. Antes de comenzar el experimento, se verificó la concentración de la solución (°Brix) y fue necesario corregir hasta llegar al valor nominal exigido.

- **Deshidratación osmótica:** aquí la fruta fue sumergida en la solución osmótica (sacarosa) por un tiempo de 5 horas, en esta etapa se dio comienzo al proceso en la cual se van tomando muestras a los: 0, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240, 300 minutos. Con estas muestras se determinaron humedad y °Brix en la fruta.

- **Lavado 2:** el producto deshidratado por 5 horas fue lavado con agua destilada para eliminar la capa superficial de azúcar.

- **Dosificado:** los arándanos fueron dosificados en bandejas de metal para su posterior secado con aire caliente.

- **Secado:** en esta etapa se realizó el proceso de secado por un tiempo estándar de 10h en un secador de bandejas a 55°C bulbo seco, 40°C bulbo húmedo, aire con 50% de recirculación, aquí medió la humedad y la actividad de agua, así como se tomaron muestras para verificar la pérdida de peso. Además, al finalizar el proceso se realizaron los respectivos análisis establecidos (Vida útil, análisis microbiológico, etc.)

En los laboratorios de la UNS (EAPIA) y en el área de operaciones unitarias del instituto de investigación de tecnología agroindustrial (IITA) se llevaron a cabo las corridas experimentales, así como los análisis posteriores al proceso de osmodeshidratación y secado del arándano.

- **Empaque:** Se procedió a empacar los arándanos deshidratados en bolsas de PEHD, para sus posteriores análisis correspondientes.



### **3.2.6. Diseño factorial completo $3^K$**

Este diseño es una variación del diseño  $2^K$  y son muy útiles cuando se tiene todos los factores que actúan a través niveles. En los últimos años se ha observado un creciente interés por este diseño.

Este es un diseño que consta de k factores con tres niveles cada uno. Los factores y las interacciones se representan mediante letras mayúsculas. Los tres niveles de los factores pueden referirse como nivel inferior, intermedio y superior. Estos niveles se representan mediante los dígitos -1 (nivel inferior), 0 (intermedio) y 1 (superior).

### **3.2.7. Metodología de superficies de respuesta**

La metodología de superficies de respuestas es un conjunto de técnicas matemáticas y estadísticas utilizadas para modelar y analizar problemas en los que una variable de interés es influenciada por otras. El objetivo es optimizar la variable de interés (Rodriguez & Lemma, 2005).

Esto se logra al determinar las condiciones óptimas del sistema.

- **Factores:**

Son las condiciones de proceso que influyen la variable de respuesta. Estos pueden ser cuantitativos o cualitativos.

- **Respuesta:**

Es una cantidad cuyo valor se ve afectado al cambiar los niveles de los factores. El interés principal de optimizar este valor.

### **3.2.8. Diseño experimental para la deshidratación osmótica**

Se utilizó un Diseño Factorial Completo  $3^k$  con dos variables independientes (Temperatura y Concentración de la solución osmótica) y como variables dependientes la humedad y los °Brix en la pulpa del fruto. Este diseño contempla 11

tratamientos de los cuales 9 corresponden a un diseño factorial  $3^2$  y 2 tratamientos a los puntos centrales. El diseño ha sido aleatorizado, en la tabla 10 podemos observar los valores utilizados en el diseño factorial completo  $3^k$ .

**Tabla 10:**  
*Niveles de factores*

VARIABLES	NIVELES		
	-1	0	1
Temperatura (°C)	40	50	60
Concentración de la Sol. Osmótica (°Brix)	55	60	65

La tabla 11 muestra el diseño experimental para la deshidratación osmótica, en donde se puede apreciar las variables independiente decodificadas y codificadas las cuales se obtienen al emplear el diseño de superficie respuesta, empleando el diseño compuesto central:  $3^2$ +estrella con 2 puntos centrales.

**Tabla 11:***Matriz decodificada y codificada del diseño experimental para la deshidratación osmótica*

---

Tratamiento	Variables			
	Decodificadas		Codificadas	
	T(°C)	C(°Brix)	T(°C)	C(°Brix)
1	-1	1	50	60
2	0	0	55	55
3	0	0	60	65
4	0	-1	40	60
5	-1	-1	50	60
6	1	1	50	65
7	0	1	60	60
8	1	0	40	65
9	0	0	40	55
10	-1	0	50	60
11	1	-1	60	55

---

### **3.2.9. Métodos de caracterización de materia prima**

A los arándanos se le determinaron humedad, actividad de agua, sólidos solubles, pH, % acidez, cenizas, proteínas, color, grasa y textura. Se logró caracterizar la muestra antes de la osmodeshidratación y después del secado.

Las mediciones que se realizaron fueron:

#### **3.2.9.1. Determinación de humedad.**

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

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

Dónde:

%H: Humedad en porcentaje de masa.

P<sub>m</sub>: Peso de la muestra.

P<sub>f</sub>: Peso final de la placa con la muestra.

P<sub>i</sub>: Peso de la placa vacía.

- Procedimiento

1. Pesar alrededor de 5 g de la muestra previamente molida.
2. Colocar la muestra en una estufa a 105°C por un mínimo de 12 h.
3. Dejar enfriar la muestra en un desecador.
4. Pesar nuevamente cuidando de que el material no este expuesto al medio ambiente.

#### **3.2.9.2. Determinación de sólidos solubles.**

Para la medición de sólidos solubles se empleó el método refractométrico AOAC 932.12 y se realizó la lectura en un refractómetro digital marca Rudolph Research J157 Automatic.

### **3.2.9.3. Determinación de pH por el método potenciométrico.**

Se empleó el método potenciométrico 981.12 de la (AOAC, 2005)

### **3.2.9.4. Determinación de Acidez.**

Se calculó a través de titulación potenciométrica con NaOH 0,1 N hasta alcanzar pH 8,3. El resultado se expresó como porcentaje de ácido cítrico (AOAC, 1995).

### **3.2.9.5. Determinación de cenizas.**

Se empleó el método según AOAC 15 th Edition, 1995.

### **3.2.9.6. Determinación de color.**

Determinación del color se realizó por el método de Cielab siguiendo la metodología propuesta por Minolta, 2013.

### **3.2.9.7. Determinación de la textura.**

Se utilizó un Analizador de Textura marca Brookfield, modelo CT3, a una temperatura ambiente de aproximadamente 20°C, siguiendo el método AOAC 74-10A (2000).

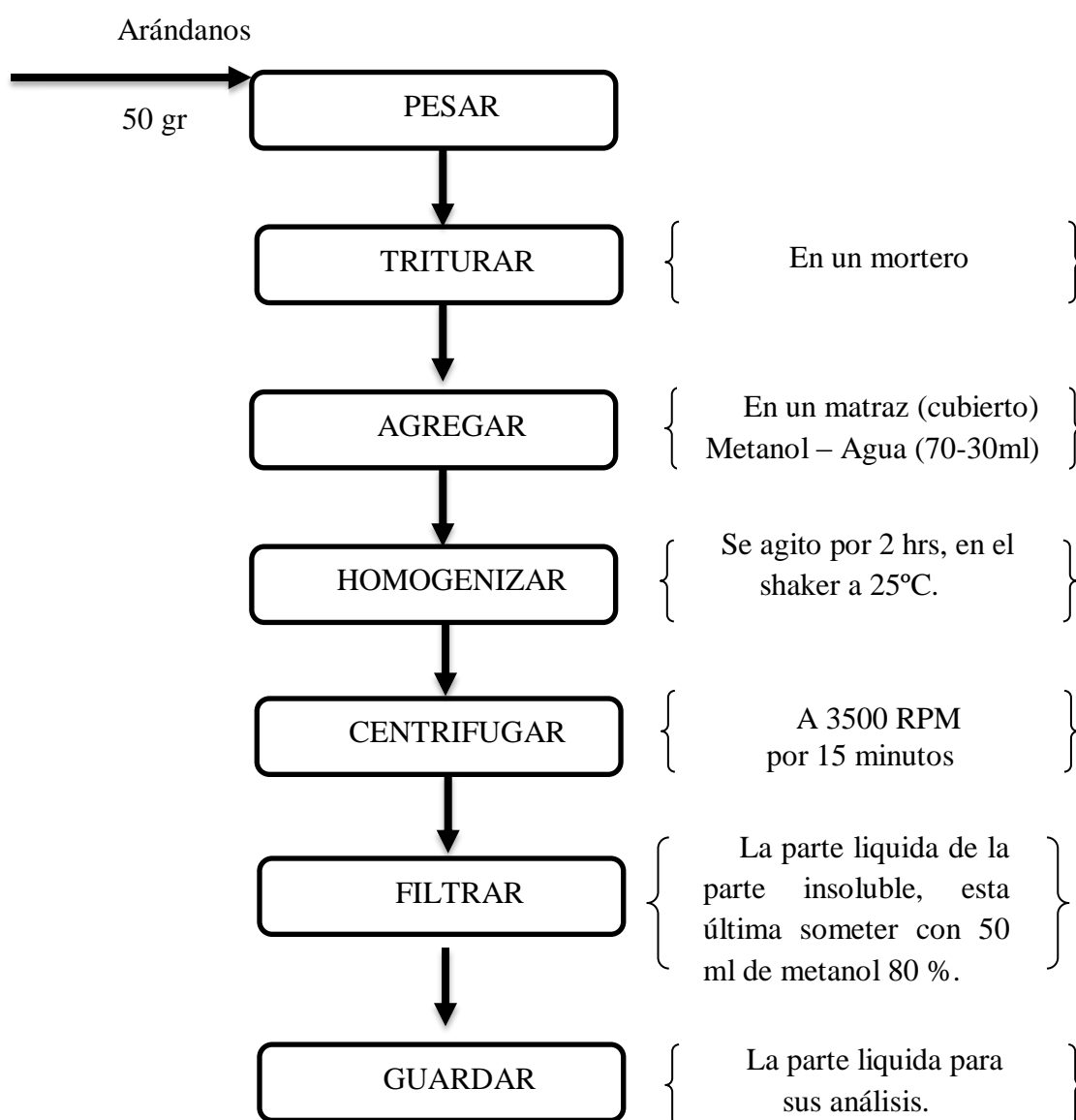
## **3.2.10. Método para obtener las muestras para la determinación de Antocianinas Totales, Fenoles Totales y Capacidad Antioxidante**

Para obtener la muestra se utilizó el sistema de extracción mezcla de Metanol – agua (70 -30).

Como se muestra en la Fig. 9, se pesaron 50 g de arándanos, se molieron en un mortero, luego se colocaron en un matraz, previamente cubierto con papel aluminio para evitar el paso de luz, y se aforaron a 100 mL de disolvente. Se procedió a cerrar herméticamente y se mantuvo en agitación a 25°C por 2 h. Luego de esas 2 h, acto seguido se procedió a centrifugar el extracto. El extracto que se obtiene después de esta operación se filtró tres veces, la primera con manto de cielo, la segunda se llevó

acabo haciéndole pasar al extracto por papel Whatman del N° 04, posteriormente se filtró con papel Whatman del N°01. En la Fig. 9, presentamos el diagrama de flujo de la extracción.

Al mejor tratamiento se realizó los siguientes análisis: determinación de antocianinas totales por el método de pH diferencial, fenoles totales por el método del reactivo folin y determinación de la actividad antioxidante por el método DPPH.



**Figura 9:** Diagrama de flujo del método de obtención de muestra para la determinación de AT, F.T. y C.A.

### 3.2.11. Determinación de antocianinas totales.

Para determinar la cantidad de antocianinas totales (AT) se utilizó el método de pH diferencial. Este método permite la estimación alternativa del contenido de antocianinas totales. Se determinó el contenido total de antocianinas aplicando la metodología descrita por (Giusti & Wrolstad, 2001). Se preparó un buffer a pH 1.0 de Cloruro de Potasio 0.025 M y otro a pH 4.5 de Acetato de Sodio 0.4 M. Dos tubos, con 1 ml del extracto cada uno, se aforó con 9 ml de los buffers respectivos. Se tomaron lecturas de absorbancia en un espectrofotómetro UV-visible a 510 y 700 nm y se empleó la fórmula para obtener la absorbancia. En la Fig. 10, se muestra el diagrama de flujo para la determinación de antocianinas totales.

$$A = ((A_{510} - A_{710}) * pH\ 1 - (A_{510} - A_{710}) * pH\ 4.5)$$

Para obtener el contenido de antocianinas se utiliza:

$$A = \frac{A * 1000 * PM * FD}{E * L}$$

Dónde:

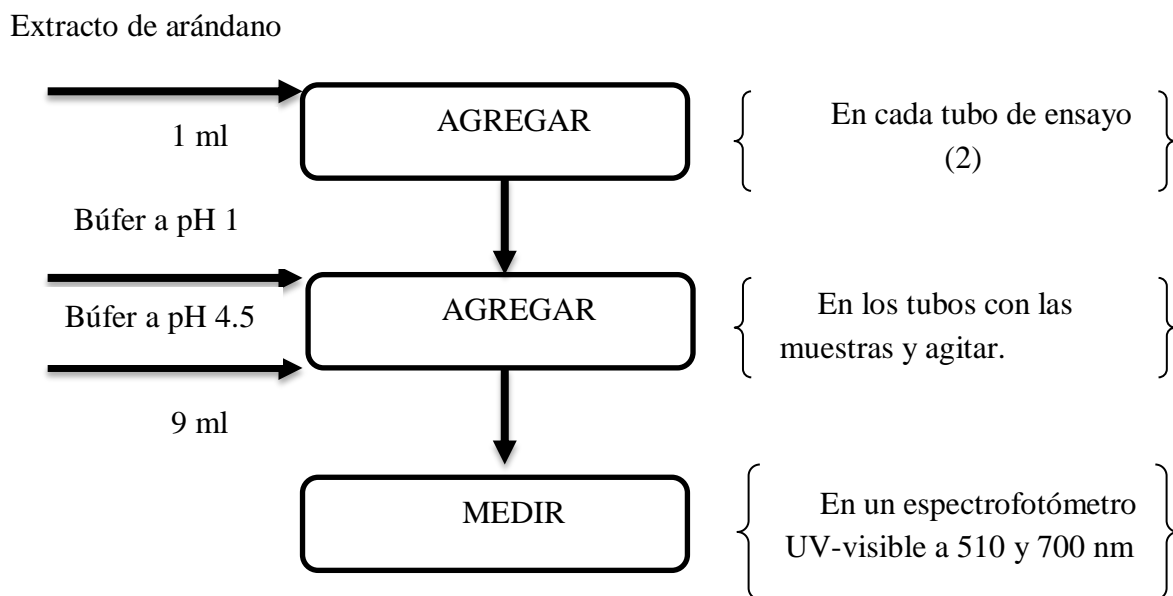
A= Absorbancia PM = Peso molecular para cianidina 3 glucósido (449,2)

FD = Factor de dilución (10)

E = Absortibilidad molar para cianidina 3 glucósido (26900)

L = Longitud de la celda (1)

Los datos se expresaron como mg de cianidina /100 g de peso fresco.



**Figura 10:** Diagrama de flujo de la determinación de antocianinas totales por el método de pH diferencial.

### 3.2.12. Determinación de fenoles totales.

La determinación de los compuestos fenólicos se realizó por el método analítico del reactivo Folin-Ciocalteu, aplicando la metodología descrita por (Barberan *et al.*, 2001). El método consistió en añadir a cada tubo por triplicado, 2.5 ml de reactivo de Folin-Ciocalteu 1/10 (100 mL de Folin-fenol + 900 mL de H<sub>2</sub>O ultra pura). A continuación, se añadieron 200 µL del extracto de arándano en cada etapa, se agito y se dejó reposar por 5 minuto, la reacción se paraba con la adición de 2 mL de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, y se volvió a agitar, luego se dejó reposar por 90 minutos, para posteriormente hacer las lecturas en el espectrofotómetro, donde la absorbancia producida por la coloración azul se media a 760 nm.

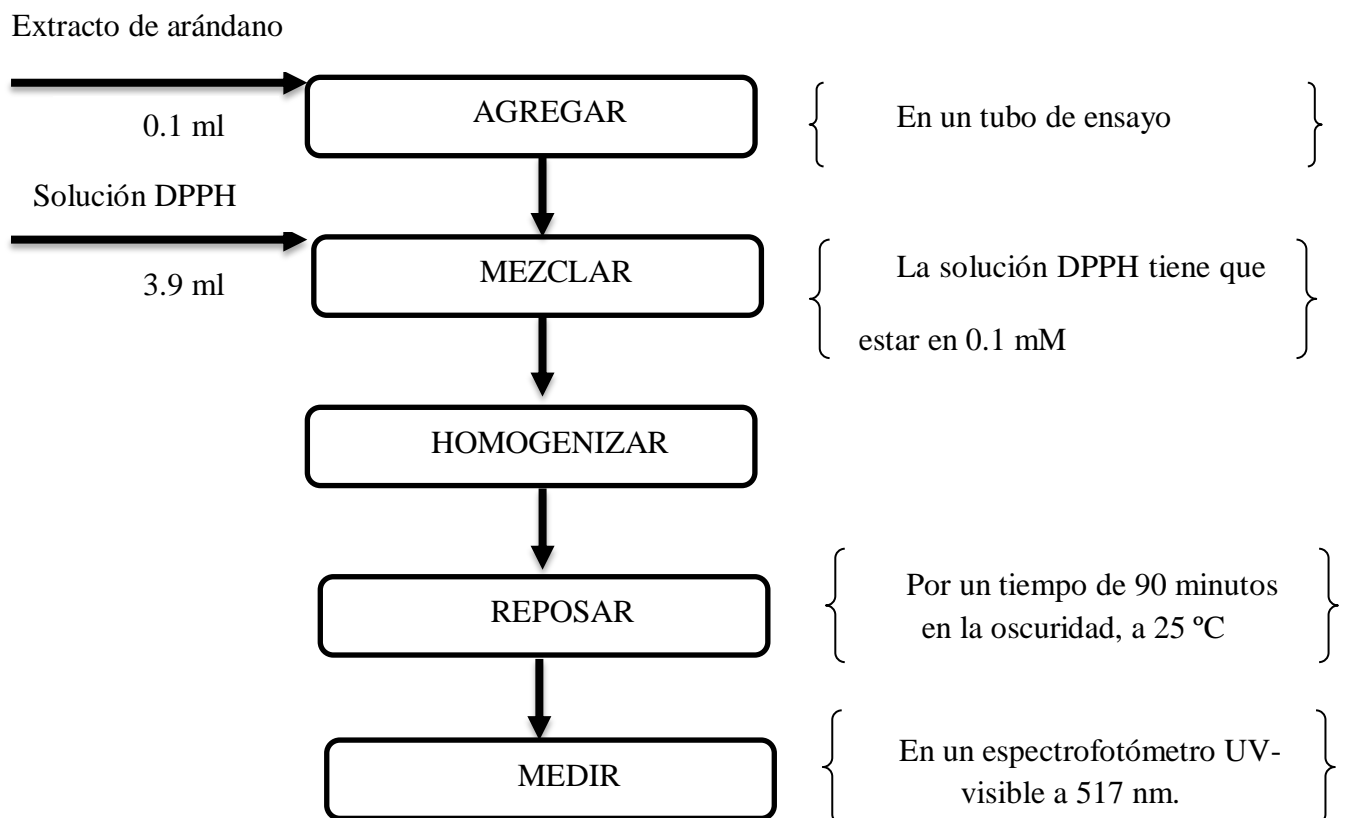
Los valores obtenidos a través de las absorbancias se introdujeron en la curva de calibrado, para la cual se usó como patrón al ácido gálico.

El contenido de fenoles totales se determinó como los equivalentes de ácido gálico GAE, mg de ácido gálico/100 g de extracto, y los valores se presentan como la media de los datos del análisis llevado a cabo por triplicado.



### 3.2.13. Determinación de la actividad antioxidante.

Se empleó el método AOAC Método Oficial 2012.04, empleando el método DPPH, el efecto antioxidante de las muestras sobre el radical estable 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH) se evalúa de la siguiente manera (Fig.11), 0.1 ml de la muestra se procede a mezclar con 3.9 ml de una solución 0,1 mM del radical DPPH, se homogeniza y dejan en reposo por 90 minutos en la oscuridad a 25 °C, transcurrido el tiempo se procede a medir la absorbancia a 517 nm en el espectrofotómetro UV-Vis. La capacidad antioxidante se expresará de la siguiente manera:  $\mu\text{mol TE}/100 \text{ gr}$  de muestra, los valores se presentan como la media de los datos del análisis llevado a cabo por triplicado.



**Figura 11:** Diagrama de flujo de la determinación de la actividad antioxidante por el método de DPPH

Se empleó el método AOAC Método Oficial 2012.04

**3.2.13.1. Preparación de soluciones para la determinación de la actividad antioxidante.**

**a) Preparación de solución DPPH**

Se preparó la solución a 0.1mM, para eso se pesó 16,0 mg DPPH, se transfirió a un matraz de 500 ml., se agregó 200 ml de metanol de grado HPLC. Se rodeó el matraz con papel de aluminio para proteger solución de la luz. Se añadió una barra de agitación magnética y se dejó agitar por un tiempo de 20 minutos hasta que se disuelva todo DPPH. Después que el DPPH se ha disuelto completamente, se añadió agua ultra pura (200 ml), se agitó por un tiempo de 10-20 minutos, posteriormente se aforo con metanol de grado HPLC, se agito durante 10 minutos. Se procedió a transferir la solución DPPH a un frasco debidamente protegido de la luz (cubierto de papel aluminio) para su posterior uso en el análisis de la capacidad antioxidante.

**b) Preparación de la solución patrón curva de calibrado Trolox (0,5 mg / ml).**

Se pesó  $50,00 \pm 0,1$  mg de Trolox en una placa, posteriormente se colocó lo pesado en un matraz de 100 ml (debidamente protegido con papel aluminio), acto seguido se agregó 50 ml de metanol HPLC, agitar hasta disolver con un agitador magnético hasta disolver por completo, luego aforar con 50 ml de agua ultra pura.

De la solución obtenida, se sacó 0.2, 0.4, 0.6 y 0.8 ml y se pipeteo en sus respectivos matraces de 125 ml (debidamente rotulados), luego se añadió 50 ml de la solución de DPPH a cada matraz. Se procedió dejar los matraces en el shaker, manteniéndose en agitación orbital constante a  $35 \pm 2^\circ$  C durante 4 hr a 250 rpm.

### 3.2.14. Estudio de difusividad.

Se desarrolló aplicando el método descrito por (Hawkes & Flink, 1978). Las disoluciones empleadas en la deshidratación osmótica fueron preparadas usando azúcar comercial, las concentraciones de las disoluciones fueron 55, 60 y 65°Brix para la sacarosa.

Las muestras de ensayo estaban constituidas por arándanos enteros, que después del pre tratamiento fueron introducidas en un vaso de precipitado de 2 L de capacidad con tapa, con un volumen de 1 litro, que contenían el medio hipertónico de sacarosa. Las disoluciones fueron sometidas a agitaciones de 0, 150 y 300 rpm (agitador mecánico). La temperatura de trabajo fue 56 °C, al cabo de los tiempos de ensayo programados (0, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 y 300min) los arándanos fueron extraídos, se les retiró el exceso de disolución osmótica adherida a la superficie externa del arándano utilizando un papel absorbente y fueron nuevamente pesadas en la balanza analítica antes de ser introducidas en una estufa a 70°C. En todos los casos la relación disolución/muestra mantuvo constante el factor 10 para garantizar que el cambio de concentración del medio osmótico, pueda ser considerado despreciable. Se ensayaron 11 muestras para cada tiempo de operación y para cada nivel de agitación, concentración de soluto y temperatura. Los resultados obtenidos fueron promediados.

Las cinéticas del proceso osmótico se evaluaron mediante la determinación de los parámetros cinéticos siguientes: ganancia de sólidos, SG; pérdida de humedad, ML; contenido normalizado de humedad, NMC; contenido normalizado de sólidos, NSC y la relación (pérdida de humedad)- (ganancia de sólidos), ML/SG, para cada conjunto de condiciones de operación (tiempos, solutos y concentraciones de las disoluciones) de acuerdo con las expresiones (1)-(5) (Lerici *et al.*, 1995):

$$SG = S - S_0 \dots \dots \dots (1)$$

$$X = \frac{M_0 - M}{M_0} * 100\% \dots \dots \dots (2)$$

$$ML = X - X_0 \dots \dots \dots (3)$$

$$NMC = \frac{X}{X_0} \dots \dots \dots (4)$$

$$NSC = \frac{S}{S_0} \dots \dots \dots (5)$$

En donde M representa la masa en un tiempo determinado de la muestra, S representa los sólidos a un tiempo determinado, X el porcentaje de humedad y el subíndice cero hace referencia a las condiciones iniciales del proceso de deshidratación osmótica.

La determinación de los parámetros NMC y NSC permite obtener, mediante la aplicación del modelo propuesto por (Hawkes & Flink, 1978), los coeficientes de transferencia de materia para el agua,  $k_w$ , y para los sólidos,  $k_s$ . Este modelo muestra una dependencia no lineal entre los parámetros NMC y NSC y el tiempo de deshidratación osmótica:

$$NMC = 1 - K_w * t^{0.5} \dots \dots \dots (6)$$

$$NSC = 1 + K_s * t^{0.5} \dots \dots \dots (7)$$

Donde “t” es el tiempo de deshidratación osmótica.

Dado que los procesos de transferencia de materia involucrados en la deshidratación osmótica son en estado no estacionario y, asumiendo que el mecanismo controlante es difusional (en el interior del Arándano), una solución simplificada de la ley de Fick aplicada a tiempos cortos, tomando un solo término de la solución del desarrollo en serie, puede ser obtenida bajo determinadas condiciones (concentración inicial de componente uniforme en el interior de la muestra,

coeficiente de difusión constante y muestra isotrópica) (Telis, Murari, & Yamashita, 2004). Relacionando 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:

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

En donde  $D_{eff}$  representa la difusividad efectiva del agua o del soluto osmótico y  $d_{eq}$  el diámetro equivalente de la muestra calculada mediante:

$$V = \frac{1}{6} * p * d_{eq}^3 \dots \dots \dots (9)$$

Siendo V el volumen del arándano, La consideración generalizada de que toda la resistencia al transporte de materia está en la fase sólida se puede aceptar tan solo bajo determinadas condiciones que, en el caso de la operación de deshidratación osmótica es dudosa cuando se emplean disoluciones acuosas concentradas con elevada viscosidad (disoluciones de azúcar). En estas condiciones, el coeficiente de difusión calculado mediante los modelos anteriores ha de considerarse como un coeficiente efectivo puesto que se determina a partir de la intensidad de flujo de materia observada bajo la consideración de la existencia de únicamente un gradiente en el interior de la muestra. Si la resistencia a la transferencia en la fase líquida es despreciable, estos coeficientes han de ser los mismos independientemente de las características hidrodinámicas de la fase líquida. De este modo, en el caso de que se mantengan constantes todas las propiedades excepto las condiciones reológicas, la respuesta constante del coeficiente de transferencia de materia es indicativa de la ausencia de una resistencia significativa al transporte de materia en la fase líquida. Por lo tanto, en el caso de que la fase líquida se encuentre con alta agitación (régimen

turbulento) se determinará únicamente un coeficiente de difusión efectiva, propiamente dicho, en la fase sólida.

Así, la transferencia de materia en la deshidratación osmótica 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 y la resistencia que ofrece el tejido celular en el interior del arándano. La difusividad efectiva viene dada por una expresión que encierra la suma de dos resistencias en serie.

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

En donde  $k_{ext}$  es el coeficiente de transferencia de materia externo y  $D_s$  es el coeficiente de difusión en el interior del sólido.

Para el caso de que no exista gradiente de concentración en la superficie externa del arándano, la resistencia externa es nula y el valor de  $k_{ext}$  es infinito.

Entonces:

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

### 3.2.15. Métodos de caracterización al producto final:

#### 3.2.15.1. *Determinación de vida útil de las pasas de arándano.*

- *Producto.*

Debido a la naturaleza del producto, los indicadores de deterioro que en mayor grado son afectados por las condiciones del proceso y almacenamiento son la acidez, pérdida de peso, pH y °Brix.

- *Empaque del producto.*

La estructura del empaque está hecho a base de polietileno que es una barrera contra la humedad, posee alta resistencia a la ruptura y a las altas temperaturas. El polietileno es flexible, fácilmente estirable, es una barrera contra el vapor de agua, no tiene olor ni sabor y es fácilmente sellable por calor.

- *Variable de respuesta.*

De todos los indicadores de deterioro existentes en las pasas de arándano se seleccionaron 4, los cuales son el pH, acidez, °Brix y la pérdida de peso. Estas variables de respuesta se seleccionaron debidas a que son los indicadores de deterioro que sufren mayor cambio en este tipo de productos. En primer lugar se determinó la vida útil de las pasas de arándano basándonos en las alteraciones que muestra el producto debido a las oscilaciones del valor de su pH en el tiempo, luego calculamos la vida útil con respecto al porcentaje acidez, luego con respecto a los °Brix y por último con respecto a la pérdida de peso, en este orden se determinó la vida útil de las pasas de arándano.

- **La determinación del pH** fue realizada con un Peachímetro digital Marca Termocientific Orion Star Modelo A211, utilizando el método potenciométrico. Se

calibró el equipo antes del inicio de cada medición con una muestra en blanco. Las determinaciones se realizaron por triplicado.

- **La determinación del % de acidez** se realizó por titulación potenciométrica Marca Termocientific Orion Star Modelo A211, con NaOH 0.1N hasta alcanzar pH de 8.3, el resultado se expresó como porcentaje de ácido cítrico.

$$\%Acidez = \frac{Vb * N * mEqui * 100}{Va} \dots \dots \dots (5)$$

Dónde:

V<sub>b</sub>: volumen en ml, gastado por la base.

N: normalidad de la base.

mEqui: mili equivalente del ácido predominante (Ácido cítrico) en la muestra.

V<sub>a</sub>: volumen del ácido.

- **La determinación de los °Brix** se realizó con un refractómetro digital (Rudolph Research Analytical – Modelo J157), para ello las pasas de arándano fueron trituradas y diluidas con la finalidad de obtener líquido, que fue colocado en el lente del equipo, de esta manera se obtuvo los valores de °Brix para cada temperatura, durante el tiempo de muestreo establecido.
- **La determinación de la pérdida de peso** se realizó en la estufa (Marca P-Selecta) durante el tiempo establecido, luego se procedió a pesar las muestras en la balanza analítica (LX 220A Marca: Precisa).
- **Definición de la periodicidad de análisis**

En la Tabla 12, se presentan los intervalos de tiempo de muestreos; el tiempo global fue de 17 días para el estudio.



### 3.2.15.1.1. Metodología y procedimiento experimental.

Se tomaron muestras del mismo lote de producción para el estudio, se realizó un pre tratamiento y luego se realizó el proceso de deshidratación y secado del Arándano bajo las condiciones ya establecidas, enseguida se almacenaron en refrigeración a 5°C para mantenerlas “frescas” hasta su colección en la incubadora para iniciar el estudio de vida útil acelerado. Luego se colocaron muestras en las incubadoras a las temperaturas seleccionadas y se procedió a la toma de muestras tal como quedó establecido en la definición de la periodicidad de análisis (García, 2008).

**Tabla 12:**

*Secuencia de muestreo para el análisis de pasas de arándano*

Temperatura de almacenamiento (°C)	Periodo de medición (d)	Tiempo máximo almacenamiento (d)	Muestreo (d)	Días que se muestrearon
40, 50 y 60	De 3 a 4	17	0, 3, 7, 10, 14, 17	3 Lunes y 3 Jueves

### 3.2.15.2. Determinación de humedad final.

El contenido de humedad final que debe tener una fruta seca está ligado con su capacidad de alarga la vida de anaquel, pues de la humedad, que es el contenido de agua por solido seco, depende la actividad de agua en el alimento. Las frutas deshidratadas en el mercado tienen un contenido de humedad de 15 a 25%. Durante la experimentación, para conocer en qué momento del proceso de secado,

el fruto llega a la humedad final deseada, es necesario calcular el peso que el fruto tendrá.

Para la determinación de la humedad al final del proceso de secado se empleará el método 934.06 (37.1.10) del (AOAC, 1995).

### **3.2.15.3. Análisis sensorial del producto final.**

Para determinar el mejor el tratamiento de los dos óptimos obtenidos, se evaluó la aceptabilidad empleando el método de escala hedónica, a través de una pauta no estructurada, con un panel compuesto en un rango de 50 evaluadores, los cuales fueron no entrenados

La determinación de calidad sensorial del “arándano deshidratado”, se realizará utilizando el método descriptivo. Los cuales los evaluadores (50), calificaron los atributos de color, sabor y textura. En la Fig. 12, presentamos un resumen de los análisis que se le hizo al arándano después del proceso de osmodeshidratación y secado, cabe mencionar que se le realizaron dichos análisis al tratamiento óptimo.

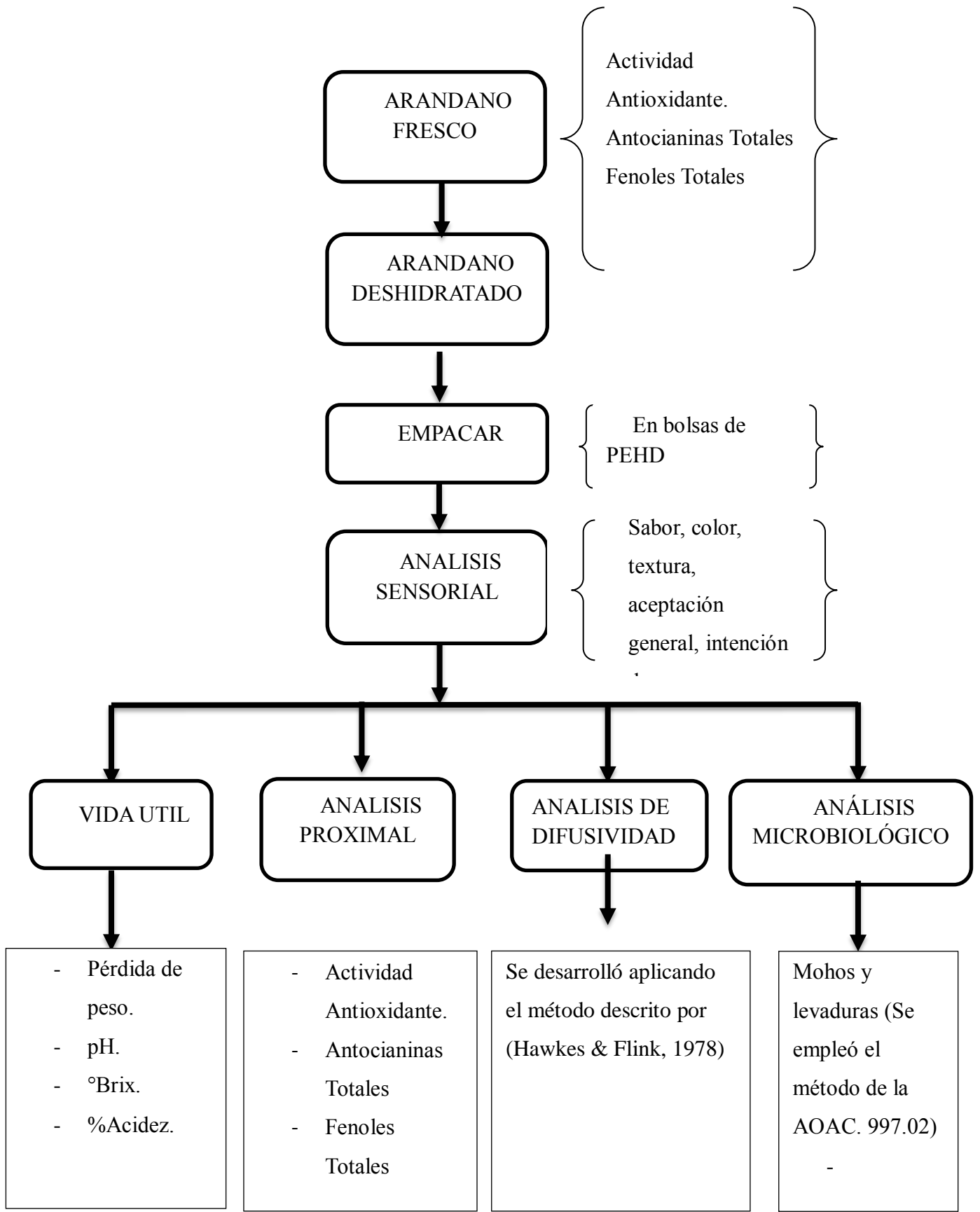


Figura 12: Diagrama de flujo de los análisis al tratamiento optimo

#### **3.2.15.4. *Determinación de mohos y levaduras.***

Se analizaron recuento de mohos y levaduras a las pasas de arándano obtenidas después de la evaluación del tiempo de vida útil del producto 17 días. Se trabajó con el producto almacenado a 60°C, ya que fue la mayor temperatura aplicada en la vida útil mediante pruebas aceleradas.

Se empleó el método de la AOAC. 997.02 Yeast and Molds Count in Foods, Dry Rehydratable Film, AOAC Official Methods, Microbiological Methods, para la determinación de mohos y levaduras.

Los análisis microbiológicos se realizaron en el laboratorio de microbiología interno de la empresa Agrícola y Ganadera Chavín de Huantar S.A.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSION

##### 4.1. Caracterización de la materia prima arándano (*Vaccinium corymbosum L.*)

Los resultados obtenidos en la caracterización de la materia prima se muestran en la siguiente Tabla 13:

**Tabla 13:**  
*Caracterización de la materia prima arándano*

Característica	Promedio $\pm \sigma$	
Humedad (%)	86.134 $\pm$ 0.512	
Cenizas (%)	1.171 $\pm$ 0.036	
Actividad de agua (25°C)	0.991 $\pm$ 0.01	
pH	2.703 $\pm$ 0.029	
Solidos solubles (°Brix)	11.69 $\pm$ 0.051	
Acidez (% ac. Cítrico)	1.417 $\pm$ 0.035	
Color	L*	27.008 $\pm$ 1.461
	a*	2.203 $\pm$ 0.211
	b*	0.432 $\pm$ 0.148

En la investigación se obtuvo una humedad de la materia prima de 86.134 %  $\pm$  0.512, valor que se encuentra muy cercano a los valores reportador por (Barbosa & Cánovas, G, , 2000) que obtuvo un 85,15%; otros autores como (Lohachoompol, 2007) indican un 84,60% de humedad; (Salvador & Badui D., 2006) encontraron un valor de 82,50%.

Las cenizas (%) encontradas en la muestra son  $1.171\% \pm 0.036$ , el cual es un valor superior al reportado por (USDA, 2002). El cual menciona valores que rondan los 0.21% en promedio de Acidez (%).

La actividad de agua obtenida fue de  $0.991 \pm 0.01$ , el cual es un valor concordante con el reportado por (Fennema, 1993), el cual indica valores entre 0.95 y 1.00 para frutas.

Al analizar los valores de pH de la materia prima, se obtuvo un valor de  $2.703 \pm 0.029$ , el cual es un valor muy cercano al límite inferior planteado (2.85 – 3.49) por (Belitz & Grosch, 1997); (Kalt *et al.*, 2000).

Otro autor refuta los valores de pH mencionados anteriormente, ya que según (Salvador & Badui., 2006), describen un rango entre 3,0 y 3,4.

Con respecto al valor obtenido en los sólidos solubles ( $11.69 \text{ }^\circ\text{Brix} \pm 0.051$ ), este se encontró dentro del rango mencionado por (Fennema, 1993), el cual indica que el contenido de sólidos solubles se deben encontrar entre 11.20 a 14.30  $^\circ\text{Brix}$ , además Buzeta, 1997 nos dice que el rango oscila entre 10 y 15  $^\circ\text{Brix}$ , descrito para el fruto maduro. Estos valores obtenidos para  $^\circ\text{Brix}$  se da por los factores que intervienen como el estado de madurez y la condición de cosecha, ya que por referencias bibliográficas influyen en la acumulación de los azúcares.

En cuestión a la acidez, se obtuvo  $1.417 \pm 0.035$  (%ac. Cítrico), el cual es ligeramente superior al valor máximo del rango encontrado por (Sapers *et al.*, 1984), que reporta valores de acidez comprendidos entre 0,40% y 1,31%. Pero, sin embargo, (Caruso & Ramsdell, 1995) establecen valores de 1,2%, dicho valor es ligeramente inferior al reportado en nuestros análisis.

Por otra parte, el análisis de color del fruto del arándano presentó valores que indican una baja luminosidad ( $27.008 \pm 1.461$ ), teniendo en cuenta que la

luminosidad o claridad varía desde el color opaco (valor=0) hasta transparente (valor=100); valores de componente rojo-verde (a\*) y componente amarillo-azul (b\*), que demuestran el color violeta típico de este fruto (arándano). Nuestros valores de luminosidad se asemejaron a los obtenidos en el trabajo realizado en (Informacion Tecnologica, 2007) Donde, presentaron valores de luminosidad por sobre 20 para muestras de pastas gelificadas a partir de arándano (*Vaccinium corymbosum*).

#### 4.2. Análisis de textura

Los resultados obtenidos del análisis de textura se muestran a continuación en la Tabla 14:

**Tabla 14:**  
*Resultados del análisis de textura a la materia prima*

Resultados	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Diámetro (cm)	1.8± 0.1	1.7± 0.1	1.8± 0.1	1.77
Fracturabilidad (g-f.)	158±15.0	183.5± 0.1	157± 0.1	166.17
Pico Presión (dyn/cm <sup>2</sup> )	60889±10731.5	79281±10731.5	60504±10731.5	66891.33
Adhesividad (mJ)	0.23±0.1	0.37±0.1	0.17±0.1	0.26
Longitud de extensibilidad (mm)	4.64±2.3	4.6±2.3	4.54±2.3	3.26
Cantidad de fracturas (Und.)	10±6.2	7±6.2	19±6.2	12

Después de realizado el análisis de textura del arándano, se concluye que para las muestras 2 y 3 la carga máxima soportada por las frutas en el instante de sus roturas fue de 183.5g y 157 g respectivamente, luego de producirse la rotura la carga va disminuyendo conforme avanza el tiempo y luego de aproximadamente 20s ya no hay resistencia a la compresión por parte del fruto, mencionando

también que la penetración de la pulpa reflejada en distancia llego a 10mm para ambas muestras.

#### **4.3.Variación de humedad y sólidos solubles en la deshidratación osmótica**

En las Figs. 13, 14 y 15 se puede observar los versus Humedad (Kg agua/Kg ss) vs Tiempo (min) así como también Sólidos solubles en fruta (°Brix) vs Tiempo (min), con respecto a la Humedad se aprecia que tiende a disminuir a medida que transcurre el tiempo, esto debido a la pérdida de agua por parte del producto (Lenart & Flink, 1994); (Molano *et al.*, 1996).

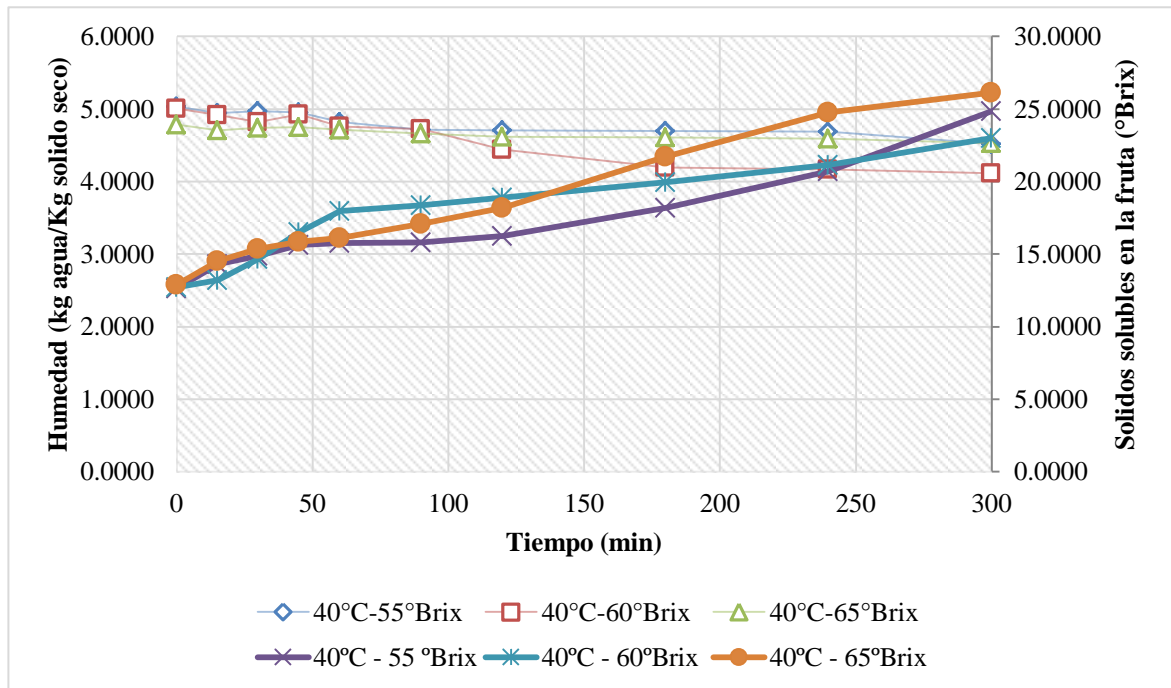
Podemos notar el comportamiento zigzagueante durante la primera hora de proceso, lo que concuerda con los estudios realizados en arándanos por (Ramaswamy & Nsonzi, 1998). A demás este comportamiento puede explicarse debido a la salida inicial de agua de la superficie del fruto hacia el exterior, también se debe a que el fruto se está adaptando a las condiciones de deshidratación, esto sucede hasta que logre estabilizarse, esta experiencia fue realizada en los estudios hechos por Fito *et al.*, 1998 y por (Muntada, 1998) en el procesamiento de Kiwi.

Durante la primera hora, el fruto se adapta a las condiciones de deshidratación osmótica, ganando y perdiendo humedad para luego estabilizarse, se puede apreciar que después de la primera hora de deshidratación las oscilaciones de humedad son mínimas (no en todos los casos tratamientos), y prácticamente el fruto empieza seriamente a perder humedad. Con respecto a los sólidos solubles en fruta podemos notar que la concentración aumenta a medida que transcurre el tiempo, esto debido a la incorporación de sólidos solubles en el fruto.

En la Fig. 13, con respecto a la pérdida de humedad se puede apreciar que para una temperatura del medio osmótico de 40°C las curvas tienen un comportamiento similar para las tres concentraciones del medio osmótico empleadas, solo existe una



ligera diferencia en la curva cuya concentración de solución es de 60°Brix, la cual está por debajo de las dos curvas restantes correspondientes a 55°Brix y 65°Brix. También podemos notar la poca pérdida de humedad que se produce en las tres curvas, ya que se empieza con una humedad en base seca aproximada de 5 kg agua/kg ss y se termina con una humedad de cercana a 4 kg agua / kg ss, esto se debe a la baja temperatura empleada 40°C. Con respecto a los Sólidos solubles de la Fig. 13 apreciamos que las curvas coinciden con el punto inicial de partida que es aproximadamente de 13°Brix, para luego ir ganando los Sólidos solubles hasta llegar a un máximo de 26.12 °Brix correspondiente a las condiciones de solución osmótica curva 40°C-65°Brix. Cabe mencionar el comportamiento lineal para dicha curva, durante casi los 300min de deshidratación, mientras que las otras curvas de 55 y 60°Brix el comportamiento lineal se da por intervalos de tiempo.

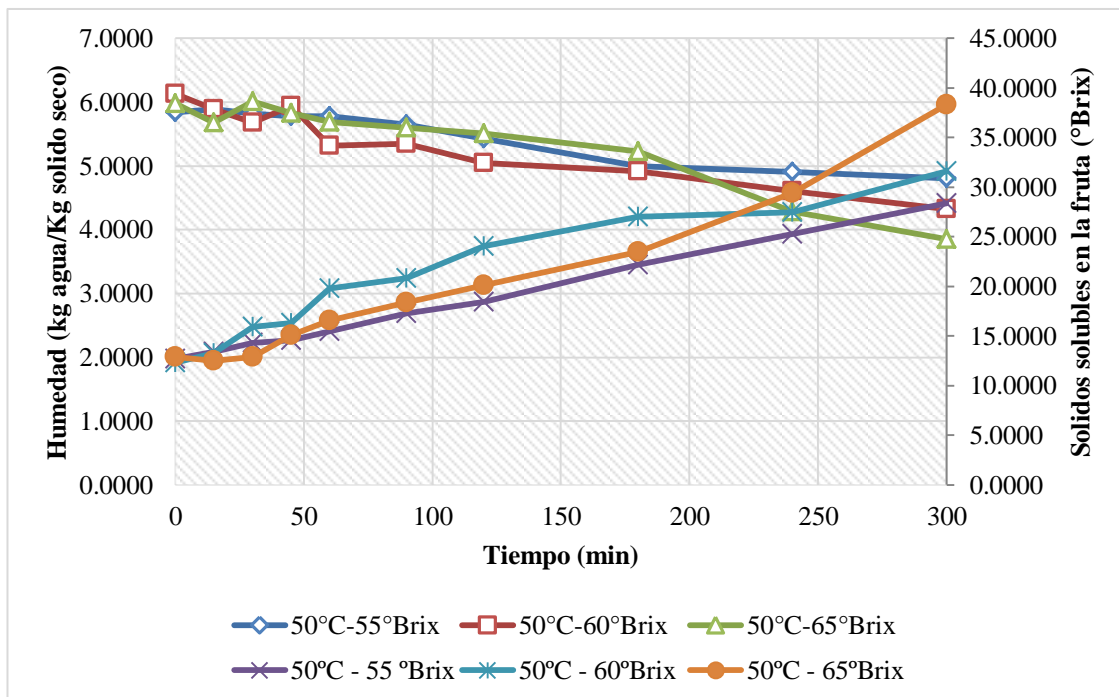


**Figura 13:** Variación del contenido de humedad y solidos solubles en el fruto para las condiciones de solución osmótica de 40°C, 55, 60,65°Brix

Analizando las Figs. 13 y 14 notamos que la temperatura es mucho más influyente que la concentración de la solución osmótica, con respecto a la pérdida de humedad. Si bien es cierto a temperaturas altas de 50°C y 60°C a medida que aumenta la concentración de solución osmótica de 55°Brix hasta 65°Brix hay más pérdida de humedad (no en todos los tratamientos), en pocas palabras tanto la temperatura como la concentración de la solución osmótica ejercen influencia en la pérdida de humedad, pero mucho más la temperatura, puesto que en las Figs. 13 y 14 a medida que aumenta la temperatura de 40 a 50°C se produce mayor pérdida de humedad. Cabe mencionar que trabajando a 50 y 60°C, Fig. 14 y 15 respectivamente, al final se logran alcanzar humedades muy similares. Con esto deducimos que existe una relación directa entre la temperatura y tasa de deshidratación.

En las Figs.14 y 15 con respecto a la ganancia de sólidos solubles en fruta, se puede apreciar que las curvas alcanzan valores mucho más altos que en la Fig. 13, esto debido a que se emplean temperaturas más elevadas de 50°C y 60°C. Esto

concuerta con los estudios realizados por (Maestelli, 1997) en donde menciona que temperaturas cercanas a 60°C modifican las características del tejido, favorecen la impregnación y por lo tanto la ganancia de solidos solubles. Gracias al incremento de temperatura se logran obtener mayores ganancias de solidos solubles en la fruta, lo mismo lo reafirma los estudios realizados por (Barat *et al.*, 1998) en manzanas. Cabe mencionar que no siempre temperaturas elevadas a concentraciones elevadas, nos ofrecerán mayores ganancias de sólidos solubles, ya que en la Fig. 15 para la curva de 60°C-65°Brix se obtuvo un valor 34.7367°Brix inferior, al obtenido en la Fig. 14, 38.3333°Brix para la curva 50°C-65°Brix, en donde la temperatura es inferior, pero aun así ofrece mayores magancias de sólidos solubles. Lo mencionado nos da una idea de la temperatura óptima que podemos alcanzar, ya que podemos ganar gran cantidad de sólidos empleando temperaturas inferiores a 60°C, lo cual será beneficioso debido a que habrá menos pérdidas de propiedades termolábiles del producto en cuestión.



**Figura 14:** Variación del contenido de humedad y solidos solubles en el fruto para las condiciones de solución osmótica de 50°C, 55, 60,65°Brix

El comportamiento de las curvas en las Figs. 13, 14 y 15 con respecto a la pérdida de humedad es fundamentado por los estudios experimentales realizados por (Rosell & J , Lluch., 1994) el cual nos menciona sobre el comportamiento zigzagueante en la ganancia de sólidos soluble en la fruta.

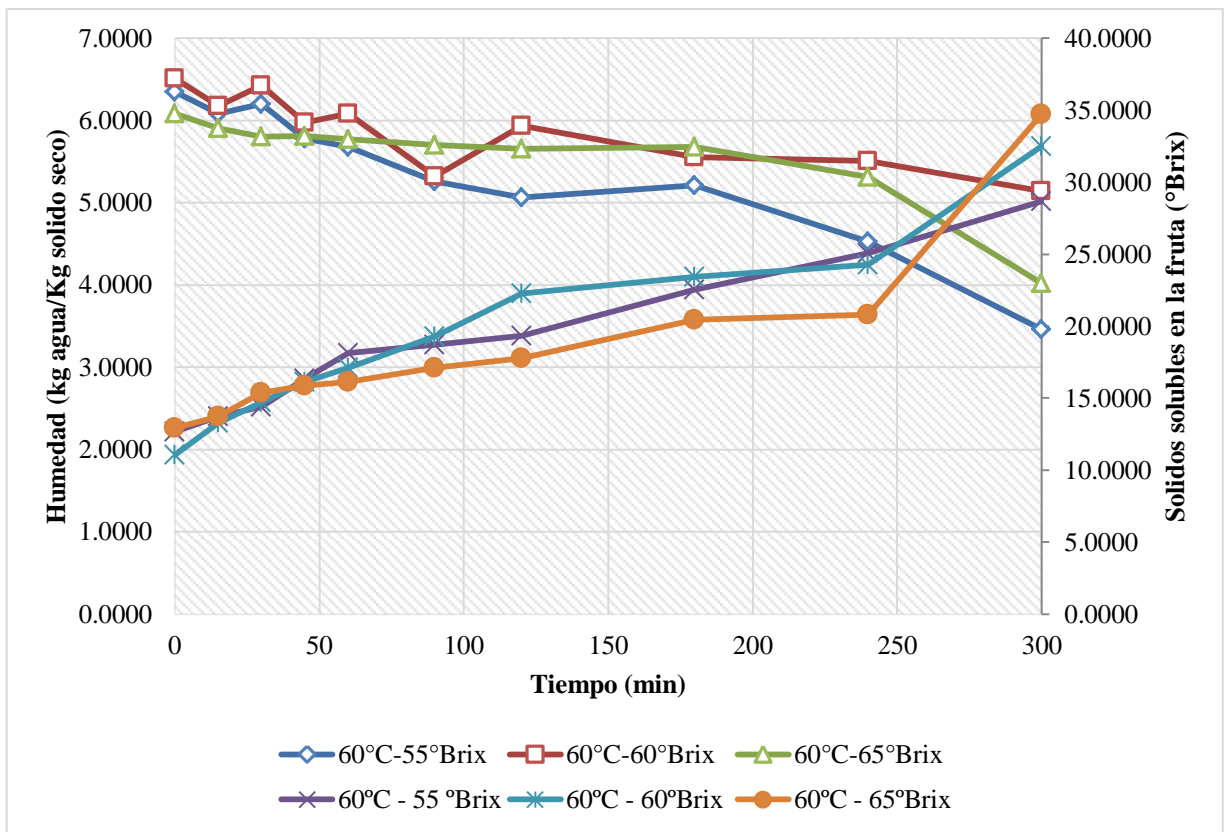
Para las Figs. 13, 14 y 15 las mayores ganancias de sólidos solubles se dieron cuando la concentración de la solución osmótica fue máxima, alcanzando el valor más alto 38.3333°Brix el tratamiento 50°C-65°Brix correspondiente a la Fig. 14. Como era de esperarse el valor más bajo 26.12°Brix lo obtuvo el tratamiento 40°C-65°Brix correspondiente a la Fig. 13.

En la Fig. 15 con respecto a la pérdida de humedad podemos notar que las curvas no coinciden con el punto inicial de partida, esto debido a que los análisis se realizaron en forma paulatina (tomó tiempo realizar los tratamientos) en donde el fruto almacenado en congelación sufría pérdidas y ganancias de humedad, además notamos que la pérdida de humedad se incrementa con el aumento de la temperatura, especialmente en las Figs. 13 y 14, ya que la humedad mínima alcanzada del sistema fue de 3.8523 kg agua/kg ss para el tratamiento de condiciones de solución osmótica de 50°C-65°Brix, Fig. 13, para el cual dicho tratamiento inició con una humedad en base seca de 5.9841 kg agua/kg ss. Podemos observar que la humedad no siempre disminuye con el aumento de la concentración de la solución, como es el caso de la Fig. 13 para el tratamiento de 40°C-65°Brix (4.5335 kg agua/kg ss), el cual debería alcanzar las humedades más bajas, puesto que tiene la concentración más alta, esto no se cumple debido a que el tratamiento 40°C-60°Brix (4.1172 kg agua/kg ss) alcanza las humedades más bajas para la Fig. 13, esto puede explicarse debido al efecto negativo que también tiene la concentración de la solución osmótica, que en algunos

tratamientos a mayores concentraciones le impide llegar a humedades bajas. Por ello es importante encontrar la temperatura y la concentración ideales de proceso que nos permitan obtener mayores ganancias de sólidos solubles, perdiendo la mayor cantidad de agua para la mayoría de tratamientos en las todas figs. (13,14 y15) se puede apreciar que la humedad sube y baja, esto se debe a que el poder osmótico es oscilante en las primeras horas, por eso en algunos casos lejos de perder humedad ésta gana, como ejemplo podemos mencionar a la Fig. 15 en la cual el fruto se estabiliza a partir de 3<sup>era</sup> hora, en las Fig. 13 y 14 la estabilidad ocurra horas antes, pero al final se logró mantener el descenso de humedad.

En la Fig. 15 con respecto a los sólidos solubles podemos apreciar que las curvas tienen un comportamiento ascendente lineal, es decir sin tantas bajadas. Esto se nota claramente durante las 5 horas de osmodeshidratación.

Notamos también que en la Fig. 15 los puntos de partida de las tres curvas con respecto a la pérdida de humedad alcanzan los valores más altos de inicio de proceso (por encima de 6 kg agua/kg s.s) con respecto a las Figs. 13 y 14, cuyos puntos de partida son más bajos y similares, específicamente alrededor de 5 y 6 kg agua/kg s.s respectivamente. Al final de la osmodeshidratación para la Fig. 15 se alcanza la humedad más baja 4.0220 kg agua/kg ss correspondiente al tratamiento 60°C-65°Brix. Mientras que para la Fig. 14 la humedad más baja alcanzada 3.8523 kg agua/kg ss es para el tratamiento de 50°C-65°Brix. Con ello podemos mencionar que no siempre a altas temperaturas se conseguirá pérdidas mayores de humedad, ya que la temperatura también demostró tener un efecto negativo en la pérdida de humedad.



**Figura 15:** Variación del contenido de humedad y solidos solubles en el fruto para las condiciones de solución osmótica de 60°C, 55, 60,65°Brix

#### 4.4. Análisis de varianza para pérdida de humedad en la fruta durante la deshidratación osmótica

**Tabla 15:**

*Corridas experimentales para obtener la pérdida de humedad en el fruto*

Tratamientos	Temperatura(°C)	Concentración de la solución(°Brix)	Delta de humedad (Kg de agua/Kg m.s)
1	40	55	-0.5198
2	40	60	-0.8869
3	40	65	-0.2554
4	50	55	-1.0383
5	50	60	-1.8008
6	50	65	-2.1318
7	60	55	-0.8532
8	60	60	-1.3656
9	60	65	-2.0642
10	50	60	-2.0519
11	50	60	-1.9432

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 tienen los factores de temperatura y concentración de la solución osmótica sobre la pérdida de humedad en el fruto, además pudimos determinar los diferentes niveles de los factores temperatura y concentración de solución osmótica que tuvieron

un efecto estadísticamente significativo sobre el valor de la variable dependiente o de respuesta (Delta de 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.

**Tabla 16:**

*Análisis de varianza para la pérdida de humedad en el fruto*

Fuente	Suma de Cuadrados	G.L.	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:T	1.14485	1	1.14485	22.79	0.0050
B:C	0.396088	1	0.396088	7.88	0.0376
AA	0.908475	1	0.908475	18.08	0.0081
AB	0.544201	1	0.544201	10.83	0.0217
BB	0.383917	1	0.383917	7.64	0.0396
Error total	0.251211	5	0.0502422		
Total (corr.)	4.06677	10			

R-cuadrada = 93.8228 porciento

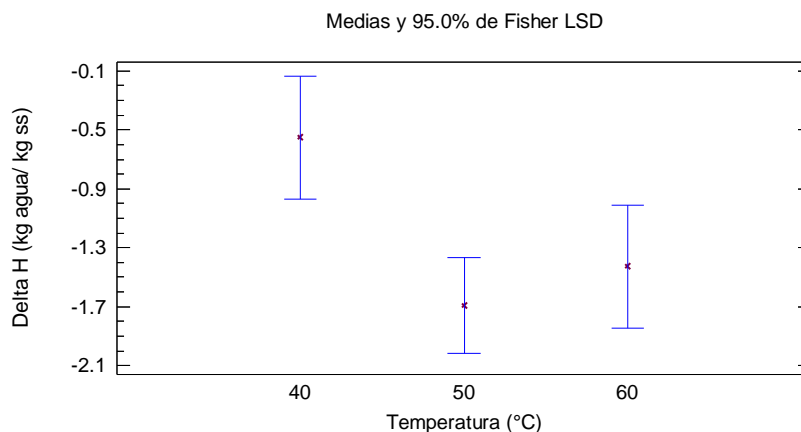
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 87.6457 porciento

Según nuestro análisis de varianza podemos notar claramente que los 5 efectos alcanzan un valor-P inferior de 0.05, lo cual nos indica que existe diferencia significativa entre los tratamientos, trabajando con un nivel de confianza del 95%.



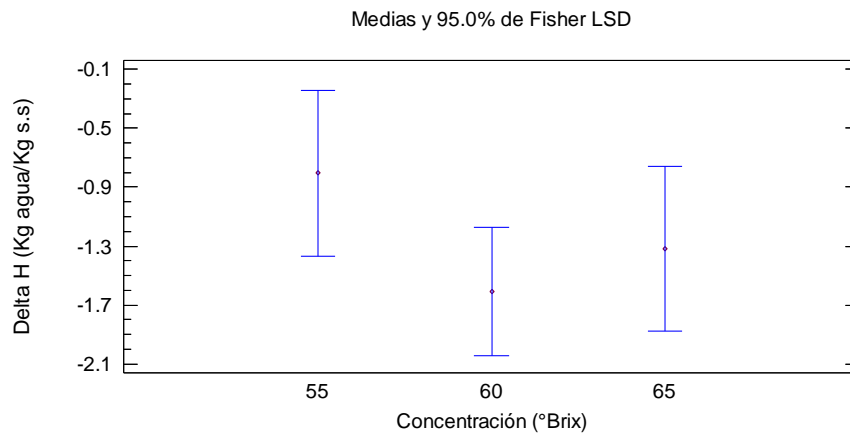
El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, explica 93.8228% de la variabilidad en Humedad, esto nos da a entender que la variabilidad de la humedad al 93.8228% es causado o influenciada por lo 5 efectos analizados, claro que en el caso de la temperatura su influencia es mucho mayor puesto tiene un valor de 0.005 muy inferior al de los otros efectos, según el valor-P. Con lo mencionado podemos deducir que la temperatura tiene un gran efecto estadísticamente significativo en la pérdida de la humedad en el fruto.

En la siguiente Fig. 16, se observa los promedios según los diferentes niveles del factor temperatura, trabajando a un nivel de confianza del 95%.



**Figura 16:** Valores promedios de delta de Humedad para cada nivel de temperatura de la solución osmótica

En la Fig.16, podemos apreciar los diferentes alcances en la capacidad de la temperatura de disminuir la humedad inicial en el fruto, de los tres niveles de temperatura empleados el más efectivo en disminuir la humedad en el fruto sería el de 50°C ya que alcanza valores de pérdida de humedad más negativos, este nivel de temperatura nos da un alcance de donde se pueden encontrar los valores ideales que andamos buscando, es decir los valores óptimos de deshidratación osmótica, que según el alcance encontrado será inferior a 60°C.



**Figura 17:** Valores promedios de delta de Humedad para cada nivel de concentración de la solución osmótica

En la Fig. 17, podemos apreciar los diferentes alcances en la capacidad de la concentración de la solución osmótica para disminuir de humedad inicial en el fruto. De los tres niveles de concentración de solución osmótica empleados el más efectivo, que permite la mayor pérdida de humedad en el fruto, es el tratamiento de 60°Brix, ya que alcanza valores de pérdida de humedad más negativos, este nivel de Concentración de solución osmótica nos da un alcance de donde se pueden encontrar los valores que andamos buscando, es decir los valores óptimos de deshidratación osmótica.

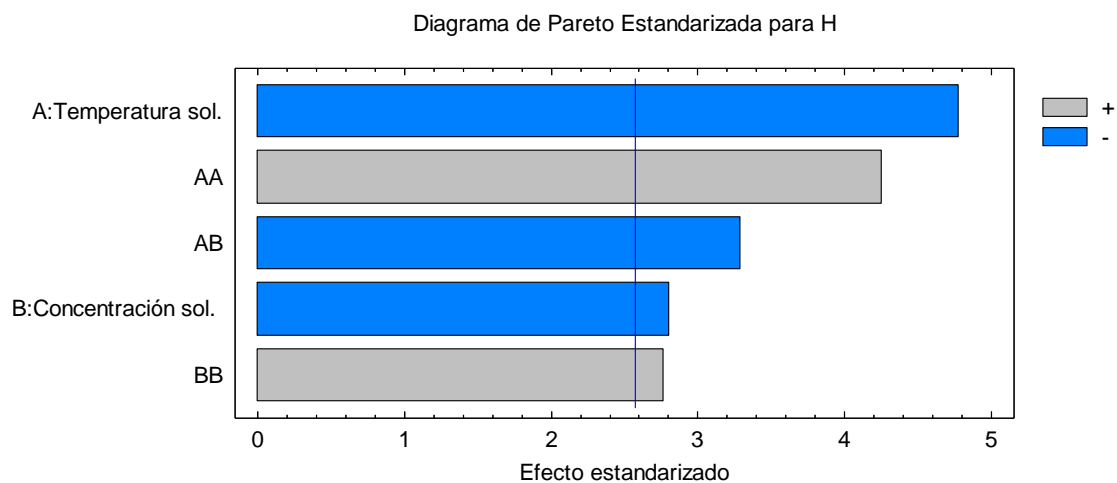
Según el análisis realizado y teniendo en cuenta Figs. 16 y 17, podemos manifestar que el factor temperatura ejercen un efecto mucho más significativo ( $p < 0,05$ ) que la concentración de solución osmótica, sobre la variable respuesta delta de humedad en el fruto.

#### **4.4.1. Análisis de Pareto para pérdida de humedad en la fruta**

En la Fig. 18, podemos apreciar que todos los efectos sobre pasan la línea azul, esto indica que tanto la temperatura como la concentración de la solución osmótica

son estadísticamente significativos, lo que señala que ambos factores ejercen influencia en la pérdida de humedad en el fruto. Pero se puede apreciar que el factor temperatura ejerce un efecto mucho más significativo que la concentración de la solución osmótica, en lo concerniente a la pérdida de humedad en el fruto.

Podemos notar que la temperatura ejerce un efecto positivo (+) y también negativo (-), esto hace indicar que no siempre las altas temperaturas van a garantizar mayores pérdidas de humedad, ya que puede ocurrir lo contrario que el fruto en deshidratación osmótica gane humedad, lo mismo ocurre con la concentración de la solución osmótica, he ahí la importancia de encontrar los valores óptimos tanto de temperatura como de concentración del medio osmótico. Cabe mencionar que la interacción AB, nos indica que tiene un efecto negativo emplear temperaturas y concentraciones elevadas a un mismo nivel.



**Figura 18:** Diagrama de Pareto estandarizada para la humedad

#### 4.5. Optimización de la pérdida de humedad en el proceso de osmodeshidratación

Con la metodología de optimización, obtuvimos las condiciones ideales para lograr reducir al máximo el valor de la variable respuesta delta de humedad, cabe mencionar que mientras más bajo sea esta diferencia, habrá mayor pérdida de humedad.

La ecuación cuadrática que modela empíricamente el proceso de DO en arándanos es la siguiente:

$$\Delta H = 52.3157 - 0.199901 * T - 1.55113 * C + 0.00598839 * T^2 - 0.007377 * T * C + 0.0155716 * C^2$$

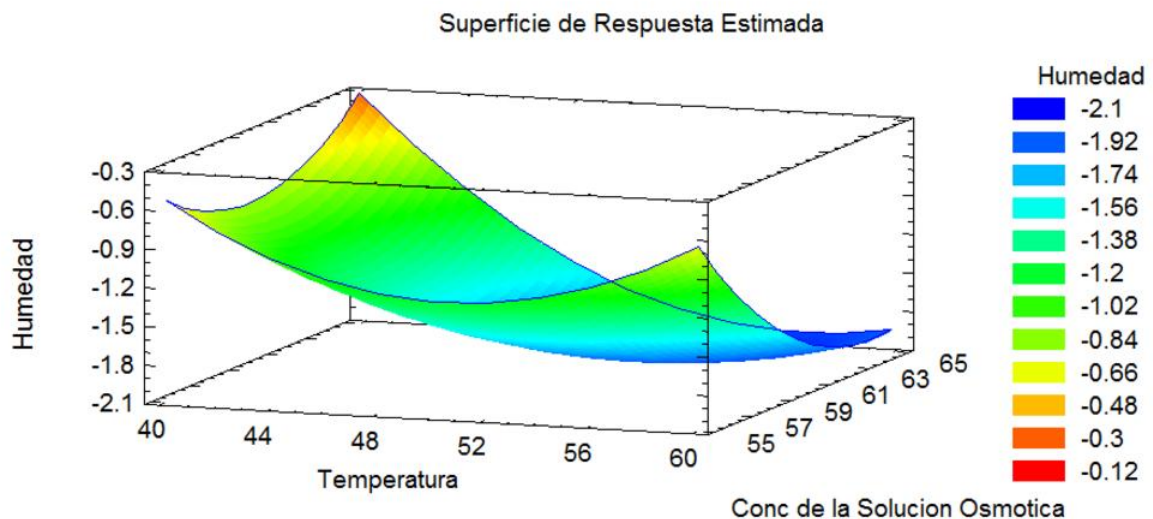
Dónde:

T= Temperatura (°C)

C= Concentración de la solución (°Brix)

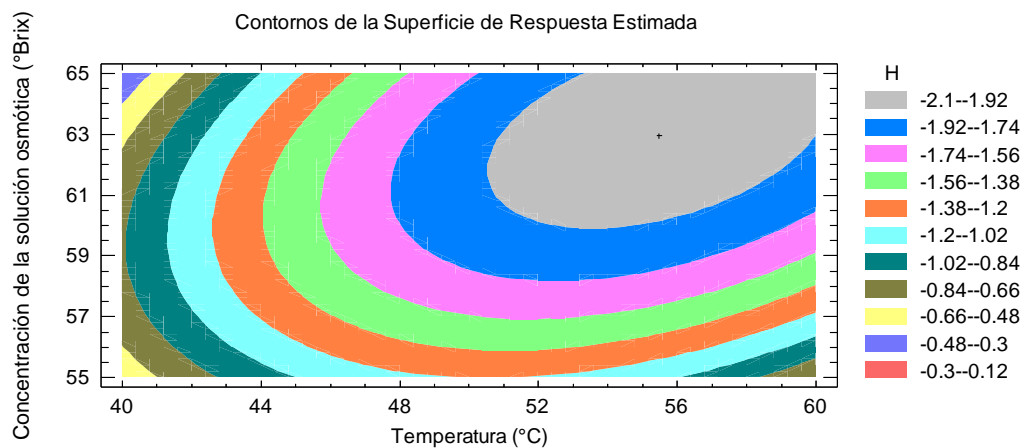
$\Delta H$ = Diferencia de humedad (Humedad final – Humedad inicial); (Kg agua/Kg s.s)

La superficie respuesta que genera la ecuación del modelo ajustado se observa en la fig. 19



**Figura 19:** Superficie respuesta para optimizar la pérdida de humedad en el fruto, en el proceso de deshidratación osmótica

En la Fig.19 podemos apreciar la región óptima de color azul ubicada en la esquina inferior derecha, donde se logra reducir al máximo la pérdida de humedad (delta de humedad), estas condiciones se dan a una temperatura de 55.4619°C y a una concentración de solución osmótica de 62.9439°Brix bajo estas condiciones se logra minimizar el delta de humedad hasta un valor óptimo de -2.0441 (kg agua/kg s. seco).



**Figura 20:** Contorno de superficie respuesta para el proceso de deshidratación osmótica

Lo mencionado se puede apreciar concretamente en la Fig. 20, en donde se puede apreciar los contornos de superficies de respuesta, la superficie de color plomo, muestra la región en el plano donde se logran obtener las pérdidas de humedad más grandes, es la región donde la diferencia de humedad alcanza los valores de humedad más bajos, opuestamente a lo mencionado se encuentra la superficie de color morado claro (Bígaro) ubicado en la esquina superior izquierda, en el cual se aprecia que el delta de humedad alcanza valores más elevados, lo que indica que en esa zona se encuentra el tratamiento menos eficaz con respecto a la disminución de la humedad inicial en el producto.

A continuación, presentamos los valores óptimos para la deshidratación osmótica analizando la variable respuesta delta de humedad.

**Tabla 17:**

Condiciones óptimas de deshidratación osmótica para la pérdida de humedad en el fruto

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Temperatura (°C)	40.0	60.0	55.4619
Concentración (°Brix)	55.0	65.0	62.9439

En la Tabla 17, se puede apreciar la combinación de los factores temperatura y concentración de solución osmótica, estos factores minimizan la diferencia de humedad sobre la región indicada. Pudimos obtener estas condiciones trazándonos como meta minimizar el delta de humedad. De esta manera obtuvimos un valor óptimo de -2.0441 (kg agua/kg s. seco).

Finalmente, se pudo extraer del fruto una humedad en base seca de  $2.0441 \pm 0.0711$  (kg agua/kg s. seco) en un periodo de tiempo de 5 horas que duró el proceso de deshidratación osmótica. Se menciona también la baja desviación estándar de 7.1% que dejó la validación del método, lo que indica que el modelo de regresión empleado es el adecuado.

Este valor es cercano al encontrado por (Ramaswamy & Nsonzi, 1998) para algunos tratamientos aplicados en deshidratación osmótica de arándanos en 5,5 h de proceso en la cual las condiciones experimentales fueron de 60 °C y 70 °Brix.

#### 4.6. Análisis de varianza para la ganancia de sólidos solubles en la fruta durante la deshidratación osmótica

**Tabla 18:**

Corridas experimentales para obtener la ganancia de sólidos solubles en el fruto

Tratamientos	Temperatura(°C)	Concentración de la solución (°Brix)	Delta de solidos solubles (°Brix)
1	40	55	12.2267
2	40	60	10.2567
3	40	65	13.2267
4	50	55	15.6767
5	50	60	20.9500
6	50	65	25.4100
7	60	55	16.0167
8	60	60	21.4267
9	60	65	21.8100
10	50	60	21.3000
11	50	60	20.9767

Para determinar el análisis de varianza con respecto a la ganancia de sólidos solubles en el fruto haremos uso de la Tabla 18, en donde se muestran los resultados de las 11 experiencias realizadas en el laboratorio para lograr obtener la variable respuesta Delta de sólidos solubles, con estos resultados se realizaron los análisis estadísticos correspondientes a la ganancia de sólidos.

Se realizó un análisis de varianza para determinar si existe diferencia significancia entre las medias de los factores concentración y temperatura de la solución osmótica, sobre la incorporación de sólidos solubles en la fruta, la cual se muestra en la Tabla 19.

Determinamos que los diferentes niveles de los factores temperatura y concentración de solución osmótica tuvieron un efecto estadísticamente significativo sobre el valor de la variable dependiente o de respuesta (Delta de Sólidos solubles).

También pudimos determinar la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos aplicados en relación a su capacidad para hacer que el fruto en deshidratación gane el mayor contenido de sólidos solubles posible.

Para la realización de este análisis hicimos uso de la variable respuesta delta de Sólidos solubles que corresponde a la diferencia entre la concentración de sólidos solubles finales del proceso menos la concentración de sólidos solubles iniciales del mismo. De acuerdo a ello, mientras más positivo llegue a ser este valor, indicará que las condiciones de deshidratación osmótica tienen una mayor capacidad de favorecer la ganancia de sólidos solubles en la fruta. La comparación de los promedios se muestra en la Fig.21.

**Tabla 19:**

*Análisis de varianza para la incorporación de sólidos solubles en el fruto*

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:T	92.3812	1	92.3812	21.09	0.0059
B:C	45.5214	1	45.5214	10.39	0.0234
AA	62.4538	1	62.4538	14.26	0.0129
AB	5.74393	1	5.74393	1.31	0.3040
BB	0.175909	1	0.175909	0.04	0.8491
Error total	21.9028	5	4.38057		
Total (corr.)	234.877	10			

R-cuadrada = 90.6748 por ciento

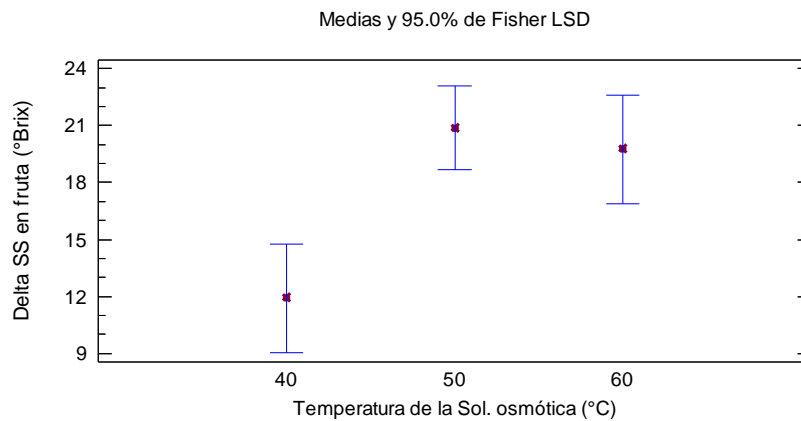
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 81.3495 por ciento



Según nuestro análisis de varianza podemos notar claramente que sólo 3 efectos alcanzan un valor-P inferior de 0.05, lo cual 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 90.6748% de la variabilidad en la concentración Sólidos solubles. Esto nos da a entender que la variabilidad de los Sólidos solubles al 90.6748% es causado o influenciada sólo por 3 efectos analizados ( $T^{\circ}$ , C e interacción  $T^{\circ}$  cuadrática), claro que en este caso tanto la temperatura como la concentración de la solución osmótica tienen valores bajos y muy cercanos entre sí, según el valor-P con lo mencionado podemos deducir que tanto la temperatura como la concentración de la solución osmótica tienen un gran efecto estadísticamente significativo en la incorporación de sólidos solubles en el fruto.

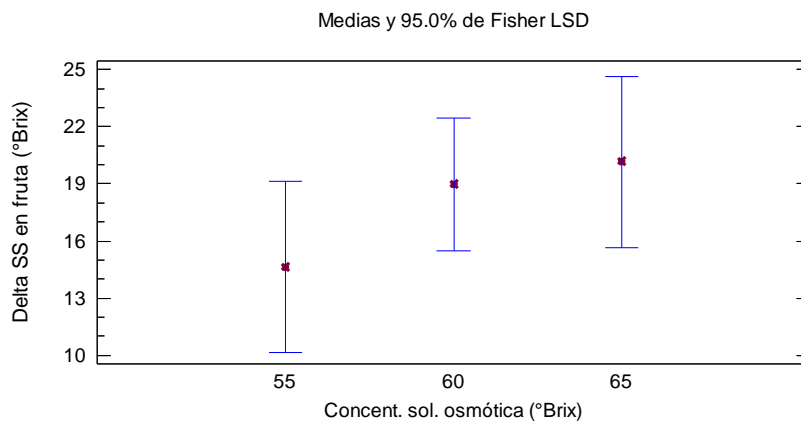
En la siguiente Fig.21, se observa los promedios según los diferentes niveles del factor temperatura, trabajando a un nivel de confianza del 95%.



**Figura 21:** Valores promedios de delta de Sólidos solubles para cada nivel de temperatura de la solución osmótica

En la Fig.21, podemos apreciar los diferentes alcances en la capacidad de la temperatura para permitir la incorporación de sólidos solubles en el fruto, de los tres niveles de temperatura empleados el más efectivo en permitir la ganancia de sólidos

solubles en el fruto sería el de 50°C ya que alcanza valores de ganancia de sólidos solubles más positivos, este nivel de temperatura nos da un alcance de donde se pueden encontrar los valores que andamos buscando, es decir los valores óptimos de deshidratación osmótica.

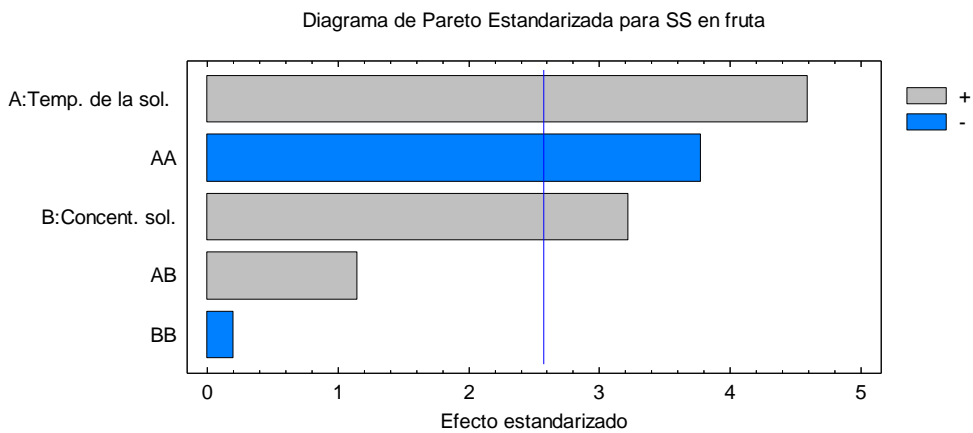


**Figura 22:** Valores promedios de delta de Sólidos solubles para cada nivel de concentración de la solución osmótica

En la Fig.22, podemos apreciar los diferentes alcances en la capacidad de la Concentración de la solución osmótica para permitir la incorporación de sólidos solubles en el fruto, de los tres niveles de Concentración de solución osmótica empleados el más efectivo, que permite la mayor ganancia de sólidos solubles en el fruto, es el tratamiento de 65°C, ya que alcanza valores de ganancia de sólidos solubles más positivos, este nivel de Concentración de solución osmótica nos da un alcance de donde se pueden encontrar los valores que andamos buscando, es decir los valores óptimos de deshidratación osmótica.

Según el análisis realizado y teniendo en cuenta Figs. 21 y 22, podemos manifestar que los 2 factores tanto temperatura y concentración de la solución osmótica ejercen un efecto estadísticamente significativo ( $p < 0,05$ ) sobre la variable respuesta delta de Sólidos solubles en el fruto.

#### 4.6.1. Análisis de Pareto para la ganancia de sólidos solubles en la fruta



**Figura 23:** Diagrama de Pareto estandarizada para la ganancia de sólidos solubles en el fruto

En la Fig.23, podemos apreciar que sólo 3 efectos sobrepasan la línea azul, esto indica que tanto la temperatura como la concentración de la solución osmótica son estadísticamente significativas, lo que señala que ambos factores ejercen influencia en la ganancia de sólidos solubles en el fruto. Pero se puede apreciar que el factor temperatura ejerce un efecto ligeramente más significativo que la concentración de la solución osmótica, en lo concerniente a la incorporación de Sólidos solubles en el fruto.

Podemos notar que la temperatura ejerce un efecto positivo (+) y también negativo (-), esto hace indicar que no siempre las altas temperaturas van a garantizar mayores ganancias de Sólidos solubles en la fruta, ya que puede ocurrir lo contrario que la fruta en deshidratación osmótica deje de ganar los sólidos solubles, lo que no ocurre con la concentración de la solución osmótica, ya que esta sólo ejerce un efecto positivo en la ganancia de sólidos solubles, lo cual tiene mucha lógica ya que la función más importante de la solución osmótica es incorporar sus azúcares en el fruto, haciendo que este aumente su concentración de sólidos solubles, por otro lado la interacción AB no resulta ser significativo. Por todo lo mencionado podemos

mencionar que es de suma importancia encontrar los valores óptimos tanto de temperatura como de concentración de la solución osmótica, para que de esta manera las condiciones experimentales sólo ejerzan un efecto positivo tanto para la ganancia de sólidos solubles como para la pérdida de humedad, o al menos minimizar esas variaciones.

#### **4.7.Optimización de la ganancia de sólidos solubles en el proceso de osmodeshidratación**

Con esta metodología de optimización, obtuvimos las condiciones ideales para lograr incrementar al máximo el valor de la variable respuesta delta de Sólidos solubles en el fruto, cabe mencionar que mientras más alto sea esta diferencia, habrá mayor incorporación de sólidos solubles en el fruto, o dicho de otro modo la ganancia de azúcares será mucho mayor.

La ecuación cuadrática que modela empíricamente el proceso de DO en arándanos es la siguiente:

$$\Delta SS = -121.88 + 3.91956 * T + 0.617412 * C - 0.0496516 * T^2 + 0.0239665 * T * C - 0.0105404 * C^2$$

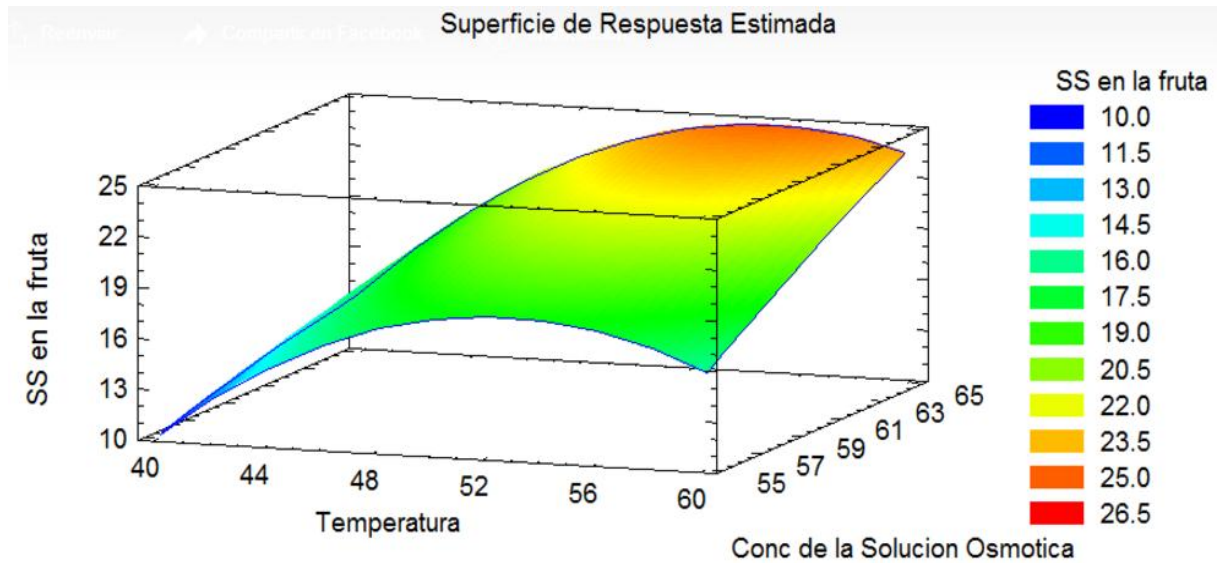
Dónde:

T= Temperatura (°C)

C= Concentración de la solución (°Brix)

ΔSS= Diferencia de sólidos solubles (SS final – SS inicial); (°Brix)

La superficie respuesta que genera la ecuación del modelo ajustado se observa en la fig. 24

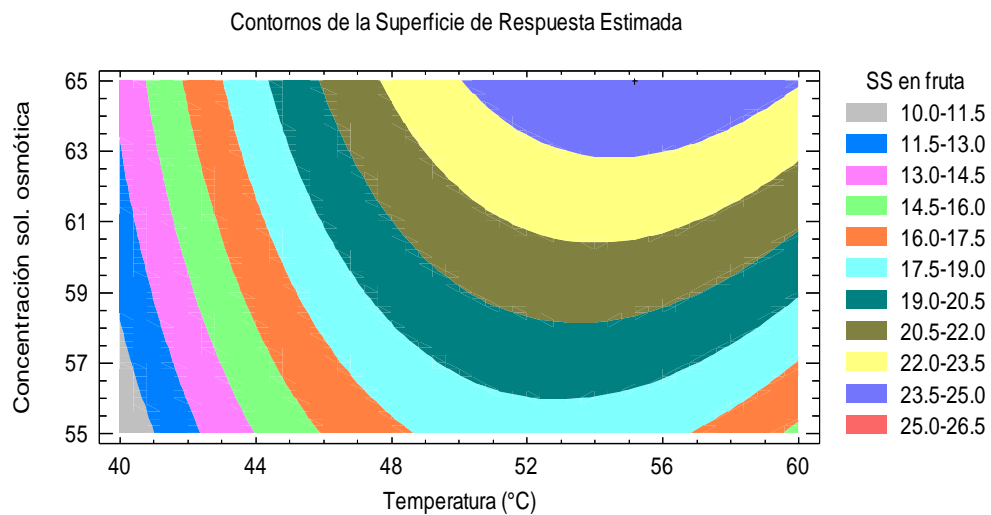


**Figura 24:** Superficie respuesta para optimizar la ganancia de Sólidos solubles en el fruto, en el proceso de deshidratación osmótica

En la Fig.24, podemos apreciar la región óptima de color entre naranja y crema en la esquina superior derecha, donde se logra aumentar al máximo la ganancia de solidos solubles en el fruto (delta de Sólidos solubles), estas condiciones se dan a una temperatura de 55.1593°C y a una concentración de solución osmótica de 65°Brix. bajo estas condiciones se logra maximizar el delta de solidos solubles hasta un valor óptimo de 24.7801°Brix.

Lo mencionado se puede apreciar concretamente en la Fig.25, en donde se puede apreciar los contornos de superficies de respuesta, la superficie de color bígaro, muestra la región en el plano donde se logran obtener las ganancias de Sólidos solubles más grandes, es la región donde la diferencia de Sólidos solubles alcanzan los valores más altos, opuestamente a lo mencionado se encuentra la superficie de color plomo en la esquina inferior izquierda, en el cual se aprecia que el delta de Sólidos solubles alcanza valores más bajos, lo que indica que en esa zona se encuentra el tratamiento menos eficaz con respecto a la ganancia o incorporación de Sólidos solubles en el fruto, a lo largo del proceso de deshidratación osmótica, esto nos da una

idea de que en dicho tratamiento la incorporación de azúcares en el fruto fue deficiente, esto debido a las condiciones experimentales inadecuadas de temperatura y concentración de la solución osmótica.



**Figura 25:** Contorno de superficie respuesta para optimizar la ganancia de sólidos solubles en la fruta, en el proceso de deshidratación osmótica

A continuación, se presentan las la Tabla 20, la cual contiene las condiciones óptimas de deshidratación en la ganancia de solidos solubles en la fruta.

**Tabla 20:**

Condiciones óptimas de deshidratación osmótica para la ganancia de sólidos solubles en la fruta

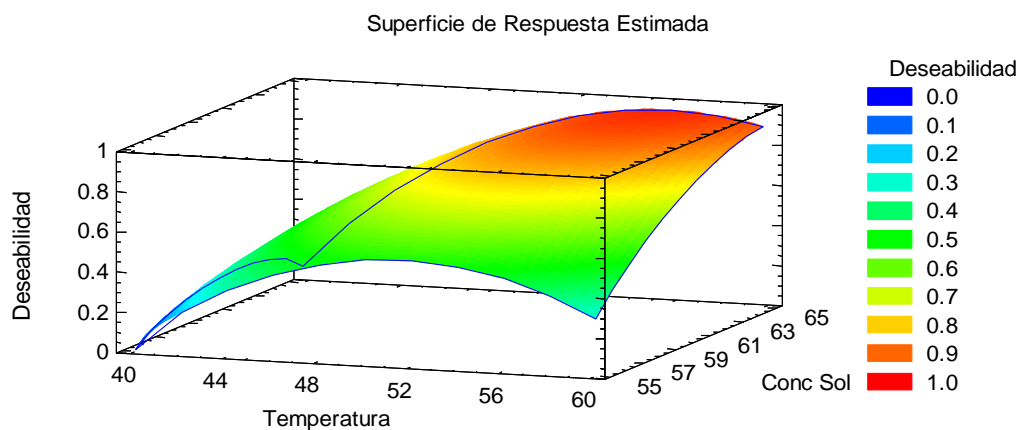
Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Temperatura (°C)	40.0	60.0	55.1593
Concentración (°Brix)	55.0	65.0	65.0

En la Tabla 20, se puede apreciar la combinación de los factores temperatura y concentración de solución osmótica. Estos factores maximizan la diferencia de Sólidos solubles sobre la región indicada. Pudimos obtener estas condiciones trazándonos como meta maximizar el delta de Sólidos solubles. Bajo estas condiciones logramos obtener un valor óptimo de 24.7801 °Brix, que representa la cantidad de sólidos solubles (°Brix) que se logran incorporar al fruto.

Finalmente, se pudo incorporar al fruto la cantidad de sólidos solubles de  $24.7801^{\circ}\text{Brix} \pm 0.1944^{\circ}\text{Brix}$  en un periodo de tiempo de 5 horas que duró el proceso de deshidratación osmótica. Se menciona también la baja desviación estándar de 19.44% que dejó la validación del método, lo que indica que el modelo de regresión empleado es el adecuado.

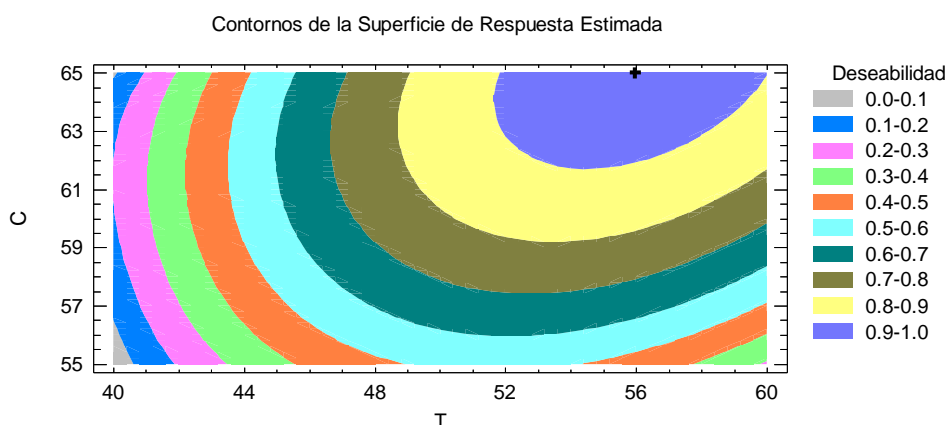
#### **4.8.Optimización conjunta de pérdida de humedad y ganancia de sólidos solubles en la osmodeshidratación**

Después de haber analizado el diseño para cada variable respuesta (delta H y delta SS) por separado, lo que hicimos fue analizar el diseño aplicando la función deseabilidad, la cual recoge información de los dos análisis anteriores, para desarrollar la optimización en conjunto.



**Figura 26:** Superficie respuesta para maximizar la función deseabilidad del fruto, en el proceso de deshidratación osmótica

En la Fig.26, podemos apreciar la región óptima de color entre naranja y crema, en la esquina superior derecha donde se logra aumentar al máximo la función Deseabilidad en el fruto, estas condiciones se dan a una temperatura de 55.9478°C y a una concentración de solución osmótica de 65°Brix bajo estas condiciones se logra maximizar la función Deseabilidad hasta un valor óptimo de 0.95608.



**Figura 27:** Contorno de superficie respuesta para maximizar la función Deseabilidad en la fruta, en el proceso de deshidratación osmótica

Lo mencionado lo podemos observar concretamente en la Fig.27, en donde se puede apreciar los contornos de superficies de respuesta para la función Deseabilidad



de la superficie de color plomo, ubicado en la esquina inferior izquierda de la Fig.27, muestra la región en el plano donde se logran obtener la Deseabilidad mínima, cercano a cero. lo que indica que en esa zona se encuentra el tratamiento menos eficaz; opuestamente a lo mencionado se encuentra la superficie de color Bígaro, ubicado en la esquina superior derecha de la Fig.27, la cual muestra la región en la superficie donde se logra obtener la Deseabilidad máxima cercana a uno (0.96). esto nos indica que en dicha región las condiciones experimentales fueron óptimas tanto de temperatura como de concentración de solución osmótica, durante el proceso de osmodeshidratación. Es por ello que en esa región se logra optimizar las variables respuestas reportadas en la tabla 22.

**Tabla 21:**

*Condiciones óptimas de deshidratación osmótica que logran maximizar la función Deseabilidad en la fruta*

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
T	40.0	60.0	55.9478
C	55.0	65.0	65.0

En la Tabla 21, se puede apreciar la combinación de niveles de factores a la cual se alcanza la deseabilidad óptima de 0.956081, estos factores temperatura y concentración de solución osmótica logran maximizar la función de “deseabilidad” en la región indicada. Estos factores minimizan la diferencia de humedad, pero a su vez maximizan el delta de sólidos solubles sobre la región indicada.

**Tabla 22:**

*Valores óptimos de las variables respuestas en la deshidratación osmótica que maximizan función Deseabilidad en la fruta*

Respuesta	Óptimo
Delta H	-1.98421
Delta SS en fruta	24.7491

En la Tabla 22, se puede apreciar los valores óptimos tanto de delta de humedad como de delta de Sólidos solubles en fruta. Estos valores fueron obtenidos maximizando la función deseabilidad, con ello se logra optimizar las variables respuestas de humedad y concentración de sólidos solubles. Pudimos obtener estos valores trazándonos como metas minimizar el delta de Humedad, así como maximizar el delta de sólidos solubles en fruta, de esta manera obtuvimos los valores óptimos de -1.98421 kg agua/kg s. seco y 24.7801 °Brix, respectivamente.

De acuerdo a la función deseabilidad del programa STATGRAPHICS pudimos obtener las condiciones experimentales ideales de temperatura y concentración de solución osmótica (56°C y 65°Brix), para la cual se maximiza la deseabilidad, la misma que se basa en la optimización de las variables respuestas de delta de humedad y delta de sólidos solubles.

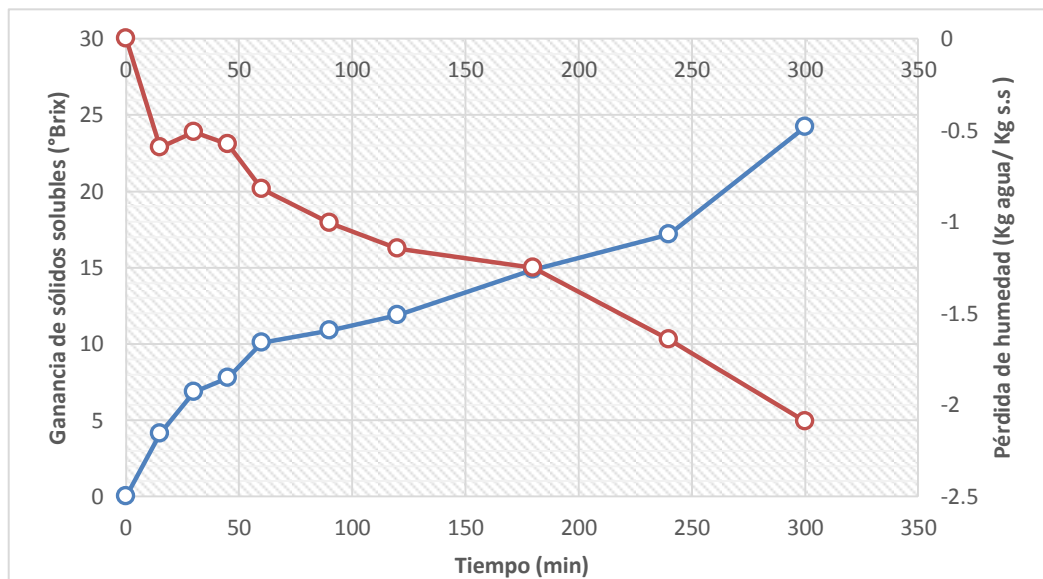
#### **4.9. Validación del modelo experimental**

Durante 300min se siguió la cinética de pérdida de humedad y ganancia de sólidos solubles en el fruto, para las condiciones optimizadas de deshidratación osmótica del arándano (Tabla 23). Los resultados de la Fig. 28 muestran que la más alta pérdida de humedad (-2.0915 Kg agua/Kg s.s) y la mayor ganancia sólidos solubles (24.2108°Brix) se alcanza a los 300 min de deshidratación.

**Tabla 23:**

Reporte de los valores de las variables respuestas durante 300 min a las condiciones óptimas de deshidratación osmótica a un nivel de agitación de 300rpm

56°C - 65 °Brix(óptimo 2)			
Tiempo	Grados Brix	Humedad (%)	Humedad (Kg de agua/Kg m.s)
0	12.9253	85.8055	6.045
15	17.0614	77.3708	5.4508
30	19.7758	78.5549	5.5342
45	20.6805	77.6111	5.4677
60	23.0071	74.1617	5.2247
90	23.7826	71.5017	5.0373
120	24.8167	69.5368	4.8988
180	27.7895	68.0523	4.7943
240	30.116	62.4921	4.4026
300	37.1361	56.1185	3.9535
Diferencia	24.2108	-29.687	-2.0914



**Figura 28:** Cinética de la pérdida de humedad y ganancia de sólidos solubles en el fruto para las condiciones de osmodeshidratación óptimas de 56°C y 65°Brix.

**Tabla 24:**

*Valores óptimos con margen de error de las variables respuestas en la deshidratación osmótica que maximizan función Deseabilidad en la fruta*

Resultados de la validación	Valor predicho	Experimento 1	Experimento 2	Experimento 3	Promedio
Pérdida de humedad (Kg agua/Kg s.s)	-1.9842± 0.054	-2.0915± 0.054	-1.9943± 0.054	-2.1205±0.054	-2.0476
Ganancia de sólidos solubles (°Brix)	24.7491±0.0094	24.2108±0.0094	24.4559± 0.0094	24.6523±0.0094	24.517

Estos resultados sugieren que la actual pérdida de humedad (-2.0915 Kg agua/Kg s.s) fue un valor muy cercano al valor predicho (-1.98421 Kg agua/Kg s.s) correspondiendo a una desviación mínima de 5.4 %, comprobándose que el modelo de regresión aplicado es el adecuado con respecto a la actual ganancia de sólidos solubles (24.2108°Brix) también se obtuvo un valor muy cercano al valor predicho (24.7491°Brix), con una desviación estándar de 0.94%. Cabe mencionar que sólo se está reportando la cinética mediante la Tabla 23 y Fig.28 para el “experimento 1” de la Tabla 24, los demás experimentos no se reportaron.

Estos valores óptimos son cercanos a los encontrados por (Ramaswamy & Nsonzi, 1998) para algunos tratamientos aplicados en deshidratación osmótica de arándanos en 5,5 h de proceso en la cual las condiciones experimentales fueron de 60 °C y 70 °Brix.

#### **4.10. Análisis sensorial de las pasas de arándano**

Para tener la certeza de que las condiciones anteriormente obtenidas, en la optimización conjunta, eran las ideales, se vio conveniente hacer uso de la herramienta de la calidad alimentaria “análisis sensorial”, la cual permitió evaluar en el producto terminado (papas de arándano) en los siguientes atributos: color, sabor y textura. A demás se analizó la aceptabilidad general y la intensidad de compra por partes de los panelistas.

Las muestras que evaluamos fueron llamadas óptimo 1, que corresponde a la muestra donde el delta de humedad es mínimo (55.46°C y 62.94°Brix), y el óptimo 2 que corresponde a la muestra donde la deseabilidad es máxima (55.95°C y 65°Brix). Cabe mencionar que no consideramos para nuestros análisis a la muestra cuyo delta de sólidos es máximo (55.16°C y 65°Brix), puesto que es evidente que numéricamente es similar a las condiciones donde la deseabilidad es máxima (óptimo 2).

#### **4.10.1. Procesamiento estadístico de los resultados del análisis sensorial**

El análisis sensorial se realizó a 50 panelistas no entrenados, los resultados fueron procesados estadísticamente.

Para el análisis estadístico de los datos recopilados se aplicó un Análisis de Varianza Simple (ANOVA), según (Sokal & Rohlf, 1981), para establecer la existencia de diferencias significativas entre las muestras (óptimo 1 y óptimo 2). Para procesar la información hicimos uso del Software STATGRAPHICS CENTURION.

Este procedimiento ejecutó un análisis de varianza de un factor para una muestra específica. Construyendo varias pruebas y gráficas que compararon los valores medios de cada muestra realizada, para los 2 diferentes niveles de muestra (óptimo 1 y óptimo 2).

La prueba-F en la tabla ANOVA determinó si hay diferencias significativas entre las medias. Cuando las hubo, lo que analizamos fue el tamaño de las medias, las sumatorias de los puntajes y la desviación estándar tanto del óptimo 1, como del óptimo 2, de esta manera pudimos identificar estadísticamente que muestra fue la mejor. Las gráficas nos ayudaron a juzgar la significancia práctica de los resultados, así como nos permitieron buscar posibles violaciones de los supuestos subyacentes en el análisis de varianza.

Procedimos a introducir los resultados obtenidos del Análisis sensorial, al programa STATGRAPHICS, el cual procesó la información y nos brindó resultados confiables.

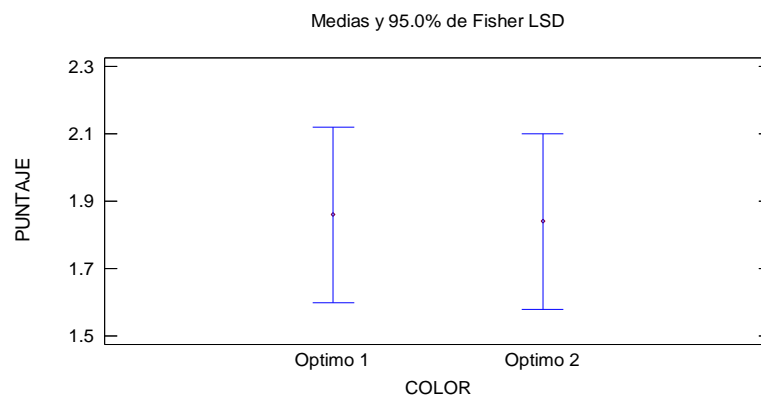
- *Análisis de varianza (ANOVA) para puntaje de color.*

**Tabla 25:**

*Análisis de varianza (ANOVA) para puntaje de color*

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.01	1	0.01	0.01	0.9394
Intra grupos	168.74	98	1.72184		
Total (Corr.)	168.75	99			

Para el análisis ANOVA mostrado en la Tabla 25, se tiene que el valor-P es mayor a 0.05, por lo tanto, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de puntaje entre un nivel de óptimo y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.



**Figura 29:** Valores promedios del puntaje para color

En la Fig.29, muestra gráficamente los valores promedios de puntaje para cada óptimo establecido, para el atributo color. En otras palabras, se muestran los

promedios de los puntajes establecidos por los panelistas. Empleando el procedimiento de Fisher LSD, gráficamente podemos determinar que no existe diferencia estadística significativa entre las medias estudiadas, ya que el intervalo del óptimo 1 se traslapa con el intervalo del óptimo 2, en dirección vertical. Los resultados del análisis de varianza ANOVA simple reportaron que no había diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre la media del puntaje entre un nivel de óptimo y otro, con  $F = 0.01$ , lo que indica que las muestras analizadas son similares entre sí, con respecto al atributo color, en pocas palabras tienen colores parecidos, no son diferentes estadísticamente.

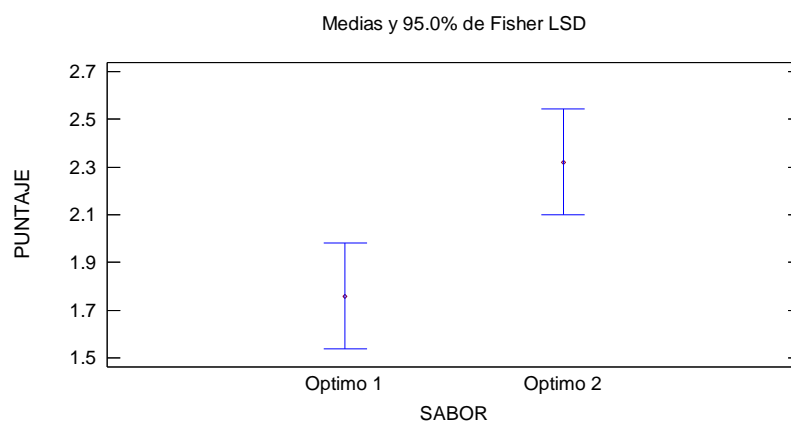
- **Análisis de varianza (ANOVA) para puntaje de sabor.**

**Tabla 26:**

*Análisis de varianza (ANOVA) para puntaje de sabor*

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón -F	Valor-P
Entre grupos	7.84	1	7.84	6.30	0.0137
Intra grupos	122.0	98	1.2449		
Total (Corr.)	129.84	99			

En la Tabla 26, se tiene que el valor-P es menor a 0.05, Existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de puntaje entre un nivel de óptimo y otro, con un nivel del 95.0% de confianza. para determinar qué media es significativamente mejor que otra, analizamos algunas variables estadísticas. el mejor promedio 2.32 fue del óptimo 2, el óptimo 1 tuvo la mayor variación en su puntaje, con una desviación estándar de 1.13, con respecto a la suma de sus datos el óptimo 2 adquirió un mayor puntaje de 116, con todo lo mencionado manifestamos que la muestra correspondiente al óptimo 2, es mejor estadísticamente que la muestra del óptimo 1, con respecto al atributo sabor, en pocas palabras el óptimo 2, fue más sabroso que el óptimo 1.



**Figura 30:** Valores promedios del puntaje para sabor

En la Fig. 30, se muestra gráficamente los valores promedios de puntaje para cada óptimo establecido, para el atributo sabor. en otras palabras, se muestran los promedios de los puntajes establecidos por los panelistas. empleando el procedimiento de Fisher LSD, gráficamente podemos determinar que sí existe diferencia estadística significativa entre las medias estudiadas, ya que el intervalo del óptimo 1 no se traslapa con el intervalo del óptimo 2, en dirección vertical. los resultados del análisis de varianza ANOVA simple reportaron que sí existe diferencias significativas



( $P < 0,05$ ) entre la media del puntaje entre un nivel de óptimo y otro, con  $F = 6.30$ , lo que indica que las muestras analizadas no fueron similares entre sí, con respecto al atributo sabor, en pocas palabras tuvieron sabores distintos, fueron diferentes estadísticamente. Por el puntaje de las medias se deduce que el óptimo 2 tuvo mejor sabor para los panelistas.

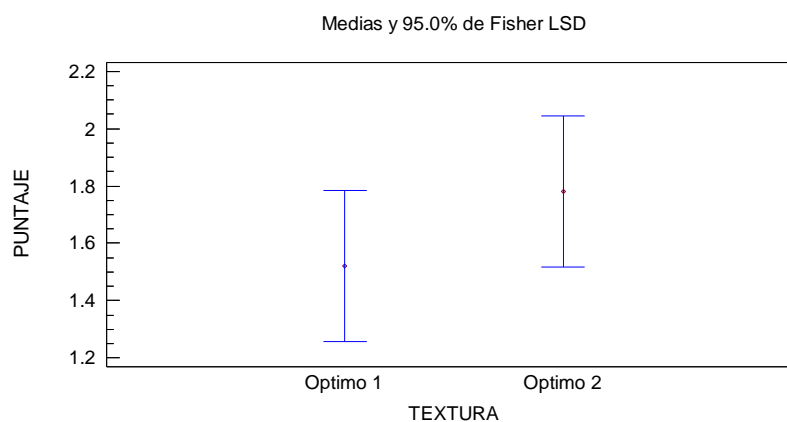
- **Análisis de varianza (ANOVA) para puntaje de textura**

**Tabla 27:**

Análisis de varianza (ANOVA) para puntaje por textura

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1.69	1	1.69	0.96	0.3304
Intra grupos	173.06	98	1.76592		
Total (Corr.)	174.75	99			

En la Tabla 27, se tiene que el valor-P es mayor a 0.05, No existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de puntaje entre un nivel de óptimo y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.



**Figura 31:** Valores promedios del puntaje para textura

La Fig.31, muestra gráficamente los valores promedios de puntaje para cada óptimo establecido, para el atributo textura. En otras palabras, se muestran los promedios de los puntajes establecidos por los panelistas. Empleando el procedimiento de Fisher LSD, gráficamente podemos determinar que no existió diferencia estadística significativa entre las medias estudiadas, ya que el intervalo del óptimo 1 se traslapa con el intervalo del óptimo 2, en dirección vertical. los resultados del análisis de varianza ANOVA simple reportaron que no había diferencias significativas ( $P>0,05$ ) entre la media del puntaje entre un nivel de óptimo y otro, con  $F= 0.96$ , lo que indica que las muestras analizadas fueron similares entre sí, con respecto al atributo textura, en pocas palabras tuvieron texturas parecidas, que los panelistas no alcanzaron a diferenciar, no fueron diferentes estadísticamente.

- ***Análisis de varianza (ANOVA) para puntaje de Aceptabilidad General.***

**Tabla 28:**

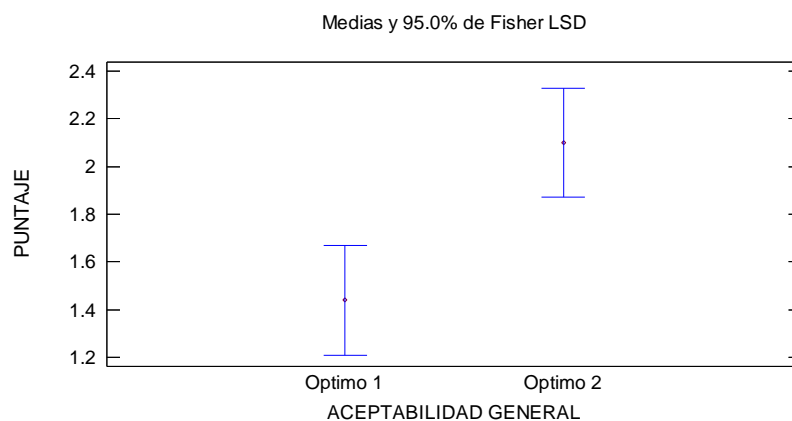
*Análisis de varianza (Anova) para puntaje por aceptabilidad general*

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	10.89	1	10.89	8.16	0.0052
Intra grupos	130.82	98	1.3349		
Total (Corr.)	141.71	99			

En la Tabla 28, se tiene que el valor-P es menor a 0.05, Existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de puntaje entre un nivel de óptimo y otro, con un nivel del 95.0% de confianza. para determinar qué media fue significativamente mejor que otra, analizamos algunas variables estadísticas. el mejor promedio 2.10 fue para el óptimo 2, el óptimo 1 tuvo la mayor variación en su puntaje, con una desviación estándar de 1.28, con respecto a la suma de sus datos el

óptimo 2 adquirió un mayor puntaje de 105, con todo lo mencionado manifestamos que la muestra correspondiente al óptimo 2, fue mejor estadísticamente que la muestra del óptimo 1, con respecto a la evaluación de aceptabilidad general, en pocas palabras el óptimo 2 fue más aceptable que el óptimo 1, puesto que los panelistas han podido diferenciarlo.

La Fig. 32, se muestra que los valores promedios de puntaje para cada óptimo establecido, para aceptabilidad general. En otras palabras, se muestran los promedios de los puntajes establecidos por los panelistas. Empleando el procedimiento de Fisher LSD, gráficamente pudimos determinar que sí existió diferencia estadística significativa entre las medias estudiadas, ya que el intervalo del óptimo 1 no se traslapa con el intervalo del óptimo 2, en dirección vertical. Los resultados del análisis de varianza ANOVA simple reportaron que sí existió diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre la media del puntaje entre un nivel de óptimo y otro, con  $F = 8.16$ , lo que indicó que las muestras analizadas no fueron similares entre sí, con respecto a la Aceptabilidad General, en pocas palabras una muestra fue más Aceptada que la otra, por lo tanto, fueron diferentes estadísticamente. por el puntaje de las medias se deducimos que el óptimo 2 tuvo mejor Aceptación para los panelistas.



**Figura 32:** Valores promedios del puntaje para aceptabilidad general

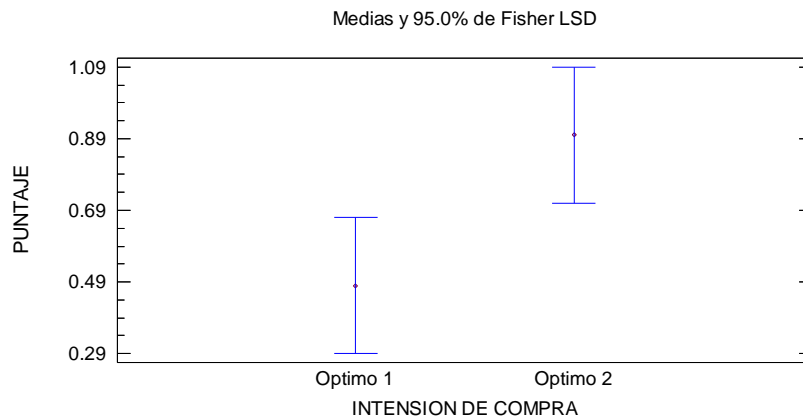
- *Análisis de varianza (ANOVA) para puntaje de Intensión de compra.*

**Tabla 29:**

*ANOVA para puntaje por intensidad de compra*

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	4.41	1	4.41	4.86	0.0299
Intra grupos	88.98	98	0.907959		
Total (Corr.)	93.39	99			

En la Tabla 29, se tiene que el valor -P es menor a 0.05, Existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de puntaje entre un nivel de óptimo y otro, con un nivel del 95.0% de confianza. Para determinar qué media fue significativamente mejor que otra, analizamos algunas variables estadísticas. el mejor promedio 0.9 fue para el óptimo 2, el óptimo 1, tuvo la mayor variación en su puntaje, con una desviación estándar de 1.11, con respecto a la suma de sus datos, el óptimo 2 adquirió un mayor puntaje de 45, con todo lo mencionado manifestamos que la muestra correspondiente al óptimo 2, fue mejor estadísticamente que la muestra del óptimo 1, con respecto a la evaluación de intensidad de compra. En pocas palabras los panelistas se inclinaron a comprar el óptimo 2.



**Figura 33:** Valores promedios del puntaje para intensidad de compra

La Fig.33 muestra gráficamente los valores promedios de puntaje para cada óptimo establecido, para intención de compra. en otras palabras, se muestran los promedios de los puntajes establecidos por los panelistas. empleando el procedimiento de Fisher LSD, gráficamente podemos determinar que sí existió diferencia estadística significativa entre las medias estudiadas, ya que el intervalo del óptimo 1 no se traslapa con el intervalo del óptimo 2, en dirección vertical. los resultados del análisis de varianza ANOVA simple reportaron que sí existió diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre la media del puntaje entre un nivel de óptimo y otro, con  $F = 4.86$ , lo que indica que las muestras analizadas no fueron similares entre sí, con respecto a la Intensión de Compra, en pocas palabras los panelistas se inclinaron mucho más, por la muestra del óptimo 2, que por la del óptimo 1, estas muestras son diferentes estadísticamente. Por el puntaje de las medias deducimos que los panelistas tienen preferencia por la muestra del óptimo 2.

#### **4.10.2. Análisis de los resultados estadísticos del análisis sensorial**

Los resultados de los análisis estadísticos manifestaron abiertamente que la muestra perteneciente al óptimo 2, tuvo mayor preferencia para los panelistas, con

respecto al Sabor, Aceptabilidad General e Intención de compra. Mientras que con respecto a los atributos de color y textura, los panelistas no lograron diferenciar en sus puntajes ambas muestras, puesto que tanto en el color como en la textura ambas muestras eran muy similares, eso lo ratificó lo cercano de sus medias para cada muestra (óptimo 1 y 2).

Entonces queda demostrado con el análisis sensorial, que los valores de procesamiento óptimos para el proceso de deshidratación osmótica, son los pertenecientes a la muestra del óptimo 2, cuya Temperatura fue de 55.9478°C y cuya concentración de solución osmótica fue de 65°Brix. Con estas condiciones de procesamiento al terminar el proceso de osmodeshidratación, se logró extraer del producto 1.98421 kg agua/Kg s.s de humedad, y se logró ganar 24.7491 °Brix, esta es la cantidad de sólidos solubles que se logran incorporar al producto al finalizar el proceso de deshidratación, ahora bien, debido a esta interesante ganancia de Sólidos, los panelistas encontraron mucho más sabroso a la muestra del óptimo 2. cabe mencionar que el óptimo 1 fue la muestra final en donde las condiciones, tanto de temperatura como de concentración de solución osmótica, lograron extraer la mayor cantidad humedad del producto. Con esto podemos deducir que, aunque se retire más humedad del producto, no nos va a garantizar un producto sabroso, agradable al paladar, es mejor extraer la cantidad de agua necesaria e incorporar la mayor cantidad de sólidos solubles, estas condiciones se dan en la muestra del óptimo 2.

Según los análisis estadísticos realizados no existieron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre los atributos de color y textura en las muestras evaluadas. Mientras, que se observaron diferencias estadísticas significativas ( $P < 0,05$ ) entre sabor, aceptabilidad general e intención de compra. Lo que hace que la

muestra perteneciente al óptimo 2 esté por encima del óptimo 1, en cuanto a preferencias.

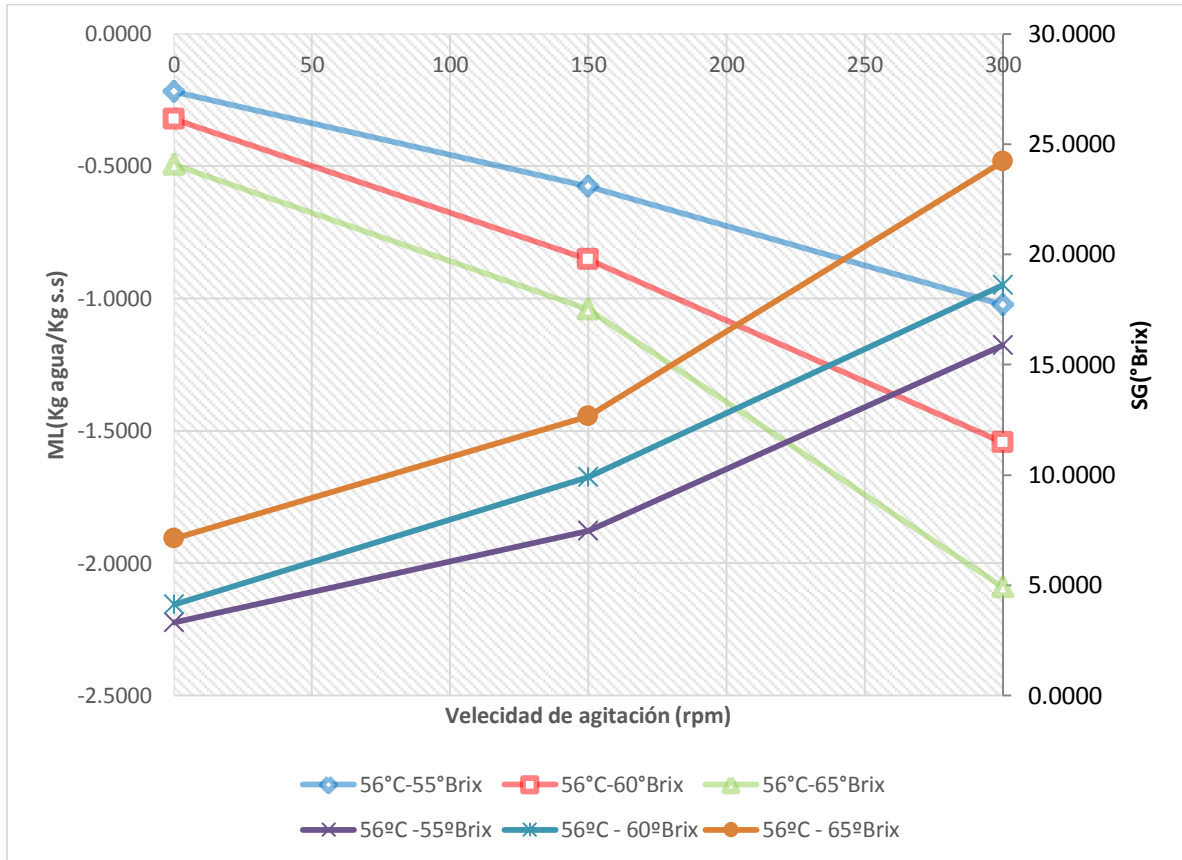
Con respecto a los análisis de las variables estadísticas, podemos manifestar que la desviación estándar de todos atributos evaluados en las muestras, son relativamente bajos, esto indica que los panelistas han tenido uniformidad en calificar a las muestras óptimo 1 y óptimo 2, ya que no hubo mucha variación en sus puntajes, es decir, sus resultados son confiables.

#### **4.11. Análisis de difusividad.**

##### **4.11.1. Osmosis con disoluciones de sacarosa.**

La aplicación de las ecuaciones (1), (2) y (3) mostradas en la metodología, se aplicaron los datos experimentales para calcular los parámetros correspondientes a la ganancia de sólidos (SG) y a la pérdida de humedad (ML) en el lapso de 300min, cuyos valores se presentan en la Fig.34, para alguno de los sistemas tomados como ejemplo de las concentraciones de sacarosa (55, 60y 65 °Brix) y velocidades de agitación (0, 150 y 300 rpm) a 56 °C. En todos los casos existe una significativa transferencia de materia en los momentos iniciales, que se mantiene creciente en el tiempo del proceso, y va disminuyendo progresivamente debido al decrecimiento de la fuerza impulsora. Para un tiempo de contacto y nivel de agitación determinados, tanto la ganancia de sólidos como la pérdida de humedad, aumentan con la concentración del medio osmótico. Por su parte, la velocidad de agitación del medio (300rpm), provoca una mayor transferencia de materia respecto al sistema estático (0rpm), siendo el efecto menos creciente a menores agitaciones (150 rpm). Los valores correspondientes al sistema en condiciones estáticas están de acuerdo con valores reportados por Chenlo et al., (2007). En medio estático (0rpm) la velocidad de

transferencia del proceso es menor que en dinámico debido probablemente a la formación de costras que provocan una barrera o resistencia al transporte másico.



**Figura 34:** Parámetros cinéticos de ganancia de sólidos (SG) y pérdida de humedad (ML) de la deshidratación del arándano al tiempo de 300min en disoluciones de sacarosa a diferente concentración y velocidad de agitación, a 56 °C

En la Fig. 34, se observa que los valores finales de SG y ML (al tiempo de 300min) permiten calcular la relación (pérdida de humedad) -(ganancia de sólidos), ML/SG (Tabla 30). Se observa que tanto SG como ML aumentan con la concentración, resultados concordantes con la bibliografía (Chenlo *et al.*, 2006) y también aumentan con la velocidad de agitación a la que se somete el medio osmótico, indicando, por tanto, que en las condiciones experimentales ensayadas se favorece más la transferencia de incorporación de sacarosa hacia el alimento. Con



respecto al cociente ML/SG, este tiende a disminuir conforme se aumenta la velocidad de agitación del medio osmótico, en especial para la dilución más concentrada (65°Brix).

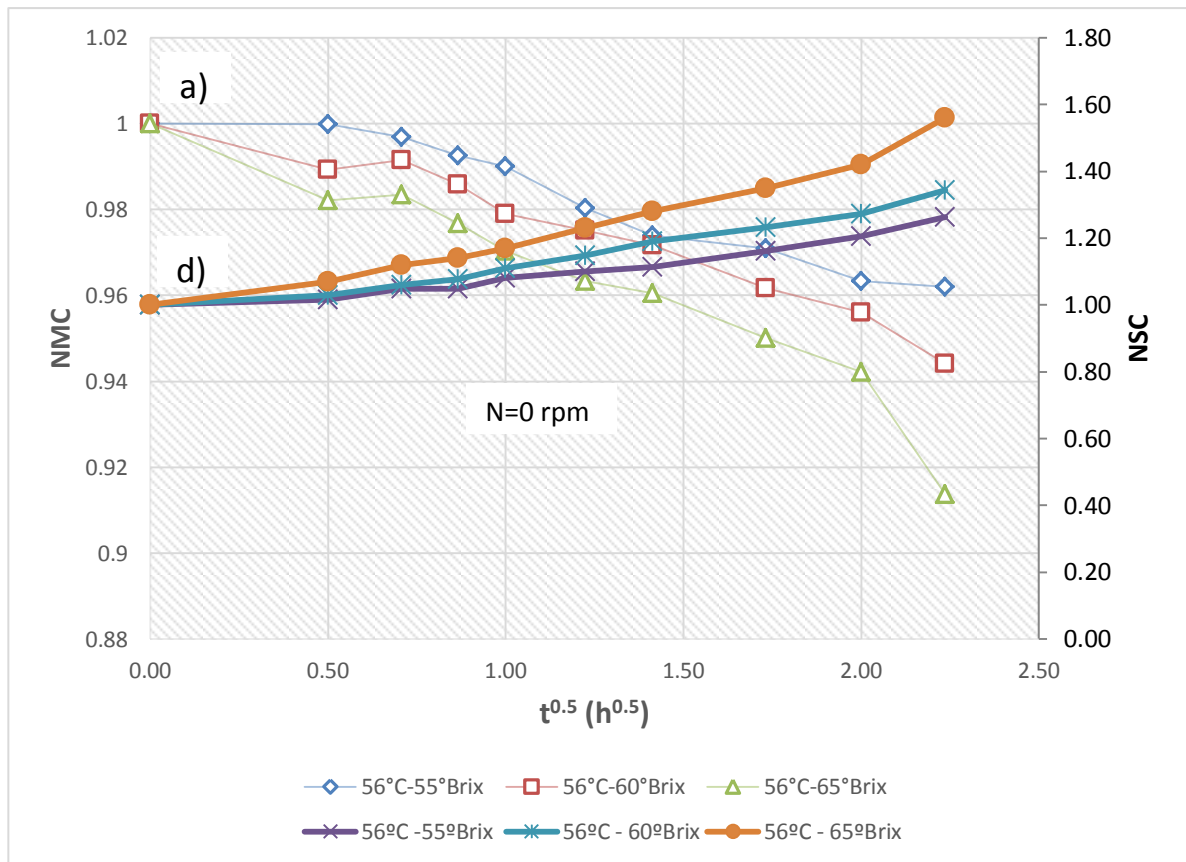
**Tabla 30:**

*Parámetros cinéticos de ganancia de sólidos (SG), pérdida de agua (ML) y relación ML/SG, correspondientes al tiempo máximo ensayado (300 min) en la deshidratación con sacarosa (55, 60 y 65 °Brix) con velocidades de agitación del medio (0,150 y 300 rpm)*

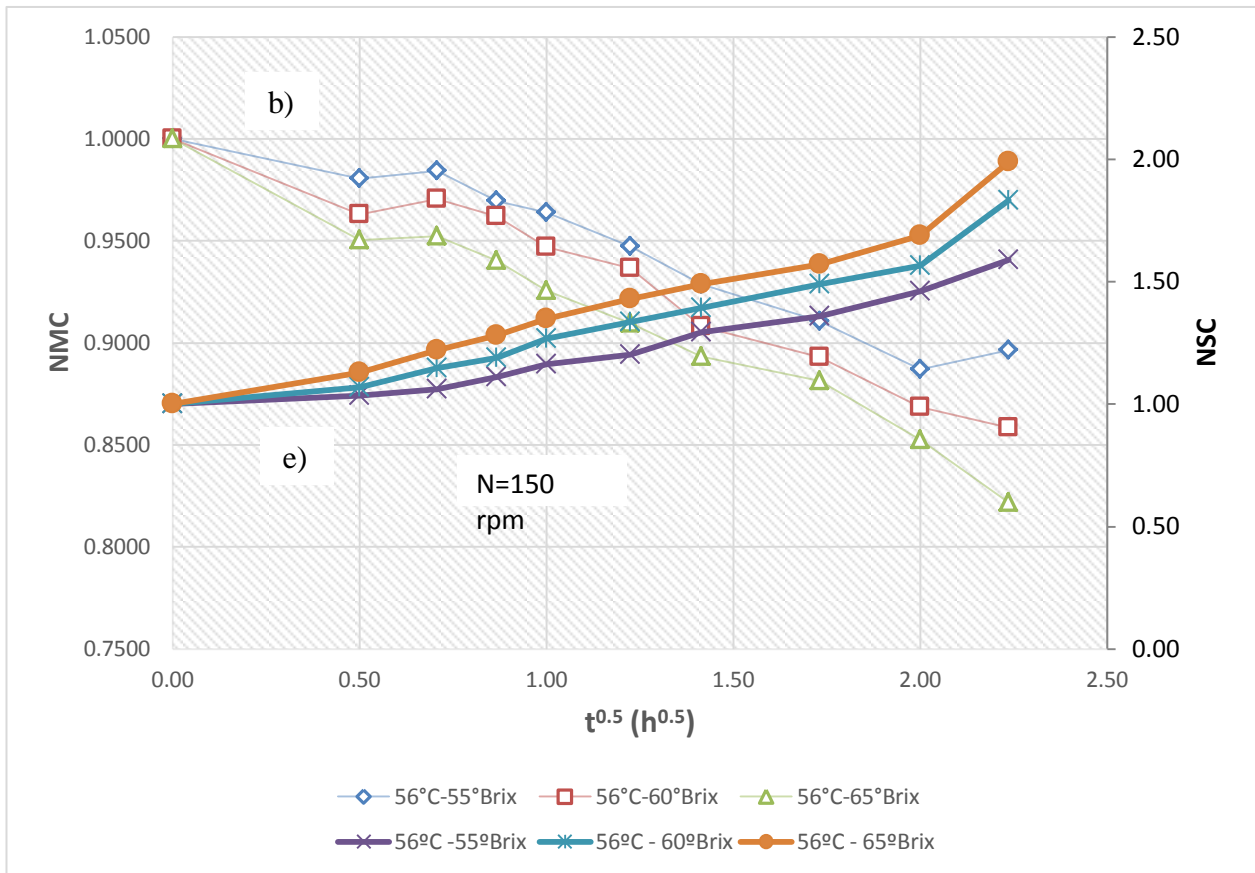
Medio osmótico  Sacarosa, 56°C	Velocidad de Agitación (rpm)	Concentración (°Brix)		
		55	60	65
SG (°Brix)	0	3.3214	4.1311	7.1268
	150	7.4532	9.8934	12.6744
	300	15.8806	18.6237	24.2108
ML (%)	0	-3.2311	-4.7612	-7.3427
	150	-8.7832	-12.1219	-15.2144
	300	-16.2010	-21.0177	-29.6870
ML/SG	0	-0.9728	-1.1525	-1.0303
	150	-1.1784	-1.2253	-1.2004
	300	-1.0202	-1.1285	-1.2262

La aplicación de las ecuaciones (4) y (5) y el conocimiento del contenido de humedad de las muestras, permite calcular el contenido de humedad normalizado (NMC) y el contenido de sólidos normalizado (NSC) (Fig.35). En las Figs. 35, 36,37, las cuales tienen punto de origen en a), b) y c) se puede constatar que el contenido de humedad normalizado disminuye en función del tiempo, principalmente durante las primeras horas del proceso y que, en todo el intervalo de la deshidratación, su valor es menor para velocidades de agitación de 300 rpm. Por tanto, la velocidad de agitación del medio osmótico favorece la eliminación de humedad del alimento. En las Figs. 35, 36,37 en los cuales se tiene punto de origen en d), e) y f) se puede observar que el contenido de sólidos normalizados aumenta a medida que transcurre el tiempo, esto se

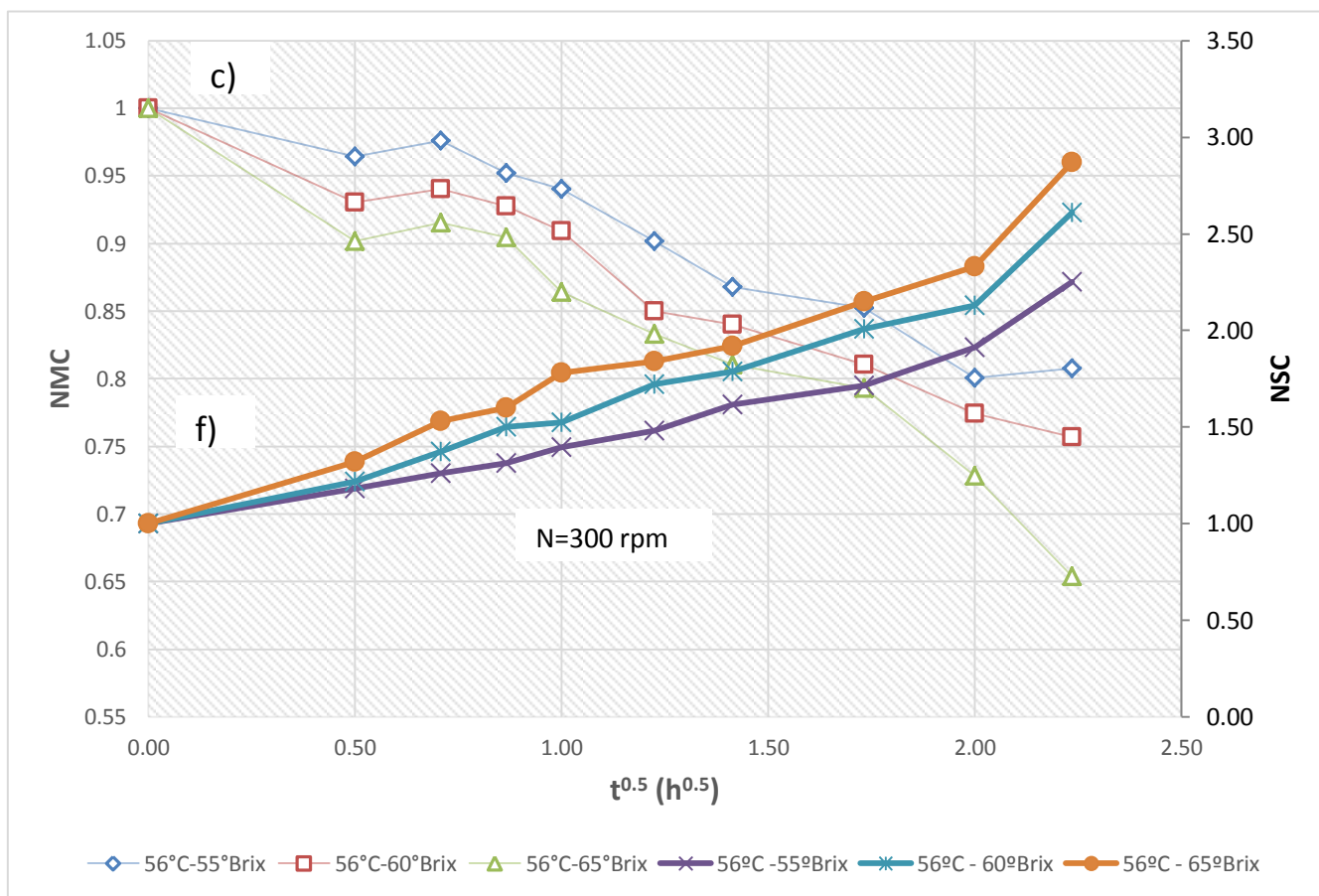
produce en continuo durante todo el tiempo de deshidratación estimado, y claro va finalizando una vez que se va aproxima al equilibrio.



**Figura 35:** Parámetros cinéticos de contenido normalizado de humedad (NMC) y de sólidos (NSC) de la deshidratación del arándano en disoluciones de sacarosa a diferente concentración y velocidad de agitación (0 rpm), a 56 °C. Líneas corresponden a las ecs. (6 y 7)



**Figura 36:** Parámetros cinéticos de contenido normalizado de humedad (NMC) y de sólidos (NSC) de la deshidratación del arándano en disoluciones de sacarosa a diferente concentración y velocidad de agitación(150 rpm), a 56 °C. Líneas corresponden a las ecs. (6 y 7)



**Figura 37:** Parámetros cinéticos de contenido normalizado de humedad (NMC) y de sólidos (NSC) de la deshidratación del arándano en disoluciones de sacarosa a diferente concentración y velocidad de agitación (300 rpm), a 56 °C. Líneas corresponden a las ec. (6 y 7)

En la Tabla 31 se presentan los valores de los coeficientes de transferencia correspondientes al modelo propuesto por (Hawkes & Flink, 1978) determinados por análisis de regresión, donde en ambos casos aumentaron con la concentración del medio y con el grado de agitación de la disolución osmótica. En las Figs. 35, 36,37 se observa el satisfactorio ajuste de los valores experimentales de NSC y del NMC para todo el tiempo del proceso osmótico (5h). A través de las ecuaciones (8) y (9) se calculan los valores del coeficiente de difusividad efectiva,  $D_{eff}$ , y consecuentemente, los de la difusividad de agua en el sólido,  $D_s$ , para velocidades de agitación de 300 rpm (Tabla 31). Para esta velocidad de agitación se propone que toman valores iguales, lo que quiere decir que toda la resistencia a la transferencia de masa está dentro de la muestra sólida, ya que con esta velocidad de agitación (300rpm) se elimina el gradiente de concentración externo. Un análisis de estos valores permite concluir que un aumento de la concentración del medio hace que el coeficiente de difusividad efectiva aumente. Seguidamente, con los valores de la difusividad del agua en el sólido, y a través de la ecuación (10), se calculan los coeficientes de transferencia de masa externo ( $k_{ext}$ ) para las diferentes concentraciones del medio osmótico y velocidades de agitación de 0 y 150 rpm. Los valores de estos coeficientes son más altos cuanto más altas son la concentración y la velocidad de agitación de la disolución y están de acuerdo con la bibliografía (Tonon, Baroni, & Hubinger, 2007). Los coeficientes de transferencia de masa, cuando la velocidad de agitación es 0 son más bajos que para velocidades superiores, como era de esperarse, ya que existe un gradiente de concentración en la superficie externa del arándano, provocado por la impregnación del soluto en la capa externa del arándano.

**Tabla 31:**

*Coefficientes de la ecuación de Hawkes-Flink para el agua ( $k_w$ ) y el soluto ( $k_s$ ), coeficientes de difusividad efectiva ( $D_{eff}$ ) y de difusividad del agua en el sólido ( $D_s$ ) y coeficientes de transferencia de masa externo ( $k_{ext}$ ), correspondientes al tiempo tiempo tiempo máximo ensayado (5h) en la deshidratación con sacarosa (55, 60 y 65°Brix), velocidades de agitación del medio osmótico (0, 150 y 300 rpm) a 56°C*

Coeficientes. de la ecuación de Hawkes-Flink	Velocidad de agitación (rpm)	Concentración (°Brix)					
		55	$R^2$	60	$R^2$	65	$R^2$
Medio osmótico: sacarosa							
$K_w(h^{-0.5})$	0	0.021	0.94	0.025	0.97	0.034	0.94
	150	0.055	0.95	0.066	0.97	0.075	0.98
	300	0.099	0.95	0.113	0.97	0.141	0.96
$K_s(h^{-0.5})$	0	0.118	0.95	0.159	0.97	0.242	0.97
	150	0.273	0.95	0.353	0.95	0.406	0.95
	300	0.522	0.95	0.667	0.96	0.747	0.96
$D_{eff}(10^{-10}m^2/s)$	0	0.297		0.428		0.822	
	150	2.154		3.088		3.944	
	300	6.998		8.978		13.95	
$D_s(10^{-10}m^2/s)$	300	6.998		8.978		13.95	
	0	0.172		0.249		0.485	
$K_{ext}(10^{-8}m/s)$	150	1.729		2.615		3.055	

Los parámetros cinéticos característicos empleados para el análisis de la deshidratación osmótica, SG, ML, NMC, NSC, para todos los solutos osmóticos ensayados, aumentaron con la concentración y el nivel de agitación. Los sistemas mostraron comportamientos comunes, mostrando una velocidad apreciable, durante las 5 h de ensayo. Para efectos industriales, no es procedente sobrepasar el tiempo de 5 h de tratamiento osmótico, minimizando así los costos de operación. La relación

pérdida de humedad–ganancia de sólidos,  $ML/SG$ , tiende a disminuir con el incremento de la velocidad de agitación. La velocidad de agitación del medio osmótico da lugar a una mayor intensidad del proceso de deshidratación y de ganancia de sólidos a medida que la agitación aumenta. Se constata que la agitación favorece la transferencia de masa al reducir las resistencias externas que existen entre el medio y el arándano y que parte de la resistencia global al transporte se encuentra en el medio osmótico. La temperatura a la que se realiza la deshidratación ( $56^{\circ}C$ ) favorece la intensidad del proceso, teniendo en cuenta que es la temperatura más óptima, ya que produce mayores valores de todos los parámetros cinéticos evaluados. Los coeficientes de la transferencia de materia (agua y soluto osmótico),  $k_w$  y  $k_s$ , evaluados a través del modelo propuesto por Hawkes y Flink, aumentan con la concentración y velocidad de agitación del medio osmótico. Gracias a la determinación de estos parámetros se ha podido realizar la modelización correspondiente al proceso y predecir la velocidad del mismo. Por último, gracias a estos coeficientes antes mencionados se lograron encontrar los coeficientes de la difusividad efectiva del agua  $Deff$  y consecuentemente la difusividad del soluto osmótico  $Ds$  en el interior del arándano.  $Ds$  aumenta, con la concentración del medio osmótico. El coeficiente externo de transferencia de materia ( $k_{ext}$ ) se incrementa con el aumento de la concentración y la velocidad de agitación del medio osmótico.

#### **4.12. Determinación de la actividad de agua ( $a_w$ )**

Luego de la osmodeshidratación bajo las condiciones experimentales ideales  $56^{\circ}C$  y  $65^{\circ}Brix$  (Optimo 2) y secado del arándano, al producto pasas de arándano se le determinó la humedad y la actividad de agua al final del proceso.

La humedad resultante fue de 11.06% y la determinación de la actividad de agua de las pasas de arándano fue obtenido a partir de los valores pH y °Brix que se obtuvieron al final del proceso.

Esto fue posible gracias al desarrollo de un modelo predictivo (Gabriel, 2007) que logró estimar la actividad de agua en función de los valores pH (1-8) y °Brix (0-82) de soluciones alimenticias simuladas, mediante la metodología de superficie respuesta, con ello se logró encontrar un modelo polinómico de segundo orden, mostrado en la Eq. (1), este modelo se usó para explicar las relaciones no lineales entre las variables independientes (pH y °Brix) y de respuesta ( $a_w^{25^\circ\text{C}}$ ). (Hu, 1999) explicó que los modelos polinómicos de menor grado, que incorporan términos cuadráticos, son más apropiados para describir adecuadamente los procesos alimentarios.

$$Y^2 = \beta_0 + \beta_1(x_1) + \beta_2(x_2) + \beta_{1x_2}(x_1 * x_2) + \beta_{1x_1}(x_1^2) + \beta_{2x_2}(x_2^2) \dots \dots \dots (1)$$

Dónde:

- Y: Actividad de agua a 25°C
- $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_{1x_1}, \beta_{1x_2}, \beta_{2x_2}$ : Constantes
- X<sub>1</sub>: pH
- X<sub>2</sub>: °Brix

Transformando la Ec. (1) en términos de  $a_w^{25^\circ\text{C}}$ , pH y °Brix tenemos:

$$a_w^{25^\circ\text{C}} = [0.95 + 0.03(pH) + 1.02 * 10^{-3}(^\circ\text{Brix}) + 5.21 * 10^{-4}(pH * ^\circ\text{Brix}) - 3.95 * 10^{-3}(pH^2) - 1.07 * 10^{-4}(^\circ\text{Brix}^2)]^{1/2} \dots \dots \dots (2)$$

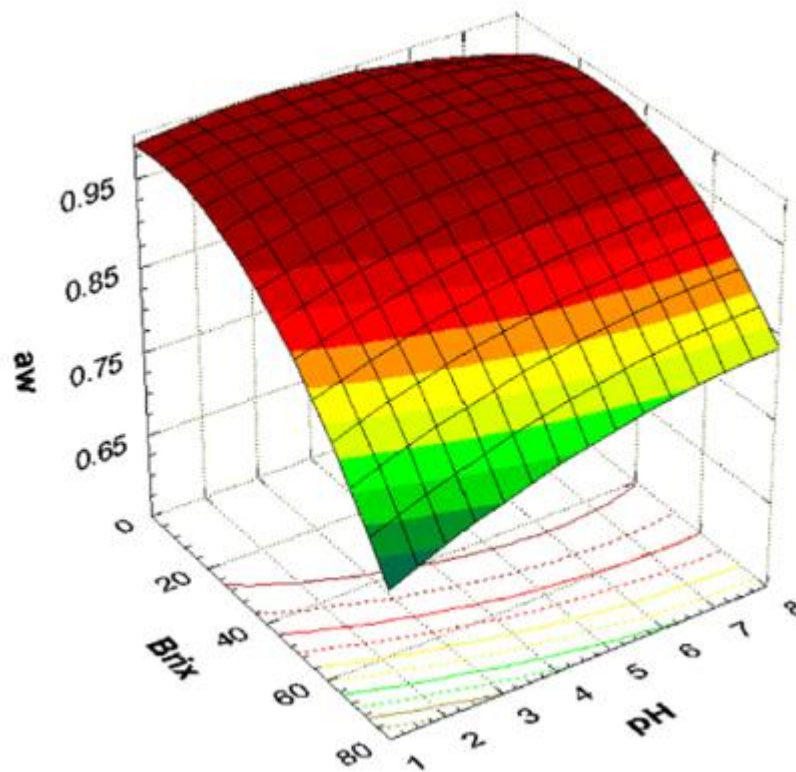
La Ec. (2) fue la que se utilizó para lograr predecir de forma fiable la variable respuesta,  $a_w^{25^\circ\text{C}}$ . Según (Jagannath & Tsuchido, 2003) un modelo predictivo sólo se puede utilizar de forma segura en la toma de decisiones cuando se valida. cabe mencionar que el método utilizado para obtener la ecuación ha sido validado, es decir



que el autor (Gabriel, 2007) en su informe realizó comparaciones de  $a_w^{25^\circ\text{C}}$  entre sistemas de alimentos simulados y alimentos reales, en donde la actividad de agua para los alimentos simulados ( $^P a_w^{25^\circ\text{C}}$ ) fueron encontrados con la Eq.(2), mientras que para los alimentos reales ( $a_w^{25^\circ\text{C}}$ ) se calculó directamente la actividad de agua con el equipo Novasina<sup>TM</sup> ms1 Switzerland cuantificador de actividad de agua. Los resultados de estas comparaciones arrojaron que las diferencias eran mínimas, indicando el alto nivel de confiabilidad del método. Por todo lo mencionado hicimos uso de la Eq.(2) para calcular nuestra  $a_w^{25^\circ\text{C}}$ , ya que los resultados de validación del autor (Gabriel, 2007) mostraron que el modelo que vamos a aplicar, tiene un rendimiento predictivo aceptable.

### **Fundamento de la influencia de los valores de pH y °Brix en relación a la $a_w^{25^\circ\text{C}}$**

La Ec. (2) muestra la influencia cuadrática de las variables independientes pH y °Brix con respecto a la variable respuesta  $a_w^{25^\circ\text{C}}$ . La interpretación de la Ec. (2) se puede realizar en base gráfica de superficie respuesta de la Fig. 38, donde se aprecia que a medida que aumenta el valor del °Brix, disminuye rápidamente la  $a_w^{25^\circ\text{C}}$ , lo que indica que existe una relación inversamente proporcional entre estas variables, mientras que a medida que aumenta el pH, aumenta gradualmente la  $a_w^{25^\circ\text{C}}$ , lo que es indicativo de una relación directamente proporcional entre dichas variable.



**Figura 38:** Superficie respuesta que muestra la influencia del pH y de los °Brix en relación a la  $a_w^{25^\circ\text{C}}$

Fuente: Gabriel, 2007

En la Fig. 38, se demuestra que la  $a_w^{25^\circ\text{C}}$  disminuyó con el aumento de los °Brix, en cualquier valor de pH (1-8), esto se explica debido a que la mayoría de medidores de  $a_w$ , miden la presión parcial de vapor de agua presente en la muestra analizada (Troller & Christian, 1978) y un aumento de sólidos solubles en un sistema alimenticio se ha reconocido por causar la reducción de  $a_w$  Baianu (1992) y Fennema (1996) explicó que, en un sistema acuoso particular, la separación de monosacáridos de la sacarosa, resulta en la reducción de la presión de vapor del agua, debido a la unión de moléculas de agua a las moléculas de solutos, por ende mientras más concentrado esté el sistema alimenticio habrá más disociación de disacáridos como la sacarosa, produciendo una disminución de la presión parcial de vapor de agua en el alimento, lo que conllevará a una reducción de la  $a_w^{25^\circ\text{C}}$ .

Por lo tanto, esta reducción en la presión parcial de vapor de agua del alimento da lugar a la reducción  $a_w$  en el del sistema, ya que por definición la  $a_w$  es el cociente entre presión parcial de vapor de agua en un alimento y la presión de vapor de saturación del agua a la misma temperatura.

Además, en cualquier valor de 1 a 80°Brix, la reducción de pH dio lugar a una reducción de la  $a_w^{25^\circ\text{C}}$ . este fenómeno se puede explicar por la hendidura ácida de los enlaces de glucosídicos, que unen los componentes monoméricos de la sacarosa (Andrews et al., 2002; Aurand & Woods, 1973; Gibson, 1973). La reducción del pH de las soluciones alimentarias simuladas promueve la conversión de sacarosa a la glucosa y a la fructosa, induciendo la reducción de la  $a_w$ . Teóricamente, la hidrólisis completa de 1 mol de sacarosa dará lugar a 2 moles de monosacáridos, disminuyendo la  $a_w$  por cerca de dos veces (Stallenberger & Birch, 1995).

La  $a_w$  está ligada a las propiedades fisicoquímicas del pH y a los °Brix del alimento, la  $a_w$  es directamente proporcional al pH, e inversamente proporcional a los °Brix. Esto fundamentado por la hendidura ácida de los enlaces que unen a la glucosa y a la fructuosa, para formar la sacarosa, ya que, al romperse, se acidifica ligeramente el medio, produciendo la disminución del pH, por ende, la presión parcial del vapor de agua del alimento disminuye, porque ya no hay resistencia, ni ligaduras entre los monosacáridos, disminuyendo de este modo la  $a_w$  cuyo cálculo está en función de dicha presión.

El modelo predictivo altamente significativo fue desarrollado a partir de sistemas de alimentos simulados (SFS), pero fue validado usando un conjunto separado de SFS y sistemas de alimentación real. Los resultados de la validación mostraron que el modelo desarrollado tenía un rendimiento predictivo aceptable, evaluado por los índices matemáticos y gráficos de rendimiento del modelo.

**Tabla 32:***Validación de modelos en sistemas alimentarios reales*

Food systems	Food properties <sup>A</sup>		$a_w^{25^\circ\text{C}}$			Performance indices	
	pH	°Brix	$P a_w$	$a a_w$	$\Delta a_w^B$	$A_f$	$B_f$
Fruit juices and juice drinks							
Orange juice (Brand 1)	4.38	11.60	1.01	1.00	0.01	1.01	1.01
Orange juice (Brand 2)	4.04	13.22	1.01	1.00	0.01	1.01	1.01
Sweetened orange juice	3.30	14.13	1.01	0.97	0.04	1.04	1.04
Ruby grapefruit juice	3.56	11.78	1.01	0.99	0.02	1.01	1.01
Philippine orange juice drink	4.08	11.80	1.01	0.99	0.02	1.01	1.01
Philippine lemon juice drink	3.98	12.60	1.01	0.98	0.03	1.03	1.03
Apple juice	3.62	12.60	1.01	1.00	0.01	1.01	1.01
Apple juice drink	3.79	11.20	1.01	1.00	0.01	1.01	1.01
Pineapple juice (Brand 1)	4.71	12.60	1.01	0.98	0.03	1.03	1.03
Pineapple juice (Brand 2)	4.62	13.40	1.01	0.99	0.02	1.01	1.01
Grape juice	3.58	15.91	1.01	0.97	0.04	1.03	1.03
Mango juice drink (Brand 1)	4.26	12.40	1.01	0.99	0.02	1.02	1.02
Mango juice drink (Brand 2)	3.89	12.80	1.01	0.99	0.02	1.02	1.02
Soursop juice drink	4.55	13.78	1.01	0.99	0.02	1.02	1.02
Guava juice drink	4.52	12.40	1.01	0.97	0.04	1.04	1.04
Peach juice drink	3.67	12.40	1.01	0.97	0.04	1.04	1.04
Fruit nectars and concentrates							
Mango nectar	4.31	12.38	1.01	1.00	0.01	1.01	1.01
Guava nectar	3.58	11.60	1.01	1.00	0.01	1.01	1.01
Soursop nectar	4.73	12.00	1.01	0.98	0.03	1.03	1.03
Philippine lemon concentrate	2.50	63.06	0.84	0.83	0.01	1.02	1.02
Philippine orange concentrate	2.84	51.34	0.92	0.91	0.01	1.01	1.01
Jams, jellies and similar products							
Pineapple jam	3.02	54.26	0.91	0.84	0.07	1.08	1.08
Mango jam	2.97	64.40	0.85	0.77	0.08	1.10	1.10
Guava jelly	3.37	68.66	0.83	0.77	0.06	1.07	1.07
Orange marmalade	3.07	63.06	0.86	0.79	0.07	1.08	1.08
Young coconut strings in syrup	4.07	50.80	0.94	0.93	0.01	1.00	1.00
Coconut gel (nata de coco) in syrup	5.84	34.27	0.99	0.98	0.01	1.01	1.01
Palm nut in syrup	6.13	26.97	1.00	0.98	0.02	1.02	1.02
Sweetened purple yam	5.49	68.80	0.86	0.94	-0.08	1.10	0.91
Dried fruits							
Raisins	3.70	66.00	0.85	0.71	0.14	1.20	1.20
Prunes	4.07	67.80	0.84	0.82	0.02	1.04	1.04
Mangoes	3.74	75.47	0.78	0.71	0.07	1.10	1.10
Apricots	3.79	64.41	0.86	0.83	0.03	1.03	1.03
Papaya	3.78	79.50	0.75	0.68	0.07	1.10	1.10
Cantaloupe	3.83	65.40	0.86	0.70	0.16	1.22	1.22
Pineapple	4.07	62.0	0.88	0.71	0.17	1.23	1.23
Milk and dairy products							
Fresh milk (UHT-processed)	6.09	12.53	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00
Evaporated milk	6.31	25.67	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00
Reconstituted filled milk	6.29	29.60	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00
Condensed milk	6.59	74.40	0.83	0.89	-0.06	1.08	0.93
Milk chocolate drink	6.51	18.67	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00
Other food products							
Apple and cereal-based baby food	3.91	20.97	1.00	0.98	0.02	1.02	1.02
Pear and cereal-based baby food	3.96	16.10	1.01	0.99	0.02	1.02	1.02
Mayonnaise	3.46	0.87	1.00	0.97	0.03	1.03	1.03

**Fuente:** Gabriel, 2007<sup>A</sup> Los valores de se reportan como valores promedio de tres ensayos.<sup>B</sup> Se calcula restando el valor del sistema alimenticio real  $a_w^{25^\circ\text{C}}$  del predicho  $P a_w^{25^\circ\text{C}}$ .

En la Tabla 32 podemos apreciar los diferentes sistemas alimentarios con sus respectivos valores de °Brix, pH y  $a_w^{25^\circ\text{C}}$  podemos notar que para la actividad de agua correspondiente al sistema alimentario Raisins (pasas) correspondiente al grupo Dried Fruits (frutas secas) su valor de  $\Delta a_w^B$  es 0.14, el cual es uno de los valores más altos, en cuanto a diferencias entre el sistema alimentario simulado ( $^P a_w^{25^\circ\text{C}}$ ) y el real ( $^a a_w^{25^\circ\text{C}}$ ), siendo este último el valor que entrega el equipo Novasina™ ms1 Switzerland. Por otro lado, si tenemos en cuenta el valor  $\Delta a_w^B$  para Jugos y Néctares, podemos notar que tienen las diferencias más bajas del estudio con valores de 0.01, es decir las diferencias son mínimas, cercanas a cero, con ello podemos manifestar que la precisión del modelo predictivo para el cálculo de la  $a_w^{25^\circ\text{C}}$  va a depender del tipo de alimento en particular. Ahora bien, en nuestro caso, nuestro alimento fue pasas de arándano por ello lo que hicimos fue tomar como referencia el margen de error de 0.14 ( $\Delta a_w^B$ ), es decir que una vez que calculamos nuestra  $^P a_w^{25^\circ\text{C}}$  con la Ec. (2) correspondiente al modelo predictivo, al valor que obtuvimos le restaremos 0.14 por ser fruta seca, específicamente pasas de arándano, con ello obtuvimos el valor que supuestamente nos entregaría el equipo Novasina™ ms1 Switzerland cuantificador de actividad de agua, Dicho valor fue el más confiable posible de acuerdo a lo estipulado por (Gabriel, 2007).

Los valores de pH y °Brix al final del proceso de secado fueron de 3.53 y 64.86 respectivamente. Estos valores fueron reemplazados en la Ec. (2) de esta manera pudimos obtener una Actividad de agua a  $25^\circ\text{C}$  de 0.72 para las pasas de arándano analizadas. A este nivel de  $a_w^{25^\circ\text{C}}$  las pasas de arándano son estables en relación al crecimiento microbiano.

Según Salunkhe, Do.J.Y, & Bolin, (1973) suele aceptarse que los límites de  $a_w^{25^\circ\text{C}}$  para el crecimiento de microorganismos (m.o) son 0.9 para bacterias, 0.88 para

levaduras y 0.8 para mohos. en nuestro caso obtuvimos una  $a_w^{25^\circ\text{C}}$  de 0.72 lo que garantiza que nuestro producto, pasas de arándano evitará el desarrollo de microorganismos.

Según (Vuarant *et al.*, 2010) en su estudio de pasas de arándanos recomiendan lograr un progreso de secado hasta una pérdida de peso mínima del 72% para reducir el riesgo de la aparición de mohos. En nuestro estudio después del proceso de secado llegamos a obtener una pérdida de peso del 75% (ver Tabla 30), con lo cual reducimos el riesgo de la aparición de microorganismos.

**Tabla 33:**

*Reporte de los cambios en el peso, humedad, pH, °Brix y  $a_w^{25^\circ\text{C}}$  durante el proceso completo de Deshidratación y Secado del arándano*

Etapas del Arándano	Peso Ingreso (g)	Peso salida (g)	Pérdida de peso (g)	Pérdida de peso (%)	Humedad (%)	B.S	pH	°Brix	$a_w^{25^\circ\text{C}}$
Fruta fresca	1602	1582	20	1.3	86.1	6.2	2.70	11.69	<b>0.99</b>
Deshidratado	1582	1309.6	272.4	17	56.1	4.0	3.06	36.11	<b>0.84</b>
Secado	1309.6	327.4	982.2	75	11.1	0.8	3.53	64.86	<b>0.72</b>

Como podemos observar la Tabla 33 nos muestra los cambios en los parámetros evaluados en todo el proceso de Deshidratado y Secado del arándano. El peso de ingreso al sistema fue de 1602gr, este valor representa la materia prima (fruta fresca) el cual disminuye en 1.3% debido a que seleccionamos arándanos de diámetros comprendidos entre 11-16 mm, por ello existió una pequeña merma, obteniendo el peso de 1582gr, este peso ingreso al equipo deshidratador osmótico y después de 5h bajo las condiciones óptimas (56°C y 65°Brix), se obtuvo 1309.6 g. de producto deshidratado (correspondiente aproximadamente a 16 corridas, por corrida ingreso al equipo deshidratador aprox. 100.84gr de fruta y salió 83.46gr de producto

deshidratado), en esta etapa se perdió 17% del producto inicial, luego los 1309.6gr ingresaron a la etapa de Secado, en la cual se perdió un 75% en peso, llegando a un peso final de 327.4g cabe mencionar que los 327.4gr fueron derivados para el cálculo de la vida útil del producto final, pasas de arándano. En cuanto a la humedad podemos notar que disminuyó aproximadamente un 75% en todo el proceso, ya que descendió desde el 86% hasta 11% aprox. Con respecto al pH y °Brix podemos manifestar que tanto el pH como los °Brix aumentaron, el primero de estos lo hizo ligeramente, mientras que el segundo aumento considerablemente. La  $a_w^{25^\circ\text{C}}$  disminuyó como era de esperarse en cada etapa del proceso (deshidratado y secado), desde la recepción de la materia prima con un valor que ronda la unidad, hasta la etapa final del secado, en la cual se logró llegar hasta una actividad de agua de 0.72.

#### 4.13. Cuantificación de antocianinas totales

El contenido de antocianinas totales presenta diferencias significativas entre las diferentes etapas del desarrollo de la investigación.

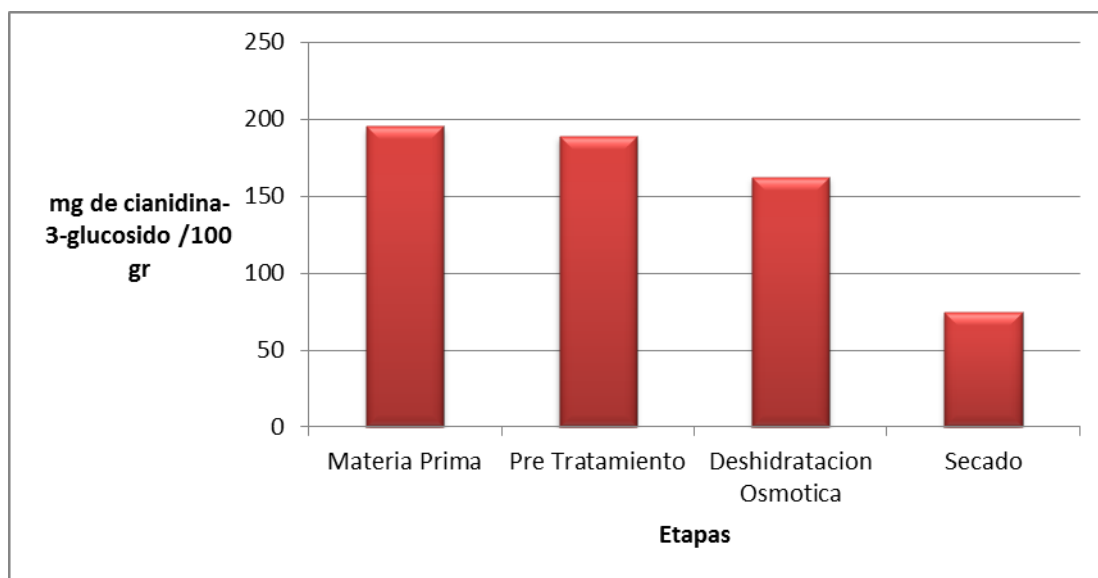
**Tabla 34:**

*Contenido de antocianinas totales al final de cada etapa del proceso de osmodeshidratación y secado del arándano*

Etapas	Antocianinas totales
	(mg cianidina-3-glucósido/100 g de muestra)
Materia Prima	195,0986 ± 5.4016
Pre Tratamiento	189,1984 ± 1.1689
Osmodeshidratación	162,2018 ± 2.02
Secado	74,8667 ± 0.6322

En la Tabla 34, se presenta el contenido de antocianinas monoméricas totales del arándano (*Vaccinium corymbosum L.*) los cuales fueron evaluados después de cada etapa del proceso de investigación.

d



**Figura 39:** Concentración de antocianinas totales cuantificadas después de cada etapa del proceso de osmodeshidratación y secado del arándano

En la Fig. 39, podemos apreciar gráficamente el contenido de antocianinas monoméricas totales, en donde se evidencia el descenso paulatino al finalizar cada etapa de investigación, lo cual resulta obvio debido a que el producto en cuestión, va disminuyendo su contenido de antocianinas a medida que el producto es manipulado y procesado. Cabe mencionar que la exposición del producto a temperaturas elevadas fue clave para la pérdida de las antocianinas.

Con respecto al contenido de antocianinas en su estado fresco, el valor encontrado fue cercano al reportado por (Scibisz & Mitek, 2007), quien señala un valor de 137 mg Cianidina-3-glucosido/100g, mientras, (Carpio *et al.*, 2009) señalan que el contenido de antocianinas en el arándano puede llegar a niveles de 300 – 320 mg Cianidina-3-glucosido/ 100g.



El valor obtenido (Tabla 34) en el arándano fresco, concuerdan con lo señalado por los siguientes autores. Prior, et al (1998) establece un rango de 92,6 y 235,4 mg Cianidina-3-glucosido/100g peso fresco, (Moyer *et al.*, 2002), entre 73 y 430 mg Cianidina-3-glucosido/100g peso fresco, con los cual los resultados obtenidos se encuentran dentro del rango.

Las variaciones en el contenido de antocianinas totales, entre los diferentes autores podrían ser explicadas además de las diferencias variedades, por los factores ambientales fluctuantes tales como clima, luminosidad, radiación UV, temperatura, humedad del suelo, disponibilidad de nutrientes, prácticas agronómicas y variado estrés y por las diferentes técnicas analíticas utilizadas (Connor *et al.*, 2002); (Clark & Howard, 2002).

En la Fig.39, se muestra la cinética de variación de las antocianinas totales en función de las etapas de la investigación, mostrando tendencias descendentes. La etapa de secado fue la que menor concentración obtuvo de antocianinas, puesto que éstas se vieron afectadas por la temperatura y el tiempo prolongado.

En la Tabla 38, se presentan el contenido de antocianinas de los arándanos osmodeshidratados y secados, para estas etapas se trabajó con las condiciones experimentales óptimas, encontradas anteriormente (56°C y 65°Brix). Se evidencia que se tiene pérdidas en el contenido de antocianinas monoméricas al finalizar la etapa de secado de 61.63% con respecto a la fruta fresca, lo cual indica una retención de antocianinas totales de 38.37%, lo mencionado coincide y mejora los estudios hechos por (Lohachoompol, 2007), en la cual se analiza el contenido en antocianinas, en donde se concluye que la mejor retención se produce en las pasas obtenidas por liofilización (78-79 %), seguido por las obtenidas por secado con aire caliente sin pre tratamiento osmótico (35-38 %) y con pre tratamiento (13-24 %). En nuestro estudio

se logra retener aproximadamente un 38% de antocianinas totales bajo condiciones de secado con pre tratamiento, lo cual supera los valores encontrados por (Lohachoompol, 2007), que indica un rango de 13 a 24% de retención, bajo las mismas condiciones.

Las altas pérdidas en el contenido de antocianinas monoméricas se deben a su alta hidrosolubilidad y su localizan en la piel que ayuda a que estas pasen por lixiviación a la solución osmótica, utilizada en cada ensayo (Osorio *et al.*, 2007). Lo que además es favorecido por el aumento de la temperatura pudiendo llegar a obtener productos prácticamente incoloros (Moyer *et al.*, 2002), sin embargo, los resultados obtenidos no tienden a tener un nivel de significancia diferido, salvo en la etapa de secado, esto es debido a que en la etapa de D.O, al mantenerse una concentración de la solución alta (65°Brix) hace que la solubilidad de las antocianinas disminuya con ligera independencia a la temperatura.

(Giovanelli *et al.*, 2013) afirma en su evaluación del efecto de la osmodeshidratación-secado con aire caliente, sobre las características antioxidantes de los arándanos (*Vaccinium corymbosum L.*), se enfatiza que los ensayos osmóticos con sacarosa (60°Brix) causaron pérdidas significativas en los componentes antioxidantes (fenoles totales, antocianinas totales e individuales) siendo de un 20 a 60 % de pérdida en el contenido de antocianinas (delfinidina, cianidina y petunidina glucósidos) a 25 °C durante 24 h de osmodeshidratación, teniendo en cuenta lo mencionado, en nuestro estudio trabajamos a 55°C durante 10 h, con estas condiciones se obtuvo 61.63% de pérdida en el contenido de antocianinas.

En tanto (Lohachoompol *et al.*, 2004), estudiaron los efectos del tratamiento osmótico con azúcar, en el contenido de antocianinas y la actividad antioxidante de arándanos. Las bayas osmodeshidratadas mostraron una pérdida ligeramente más alta

en el contenido de antocianinas en comparación con las no tratadas, mientras que no hubo diferencias significativas en la actividad antioxidante de las muestras sin tratar y osmodeshidratadas.

En otro estudio (Giovanelli *et al.*, 2012), evaluaron los efectos del escaldado como pre tratamiento y la composición del azúcar de la solución osmótica en las características fisicoquímicas, morfológicas y antioxidantes (fenoles y antocianinas) de arándanos (*Vaccinium corymbosum L.*) osmodeshidratadas; encontrando que en ambos, polifenoles totales y antocianinas totales se perdieron parcialmente en los ensayos osmóticos (60 °Brix); se observaron mayores pérdidas de hasta el 36% de antocianinas totales en las muestras no escaldadas, sin diferencias relacionadas con el tipo de solución osmótica utilizada (sacarosa, fructuosa o glucosa), indicando que el escaldado tiene un efecto positivo en la conservación de los componentes polifenólicos debido a la inactivación de las polifenoloxidasas endógenas por el escaldado a 85 °C por 3 min, esto podría explicar la poca diferencia significativa en el contenido de antocianinas cuando se tiene temperaturas elevadas, además siempre se tiene que tener la concentración de la solución osmótica por encima a 40 °Brix. Con esto se demostró que el tratamiento químico aplicado con el fin de eliminar la cera de la cascara, tiende a disminuir los componentes de antocianinas totales, puesto que la gran mayoría de los compuestos antioxidantes se encuentran en la piel de los frutos, por lo tanto, si bien los tiempos fueron cortos, la temperatura (100°C) empleada pudo generar una degradación térmica de los compuestos antioxidantes.

La poca pérdida del contenido de antocianinas totales en el proceso de deshidratación osmótica, se puede atribuirse a la eliminación del agua del arándano por efecto de los azúcares presentes en la solución osmótica, protegiéndose de esta manera el catión flavilio (2-fenilbenzopirilio), evitando así su degradación, este catión

constituye la estructura básica de las antocianidinas (aglicona) a la que se le une un azúcar por medio de un enlace glucosídico para formar las antocianinas (Aguilera *et al.*, 2011). La degradación del catión flavilio puede variar, dependiendo de la concentración de azúcares o con el fenómeno denominado copigmentación, cuando los azúcares se encuentran a altas concentraciones, la actividad de agua es baja, lo que resultaría conveniente para disminuir las probabilidades de ataque nucleofílico del agua al catión, evitándose la formación de la base carbinol incolora. Sin embargo, cuando los azúcares están en bajas concentraciones la actividad de agua no se ve afectada, por lo que los productos de degradación de los azúcares (hidroximetilfurfural y furfural) acelerarían la degradación de las antocianinas (Kopjar & Piližota, 2009). Lo que explicaría el por qué, logramos obtener una concentración considerable de antocianinas en el producto después de la deshidratación osmótica, esto es debido a las condiciones experimentales óptimas de 56°C y 65°Brix, ya que, a grandes concentraciones de azúcar, la actividad de agua disminuye, lo cual favorece la retención de antocianinas totales.

La cantidad de antocianinas que generalmente se acumula durante la madurez de frutos coloreados depende de la temperatura y localidad en donde son plantados (Connor *et al.*, 2002), así como también la variedad de solventes con la que se realiza la extracción.

#### **4.14. Cuantificación de fenoles totales**

El contenido de fenoles totales presenta diferencias significativas entre las diferentes etapas del desarrollo de la investigación.

**Tabla 35:**

*Reporte del contenido de fenoles totales al final de cada etapa del proceso de osmodeshidratación y secado del arándano*

Etapas	Fenoles totales (mg ácido gálico/100 gr muestra)
Materia Prima	800,3584 ± 0.118
Pre Tratamiento	768,3990 ± 0.039
Osmodeshidratación	645,9379± 0.165
Secado	529,7491 ± 0.057

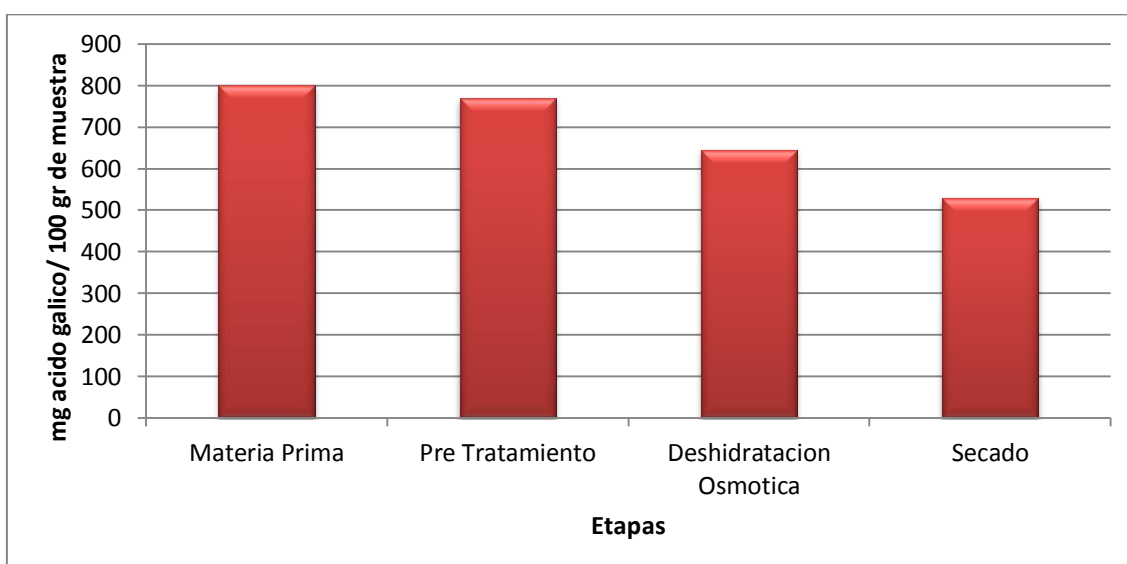
En la Tabla 35, se presenta el contenido de fenoles totales del arándano (*Vaccinium corymbosum L.*) los cuales fueron evaluados después de cada etapa del proceso de investigación.

En la recepción de la materia prima (arándano fruta fresca) se obtuvo 800,3584 ± 0.118 mg ácido gálico/100 gr de muestra, lo cual concuerda con (Rodarte *et al.*, 2008), el cual indica que se encontraron 712 mg GAE/100g de fruta fresca. Los datos obtenidos difieren de los valores observados por otros autores, Prior *et al.*, 1998 nos dan a conocer niveles de fenoles totales que varían entre 189,8 y 390 mg de equivalente ácido gálico/100 g de fruta fresca. Por otro lado, Moyer *et al.*, (2002) observaron valores que fluctúan entre 171 y 868 mg eq. Ácido gálico/100 g fruta fresca.

En otros estudios que se analizaron la pulpa de arándano, *V. Corymbosum L.* (73% fruta) se tiene una concentración de 379 mg/100g. Este resultado es mayor que el obtenido por (Kalt *et al.*, 2000), quienes determinan una concentración de polifenoles totales en *V. angustifolium* entre 175 y 351 mg/100g. La pulpa de arándanos es un producto de fácil consumo y se le puede considerar como una opción para incluir ésta fruta en la alimentación de los niños. Los arándanos frescos, del género *V. Corymbosum L.*, se cultivan en Huelva (España) y presentan una

concentración de 358.7 mg/100g. Estos datos se asemejan a los obtenidos por Paulino et al, 2013, quienes determinan hasta 357 mg/100 g y (Sellappan *et al.*, 2002), quienes obtienen 399.3 mg/100g de polifenoles totales en arándanos *V. Corymbosum L.*, provenientes de Argentina y E.E.U.U., respectivamente. Asimismo, los resultados son menores a los obtenidos en la investigación con arándanos *V. Corymbosum L.*, provenientes de Chao, Perú.

En otros investigaciones realizadas con arándanos *V. Corymbosum L.*, cultivados en USA se obtienen datos de 175.8 mg/100g, 190 mg/100g y 208 mg/100g de polifenoles totales ( (Lee *et al.*, 2002); (Wang *et al.*, 2008); (Moyer *et al.*, 2002), sin embargo cifras más altas de polifenoles totales se han encontrado en arándanos negros *V. Myrtillus*: 670.9 mg/100g, 595.5 mg/100g y 298 mg/100g provenientes de Bulgaria, Italia y USA respectivamente (Giovanelli & Buratti, 2009) Estas diferencias pueden ser debidas por los siguientes factores: condiciones de cultivo, almacenamiento, métodos de extracción y la preparación de la muestra, el índice de madurez, etc.



**Figura 40:** Concentración de fenoles totales cuantificados después de cada etapa del proceso de osmodeshidratación y secado del arándano

En la Fig. 40, podemos apreciar gráficamente el contenido de fenoles totales, en donde se evidencia el ligero y paulatino descenso al finalizar cada etapa de investigación, este descenso es evidente debido a la manipulación y procesado del alimento. En donde la temperatura ejerce un efecto muy significativo en la pérdida de fenoles totales.

Analizando la etapa del pre tratamiento se produce una disminución del 4% en comparación a la materia prima, esto es debido a que los arándanos fueron sumergidos en NaOH al 1.5% por 5 segundos a temperatura de ebullición, y como se sabe que la gran mayoría de los compuestos antioxidantes se encuentran en la piel de los frutos, por lo tanto, el pre tratamiento aplicado tuvo una disminución del contenido de polifenoles totales, pero mejoró la permeabilidad de la piel de los arándanos.

En los arándanos las antocianinas están localizadas en la piel y en la pulpa de los arándanos y son las responsables del color azul oscuro de esta fruta. Al respecto, (Mainland & Tucker, 2002) establecieron que el contenido de antocianinas y fenoles es mayor en la piel de los frutos de arándano, pudiendo ser 4 veces mayor al contenido de estos en el fruto entero.

En algunos estudios, como el realizado por (Toor & Savage, 2005), indican que la deshidratación osmótica al ser un tratamiento térmico produce la degradación de los compuestos fenólicos ya que la temperatura de trabajo en muchos casos sobrepasa los 50°C, y los polifenoles comienzan a degradarse a los 40°C como lo explica (Natella *et al.*, 2010). De acuerdo a (Maillard & Berset, 1995), existen 3 aspectos que pueden eliminar el contenido de polifenoles al aplicar escaldado o una deshidratación a altas temperaturas y son; por simple degradación al estar sometidos a altas temperaturas, la degradación de lignina que deriva en la liberación de ácidos fenólicos y la ruptura de enlaces que unen polifenoles. (Vinson *et al.*, 2005), aplicaron

métodos de deshidratación en varias frutas como higos, uvas y ciruelas las cuales perdieron aproximadamente el 84% de los polifenoles, debido a que en el proceso térmico los polifenoles son destruidos o sufren procesos de transformación.

Los productos deshidratados de arándanos, presentan mayor contenido de polifenoles solubles totales, siendo el producto desecado de arándanos negros *V. myrtillus* L (Finlandia), el de mayor concentración con 2336.9 mg/100g. Es seguido por el producto desecado de arándanos rojos, *V. vitis-idaea*, (Finlandia) con 2201.5 mg/100g de polifenoles totales. El contenido de polifenoles totales en arándanos rojos, *V. macrocarpon*, desecados provenientes de España y Canadá, comprende entre 391.7 y 590.7 mg/100g.

La alta concentración de polifenoles totales en arándanos desecados, se debe a que durante el proceso de elaboración existe pérdida de agua, por lo tanto, incrementa el volumen de la materia sólida, así también en algunos productos que fueron sometidos a procesos térmicos, se ha encontrado que aumentan el contenido de polifenoles. Lo cual se contradice con (Giovanelli *et al.*, 2013), evaluaron el efecto de los ensayos de osmodeshidratación secado con aire sobre las características químicas, antioxidantes y morfológicas de los arándanos (*Vaccinium corymbosum* L.), encontrando que los ensayos osmóticos con sacarosa (60 °Brix) causaron pérdidas significativas en los componentes antioxidantes (fenoles totales, antocianinas totales e individuales) siendo de un 20 a 60% de pérdida en el contenido de antocianinas (delfinidina, cianidina y petunidina glucósidos) a 25 °C durante 24 h de osmodeshidratación. En nuestra investigación obtuvimos una pérdida de 33.81% de fenoles totales en comparación a la muestra fresca, lo cual coincide con lo mencionado por Giovanelli *et al.*, 2013.



La concentración de fenoles totales en arándanos frescos fue mayor que en el producto deshidratado, discrepando a lo mencionado por (Kong *et al.*, 2003), el cual señala que existe un incremento de compuestos fenólicos en la deshidratación de uvas. (Borchani *et al.*, 2011), indicaron un aumento del 30% de fenoles totales en la cascara de mandarina a 120°C.

A su vez este tipo de proceso de elaboración permite conservar el fruto por más tiempo pues se inactivan enzimas y se evita el crecimiento microbiano. Éste producto es versátil, es decir, puede ser consumido de diferentes formas, facilitando su uso como parte de una alimentación equilibrada y saludable, ya que los polifenoles constituyen sustancias importantes de la dieta, pues al ser ingeridos dotan al organismo de compuestos antioxidantes. Entre los compuestos fenólicos del arándano destacan ácidos fenólicos y antocianinas, que están siendo constantemente estudiadas por su fuerte capacidad antioxidante (Sellappan *et al.*, 2002).

El estudio de los compuestos fenólicos en alimentos constituye una de las ramas de mayor desarrollo en los últimos años, por su importancia en la protección de la salud, mejora de la alimentación, y alta capacidad antioxidante frente a la acción de radicales libres, así, contribuyen en la prevención de enfermedades de origen oxidativo (enfermedades neurodegenerativas, cardiovasculares; algunos tipos de cáncer).

La ingesta de compuestos fenólicos en la dieta diaria es variable; los mayores niveles de ingesta se observan en poblaciones con un alto consumo de frutas y verduras. Los arándanos presentan alto contenido en polifenoles sobre todo en antocianinas (Barnes *et al.*, 2009).

En la actualidad existen numerosos estudios sobre el contenido de polifenoles en arándanos, en los cuales se ha obtenido resultados atractivos para el comercio, por

ello vemos una emergente variedad de productos derivados de arándanos; sin embargo, no todos los productos derivados presentan igual contenido de fenoles solubles totales, que los arándanos frescos. El propósito principal del procesamiento de alimentos es conservar los alimentos; sin embargo, en algunos casos los nutrientes se pierden, especialmente aquellos que son muy lábiles. Por lo tanto, la disminución de la pérdida de nutrientes o incluso aumento del valor nutricional es de gran importancia en la elaboración de alimentos.

Hoy en día sería interesante analizar los polifenoles totales de cada variedad de arándanos y subproductos. La Organización Mundial de la Salud recomienda consumir parte de las cinco porciones de fruta y hortalizas al día. Así mismo se menciona que la porción de frutas desecadas recomendada es de 30 g. De acuerdo a los datos obtenidos 100 gr de arándanos frescos *V. Corymbosum L.*, aporta a la dieta 800.3584 mg de fenoles, entonces la cantidad recomendada de pasas de arándanos aporta 158.9247 mg/100 gr de polifenoles totales.

#### **4.15. Cuantificación de capacidad antioxidante.**

El contenido de capacidad antioxidante presenta diferencias significativas entre las diferentes etapas del desarrollo de la investigación.

Según (Beccaro *et al.*, 2006), los resultados que presentamos también se pueden expresar comparándolo con un estándar de antioxidante sintético Trolox (análogo hidrosoluble de vitamina E). Es por ello que se utilizó diferentes concentraciones de Trolox para hacer la curva de calibrado. Los resultados que se muestran en la tabla 31, se expresan como equivalentes de capacidad antioxidante de Trolox (TEAC).

**Tabla 36:**

*Reporte del contenido de capacidad antioxidante al final de cada etapa del proceso de osmodeshidratación y secado del arándano*

Etapas	Capacidad antioxidante ( $\mu\text{mol TE}/100 \text{ gr de muestra}$ )
Materia Prima	3098,1077 $\pm$ 0.054
Pre Tratamiento	2778.5720 $\pm$ 0.014
Osmodeshidratación	2189.4754 $\pm$ 0.006
Secado	1482.3482 $\pm$ 0.006

En la Tabla 36, se presenta el contenido de capacidad antioxidante del arándano (*Vaccinium corymbosum L.*) los cuales fueron evaluados después de cada etapa del proceso de investigación.

Se observa que después de la etapa de secado, cuando ya se tienen las pasas de arándano deshidratado, se produce una pérdida de 52.15% de la capacidad antioxidante con respecto a la materia prima inicial, esto indicaría que se logra retener 47.85% de capacidad antioxidante, lo cual es una cantidad considerable, teniendo en cuenta las diferentes etapas de manipulación y procesado del arándano.

En los resultados obtenidos se puede apreciar los valores, después de cada etapa de investigación, en donde para materia prima obtuvo el valor más alto 3098.1077  $\pm$  0.054  $\mu\text{mol TE}/100 \text{ gr de muestra}$ . Este resultado obtenido fue más alto, de lo que reportaron (Seeram, 2008), en jugo de arándanos a partir del fruto completo 13.3 y 17.1 054  $\mu\text{mol TE}/ \text{gr}$ . De la misma manera, (Netzel *et al.*, 2007) reportaron valores más bajos a los encontrados 10.35 $\mu\text{mol TE}/\text{gr}$  en el cultivo Biloxi producido en Australia.

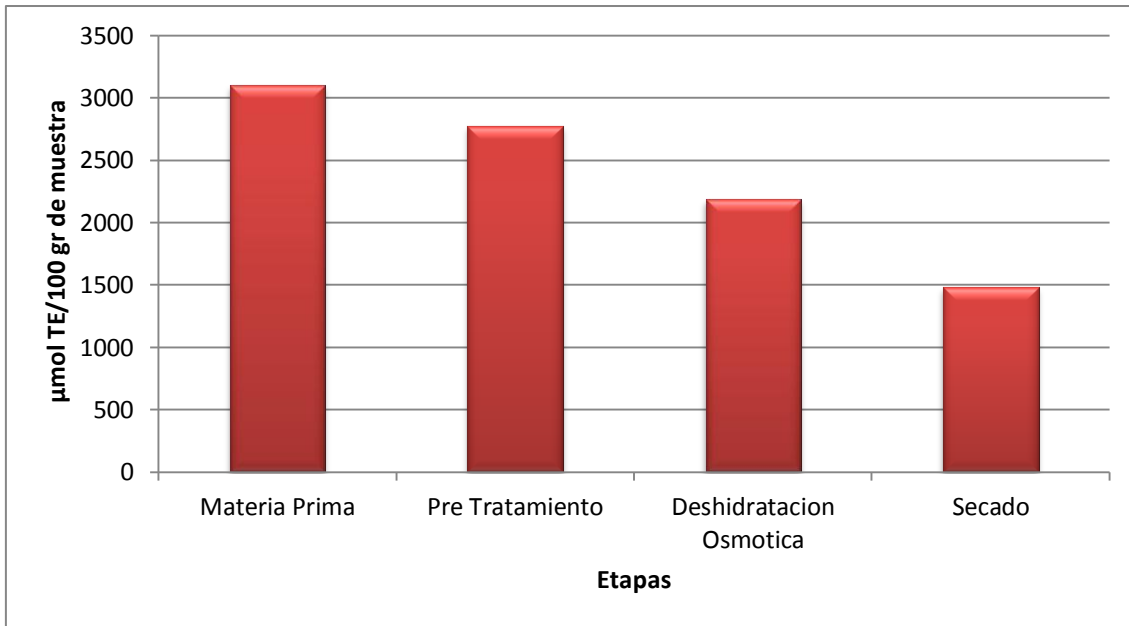
Se observa también que hay correlación entre los fenoles totales y la capacidad antioxidante, se puede decir que los extractos de los arándanos pueden contener

antioxidantes fenoles con grupos OH en el anillo B. Esto concuerda con lo que reporta (Duthie, G., & Crozier, A, 2000), quienes estudiaron la actividad antirradical de los flavonoides en relación a su estructura y concluyeron que en gran medida la posibilidad de reacciones antirradicales dependen de los sustituyentes hidroxilos, que contengan específicamente el anillo B. de esta manera se explica la relación entre fenoles totales y capacidad antioxidante. Como se sabe el método DPPH, evalúa la capacidad de los extractos de arándano para atrapar radicales libres en medios orgánicos y acuosos.

Una de las características del genero *Vaccinium*, se caracterizan por poseer una gran cantidad de diferentes compuestos con actividad antioxidante (Beccaro et al., 2006). La actividad antioxidante evaluada en la materia prima presenta un valor de  $3098.1077 \pm 0.054 \mu\text{mol TE}/100 \text{ gr}$  de muestra., ligeramente mayores a los reportados para blueberry  $1035 \mu\text{mol TE}/100 \text{ gr}$  de muestra y menores que los encontrados en *Andean blackberry*  $4100 \mu\text{mol TE}/100 \text{ gr}$  de muestra (Prior *et al.*, 1998); (Kalt & Dufour , 1997); (Capocasa , 2008); (Wang & Ballington, 1994).

Netzel *et al.*, 2007, reporto valores de  $3945 \mu\text{mol TE}/100 \text{ gr}$  de muestra para blueberry (cv. Biloxi), el cual es un valor muy cercano al reportado en nuestra investigación para el mismo género en fruta fresca, de igual manera (Vasco *et al.*, 2008), reporto valores de  $1973 - 3829 \mu\text{mol TE}/100 \text{ gr}$  de muestra, para arándanos *Vaccinium ashei*.

Los resultados pueden ser distintos dependiendo la variedad de la materia prima y el método de análisis empleado, como a la vez el método de obtención del extracto.



**Figura 41:** Concentración de capacidad antioxidante cuantificados después de cada etapa del proceso de osmodeshidratación y secado del arándano

En la Fig. 41, se puede apreciar que, en la etapa de pretratamiento y deshidratación osmótica, hay una disminución en la capacidad antioxidante, la razón de este comportamiento, es el tratamiento químico aplicado con el fin de eliminar la cera de la cascara. La gran mayoría de los compuestos antioxidantes se encuentran en la piel de los frutos, sin embargo, a pesar de que los tiempos fueron cortos, la temperatura empleada (100°C) generó una degradación térmica de los componentes antioxidantes. (Giovannelli *et al.*, 2012), Observaron que un pretratamiento de escaldado (85°C) utilizado para mejorar la permeabilidad de la piel de los arándanos originó una pequeña disminución de la concentración de los fenoles, por ello teniendo en cuenta que la capacidad antioxidante y los fenoles totales van de la mano, se puede indicar que la deshidratación osmótica tuvo un efecto significativo en la pérdida de la capacidad antioxidante.

Al finalizar la etapa de secado se pudo retener 47.85% de la capacidad antioxidante, lo cual indica una degradación de los componentes antioxidantes. En

acuerdo con este resultado, muchos autores han descrito la rápida degradación de componentes fenólicos luego de estar sometidos a altas temperatura durante el secado. (Mejía *et al.*, 2008).

Al finalizar la etapa secado se aprecia un valor reducido en comparación de la muestra fresca  $1482.3482 \pm 0.006$ , una explicación de ello se debe a que la vitamina C, un componente altamente antioxidante se haya degradado y en consecuencia el poder antioxidante haya sido afectado.

La velocidad de aire es un parámetro importante ya que de esto va a depender la retención de la capacidad antioxidante (Vega *et al.*, 2008) nos dicen que en el secado de manzanas donde reportaron que una mayor fuerza convectiva que actúa en la interface aire-sólido retarda la difusión del calor dentro del fruto. A su vez, (Sakihama *et al.*, 2002) informaron que los compuestos fenólicos solubles se encuentran en el citoplasma y en el núcleo de las células y parecen estar protegidas por el material de la pared celular. Esta resistencia interna a la difusión del calor es, sin embargo, un parámetro para considerar cuando evaluamos capacidad antioxidante, ya que para la obtención de las pasas de arándano ha sido necesario aplicarle un tratamiento térmico durante el secado.

Finalmente, después de cuantificar las antocianinas totales, fenoles totales y la capacidad antioxidante presentes al finalizar cada etapa del proceso, desde la recepción de la Materia prima hasta finalizar el secado, inferimos que el porcentaje de retención de antocianinas totales, fenoles totales y la capacidad antioxidante fueron 38.37, 66.19 y 47.85% respectivamente, estas cantidades fueron considerables y acordes a la bibliografía.

En el presente estudio se analizó el producto derivado de arándanos: pasas desecadas. En la cual se determinó el contenido de antocianinas totales, fenoles totales

y capacidad antioxidante y se compararon con los datos obtenidos en investigaciones realizadas por diversos autores.

#### 4.16. Evaluación de la vida útil

##### 4.16.1. Discusión de resultados para cada indicador evaluado

###### 4.16.1.1. pH.

Los resultados del cambio de pH en función del tiempo para cada temperatura, se muestran en las Figs.42, 43 y 44. La pendiente en cada una de ellas representa la constante de reacción o deterioro del pH.

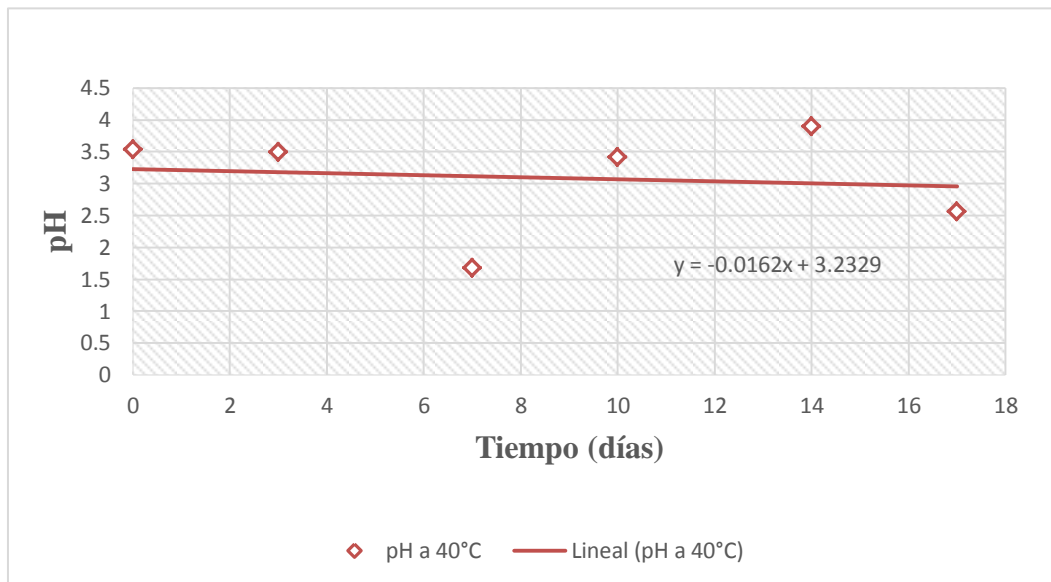


Figura 42: Valores de pH en función del tiempo para la temperatura de 40°C

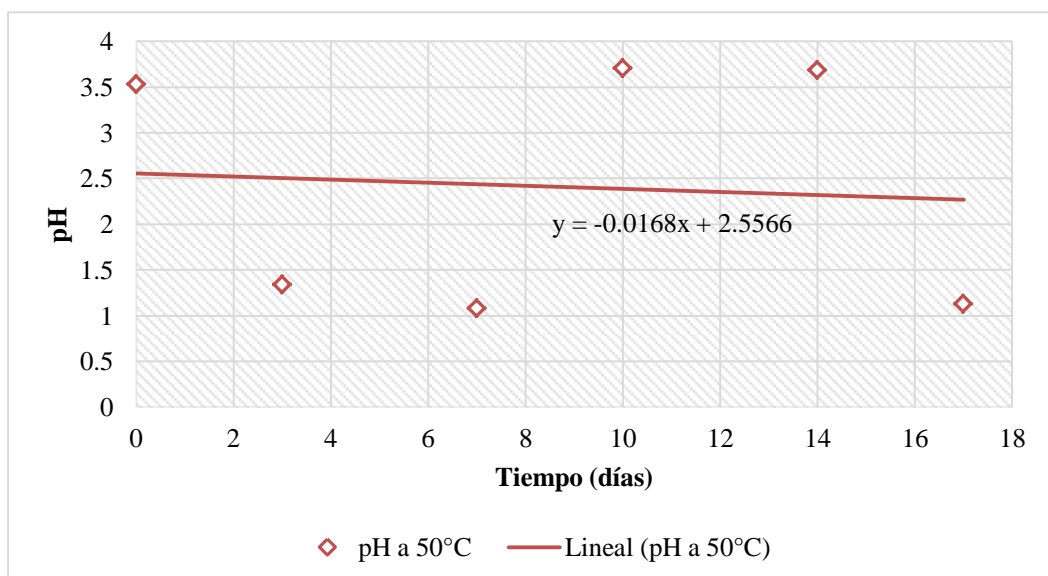
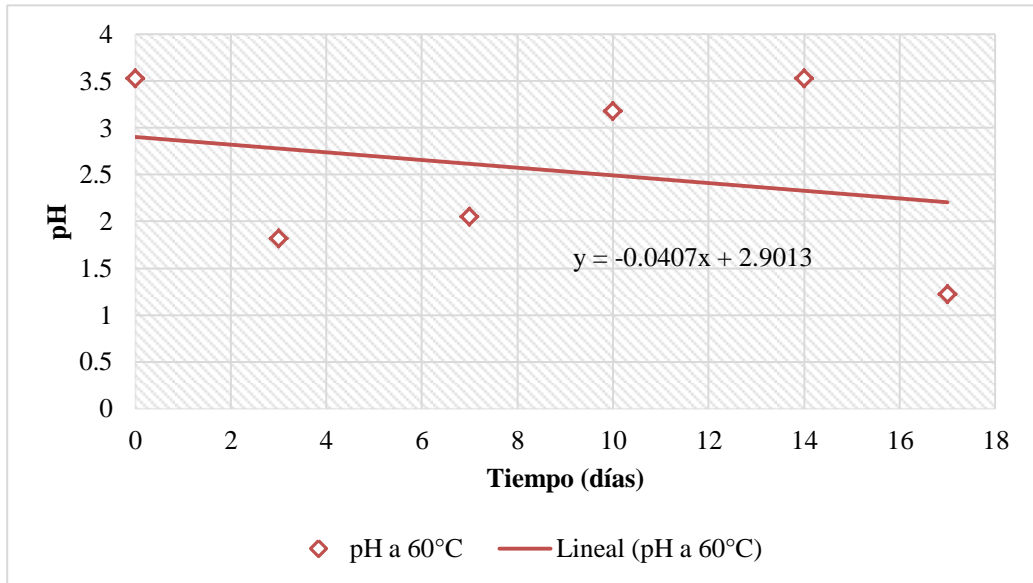


Figura 43: Valores de pH en función del tiempo para la temperatura de 50°C



**Figura 44:** Valores de pH en función del tiempo para la temperatura de 60°C

Se puede observar en las tres figuras que a medida que pasa el tiempo, el valor de pH tiende a disminuir, pero los puntos tuvieron un comportamiento oscilante (bajada, subida y termina bajando). Este deterioro presenta una tendencia lineal con pendiente negativa. Los datos fueron analizados estadísticamente y un análisis de residuos (no reportado) mostró que los datos se distribuyen aleatoriamente, es decir, no hay sesgo. Las regresiones lineales obtenidas de estos gráficos se presentan a continuación:

Para 40°C

$$pH = -0.0162t + 3.2329 \dots \dots \dots (6)$$

Para 50°C

$$pH = -0.0168t + 2.5566 \dots \dots \dots (7)$$

Para 60°C

$$pH = -0.0407t + 2.9013 \dots \dots \dots (8)$$

Con las tres constantes obtenidas por mínimos cuadrados, y representadas por los valores de la pendiente en las ecuaciones (6), (7) y (8), para las tres temperaturas



estudiadas, se construyó la Fig. 45 en la cual se tiene ln k en función de 1/T. La ecuación que se ajusta por mínimos cuadrados es:

$$\ln k = 10.93 - 4758.2 * \frac{1}{T(^{\circ}K)} \dots \dots \dots (9)$$

El valor de la energía de activación que se obtiene de esta ecuación es de 39562 J/mol. Para una constante universal de los gases ideales igual a 8.3145 J/mol°K.

Según el análisis gráfico mediante las oscilaciones del pH, para una tendencia anormal, se llegó a determinar un valor de pH crítico, para el cual, se consideró que el producto ya no reúne las cualidades necesarias para el consumidor, cuando el valor fue de pH = 1.13. Este valor fue corroborado por los estudios realizado por (Gonzalo, 2004). Al sustituir este resultado de pH en las ecuaciones (6), (7) y (8) se estima que las pasas de arándano incubadas a 40°C, 50°C y 60°C tienen una vida útil de 129.81 días, 84.92 días y 43.52 días, respectivamente. Se graficó el logaritmo de la vida útil a las temperaturas del estudio. La pseudotransformación resultante, ya que los ámbitos de temperatura son estrechos, se puede observar en la Fig.46, (Labuza, T.P., 1984). Con la ecuación obtenida se puede estimar la vida útil de las pasas de arándano para diferentes temperaturas de almacenamiento.

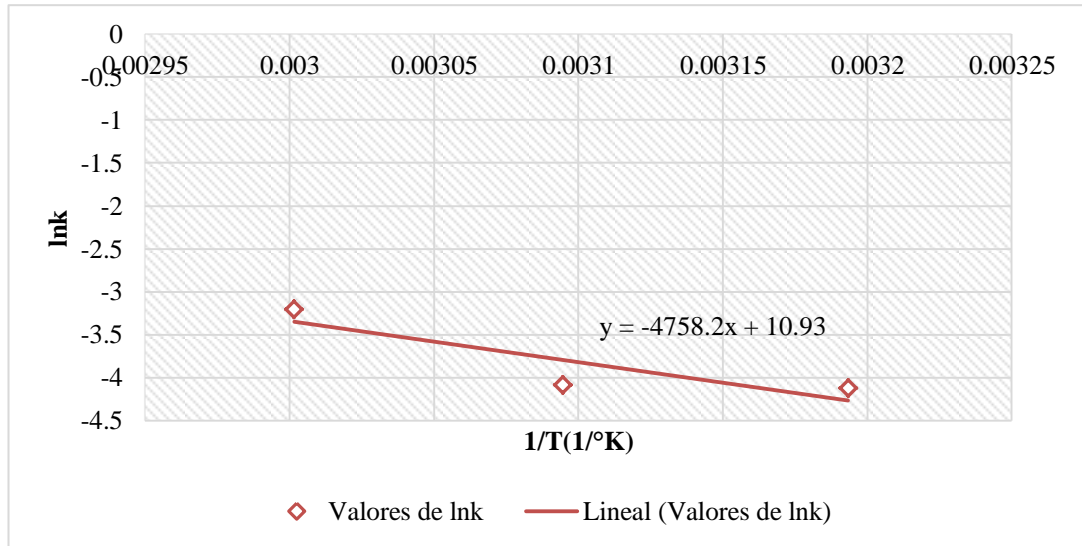
$$\log(V.U) = 3.0802 - 0.0237 * T(^{\circ}C) \dots \dots \dots (10)$$

y despejando la ecuación (9) se obtiene:

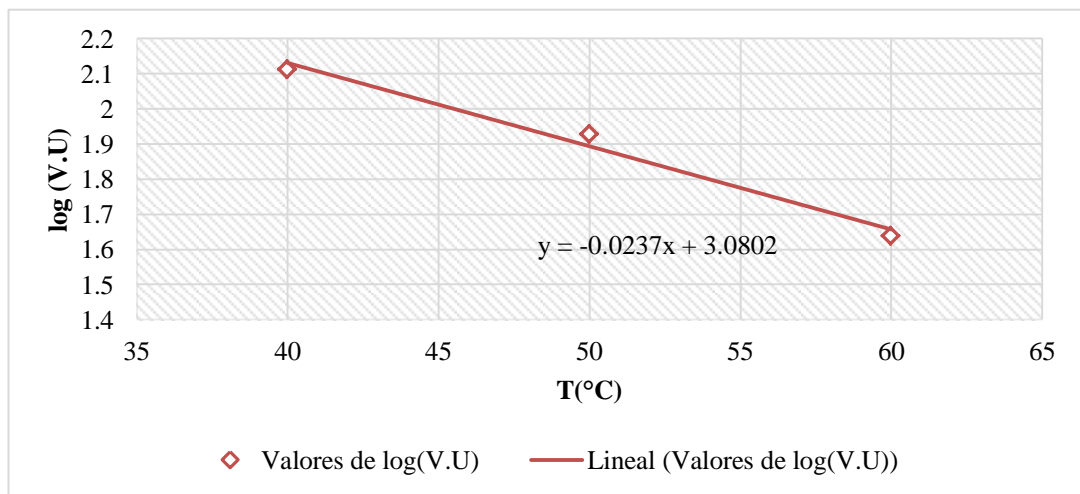
$$V.U = 10^{(3.0802-0.0237*T)} \dots \dots \dots (11)$$

Donde T está en °C.

Ahora para una temperatura de almacenamiento de  $T=23^{\circ}\text{C}$ , que corresponde a la temperatura de ambiente, y reemplazando en la ecuación 11, tenemos una vida útil de 342.85 días.



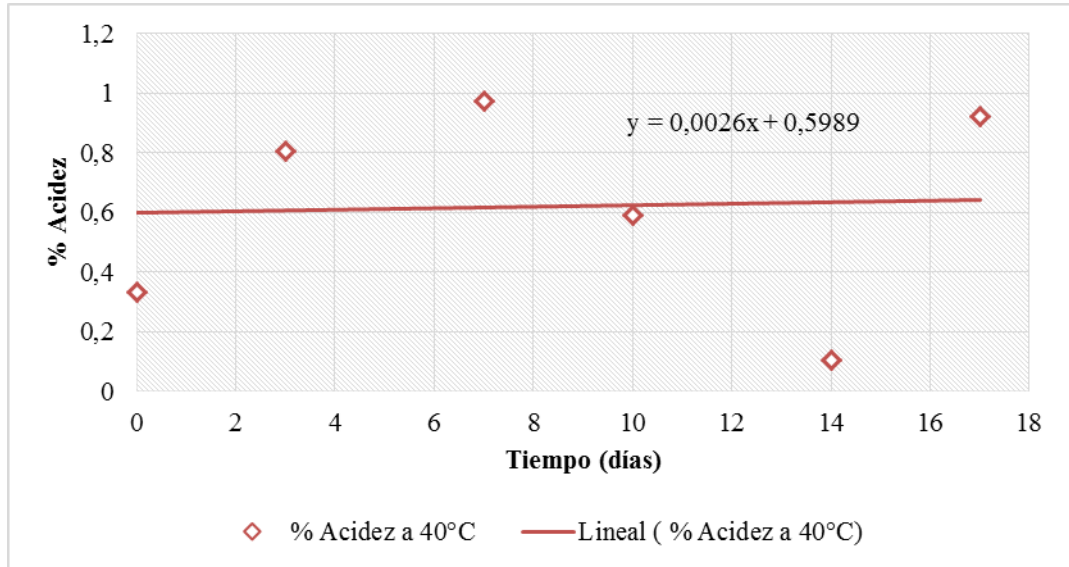
**Figura 45:** Valores de  $\ln k$  en función  $1/T$



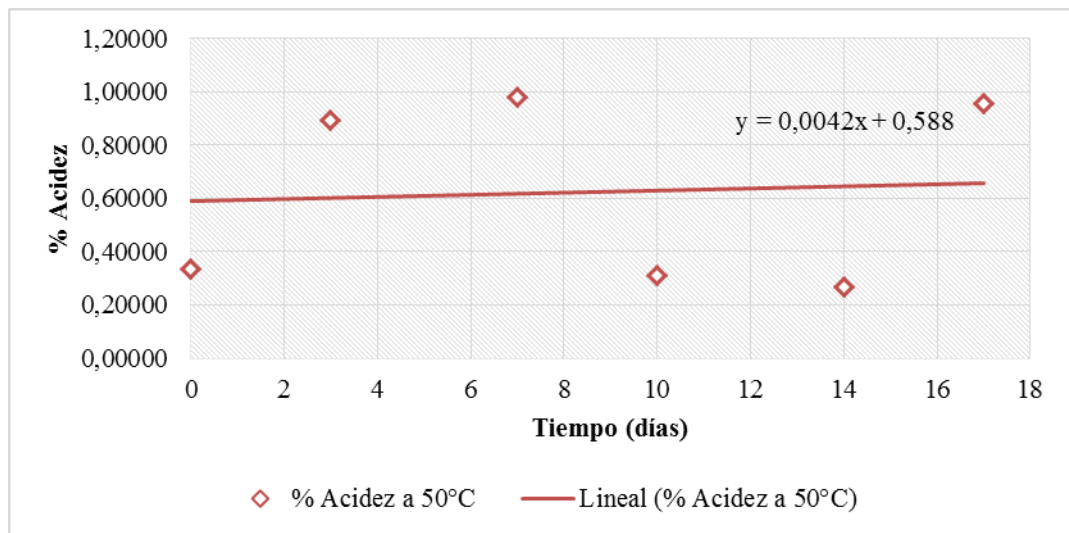
**Figura 46:** Log vida útil en función de las temperaturas 40, 50 y  $60^{\circ}\text{C}$

#### 4.16.1.2. % de Acidez.

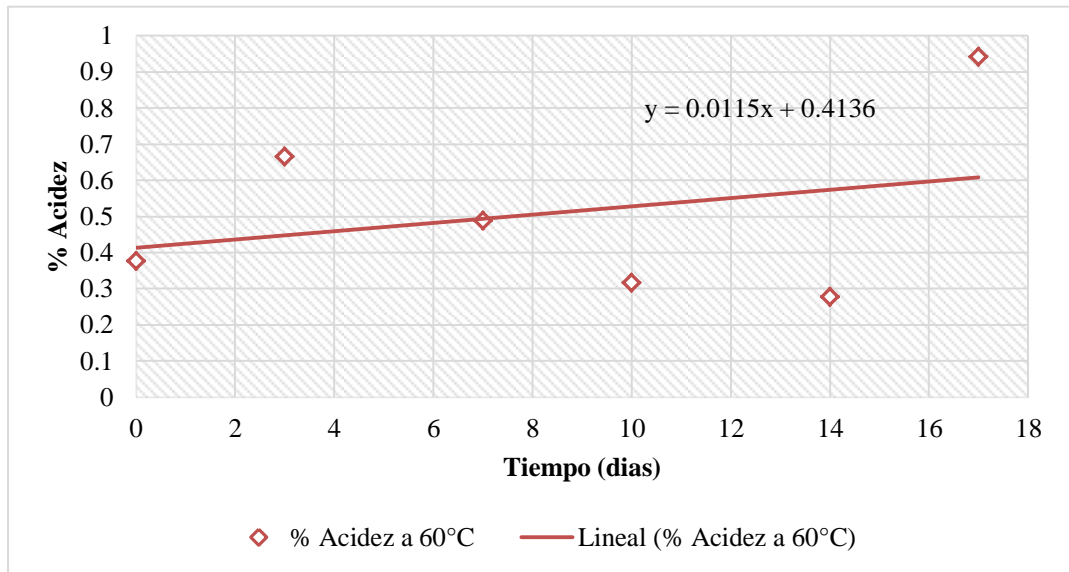
Los resultados del cambio de % de Acidez en función del tiempo para cada temperatura, se muestran en las Figs. 47, 48 y 49. La pendiente en cada una de ellas representa la constante de reacción o deterioro del % de Acidez.



**Figura 47:** Valores de % Acidez en función del tiempo para la temperatura de 40°C



**Figura 48:** Valores de % Acidez en función del tiempo para la temperatura de 40°C



**Figura 49:** Valores de % Acidez en función del tiempo para la temperatura de 60°C

Se puede observar en las tres figuras que a medida que pasa el tiempo, el valor de % Acidez tiende a aumentar, pero los puntos tuvieron un comportamiento oscilante (subida, bajada y termina subiendo), cabe mencionar que esta tendencia de los puntos es inversamente proporcional a la tendencia encontrada en la evaluación de vida útil hallada por variación de pH. Este deterioro presenta una tendencia lineal con pendiente positiva. Los datos fueron analizados estadísticamente y un análisis de residuos (no reportado) mostró que los datos se distribuyen aleatoriamente, es decir, no hay sesgo. Las regresiones lineales obtenidas de estos gráficos se presentan a continuación:

Para 40°C

$$\% \text{ Acidez} = 0.5989 + 0.0026 * t \dots \dots \dots (12)$$

Para 50°C

$$\% \text{ Acidez} = 0.588 + 0.0042 * t \dots \dots \dots (13)$$

Para 60°C

$$\% \text{ Acidez} = 0.4136 + 0.0115t \dots \dots \dots (14)$$

Con las tres constantes obtenidas por mínimos cuadrados, y representadas por los valores de la pendiente en las ecuaciones (12), (13) y (14), para las tres temperaturas estudiadas, se construyó la Fig. 50 del  $\ln k$  en función de  $1/T$ . La ecuación que se ajusta por mínimos cuadrados es:

$$\ln k = 18.624 - 7724.9 * \frac{1}{T(^{\circ}K)} \dots \dots \dots (15)$$

El valor de la energía de activación que se obtiene de esta ecuación es de 64229 J/mol. Para una constante universal de los gases ideales igual a 8.3145 J/mol $^{\circ}$ K.

Según el análisis gráfico mediante las oscilaciones del % Acidez, para una tendencia anormal, se llegó a determinar un valor de % Acidez crítica, para el cual se consideró que el producto ya no reúne las cualidades necesarias para el consumidor, cuando el valor fue de % Acidez = 0.942. Este valor fue corroborado por los estudios realizado por (Gonzalo, 2004). Al sustituir este resultado de % Acidez en las ecuaciones (12), (13) y (14) se estima que las pasas de arándano incubadas a 40 $^{\circ}$ C, 50 $^{\circ}$ C y 60 $^{\circ}$ C tienen una vida útil de 131.96 días, 84.29 días y 45.95 días, respectivamente. Se graficó el logaritmo de la vida útil a las temperaturas del estudio. La pseudotransformación resultante, ya que los ámbitos de temperatura son estrechos, se puede observar en la Fig.51, (Labuza, T.P., 1984). Con la ecuación obtenida se puede estimar la vida útil de las pasas de arándano para diferentes temperaturas de almacenamiento.

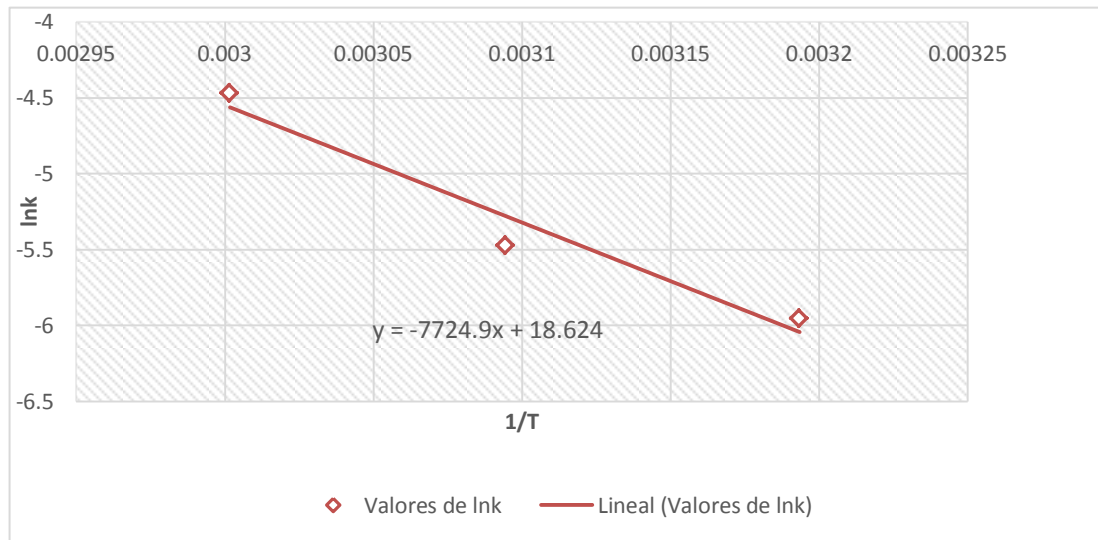
$$\log(V.U) = 3.0483 - 0.0229 * ^{\circ}T \dots \dots \dots (16)$$

y despejando la ecuación (9) se obtiene:

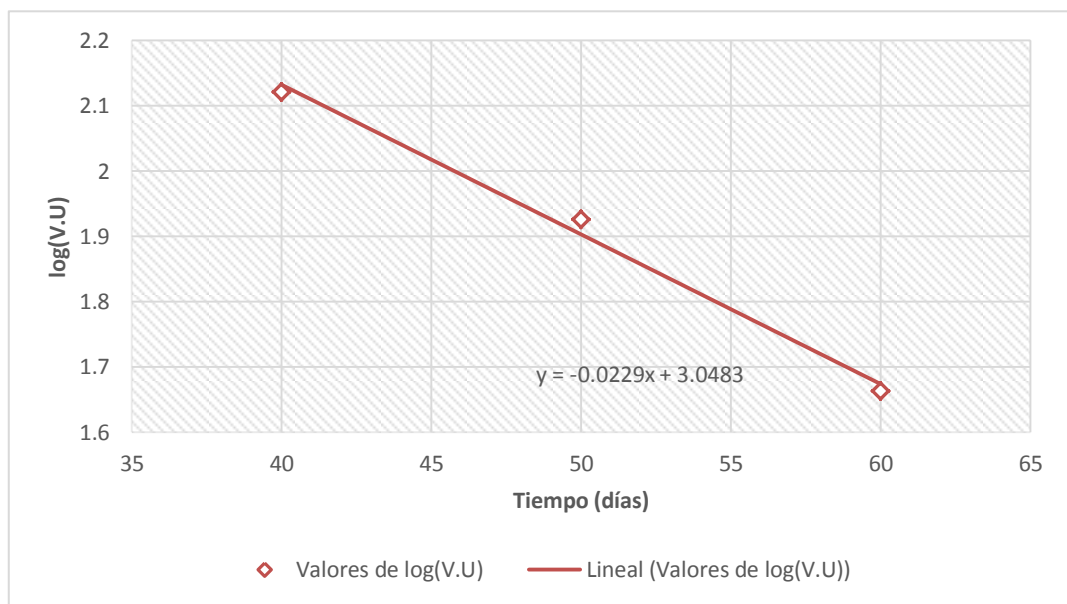
$$V.U = 10^{(3.0483 - 0.0229 * ^{\circ}T)} \dots \dots \dots (17)$$

Donde T está en  $^{\circ}$ C.

Ahora para una temperatura de almacenamiento de  $T=23^{\circ}\text{C}$ , que corresponde a la temperatura de ambiente, y reemplazando en la ecuación 17, tenemos una vida útil de 332.35 días.



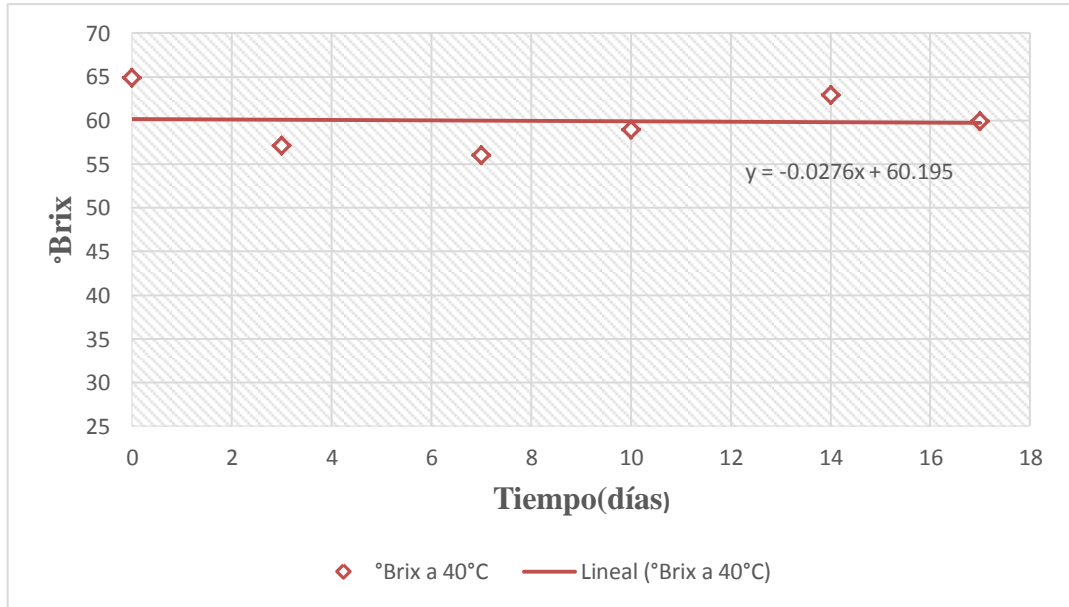
**Figura 50:** Valores de ln k en función 1/T



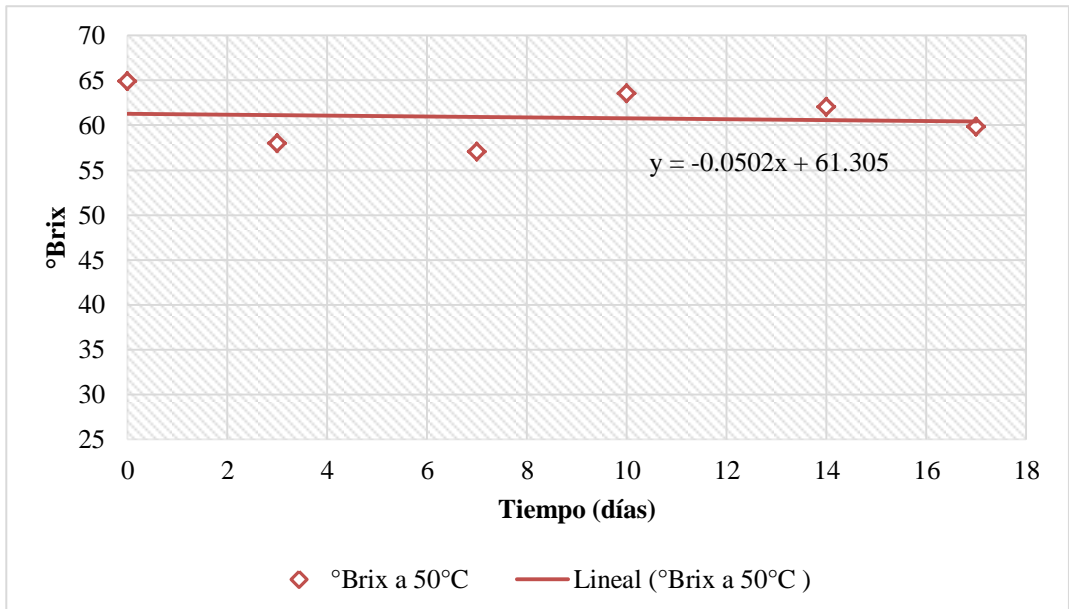
**Figura 51:** Log vida útil en función de las temperaturas 40, 50 y 60°C

#### 4.16.1.3. °Brix.

Los resultados del cambio de °Brix en función del tiempo para cada temperatura, se muestran en las Figs. 52, 53 y 54. La pendiente en cada una de ellas representa la constante de reacción o deterioro de los °Brix.



**Figura 52:** Valores de °Brix en función del tiempo para la temperatura de 40°C



**Figura 53:** Valores de °Brix en función del tiempo para la temperatura de 50°C

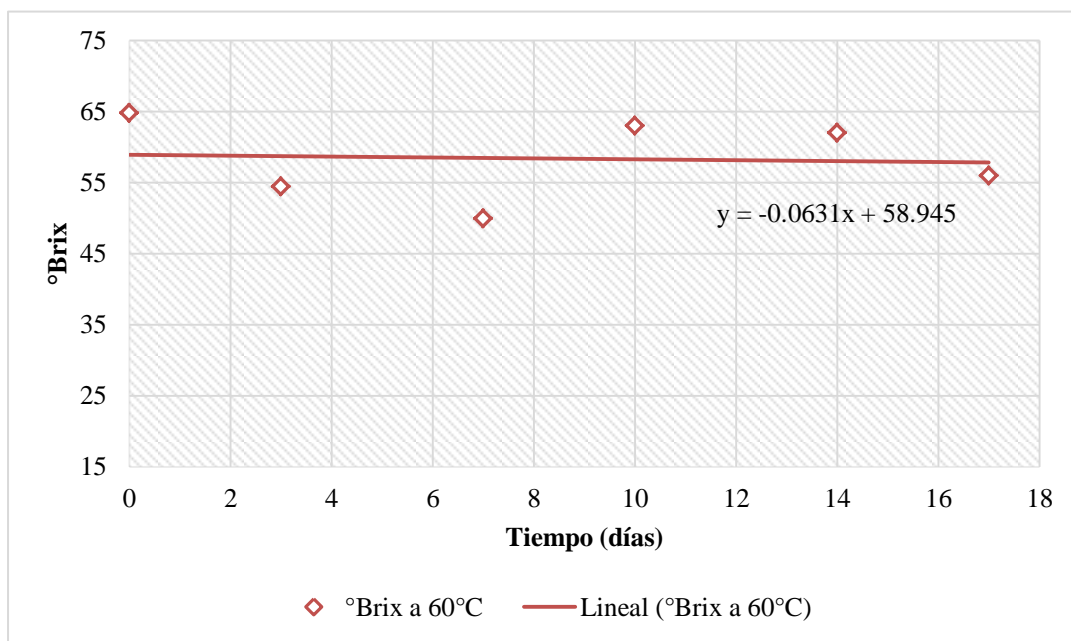


Figura 54: Valores de °Brix en función del tiempo para la temperatura de 60°C

Se puede observar en las tres figuras que a medida que pasa el tiempo, el valor de °Brix tiende a disminuir, pero los puntos tuvieron un comportamiento ligeramente oscilante (bajada, subida y termina bajando). Este deterioro presenta una tendencia lineal con pendiente negativa. Los datos fueron analizados estadísticamente y un análisis de residuos (no reportado) mostró que los datos se distribuyen aleatoriamente, es decir, no hay sesgo. Las regresiones lineales obtenidas de estos gráficos se presentan a continuación:

Para 40°C

$$°Brix = 60.195 - 0.0276 * t \dots \dots \dots (18)$$

Para 50°C

$$°Brix = 61.305 - 0.0502 * t \dots \dots \dots (19)$$

Para 60°C

$$°Brix = 58.945 - 0.0631 * t \dots \dots \dots (20)$$



Con las tres constantes obtenidas por mínimos cuadrados, y representadas por los valores de la pendiente en las ecuaciones (18), (19) y (20), para las tres temperaturas estudiadas se construyó la Fig.55 en la cual se tiene  $\ln k$  en función de  $1/T$ . La ecuación que se ajusta por mínimos cuadrados es:

$$\ln k = 10.299 - 4331.9 * \frac{1}{T(^{\circ}K)} \dots \dots \dots (21)$$

El valor de la energía de activación que se obtiene de esta ecuación es de 36018 J/mol. Para una constante universal de los gases ideales igual a 8.3145 J/mol $^{\circ}$ K.

Según el análisis gráfico mediante las oscilaciones de los  $^{\circ}$ Brix, para una tendencia anormal, se llegó a determinar un valor de  $^{\circ}$ Brix crítico, para el cual se consideró que el producto ya no reúne las cualidades necesarias para el consumidor, cuando el valor fue de  $^{\circ}$ Brix = 56.05. Este valor fue corroborado por los estudios realizado por (Gonzalo, 2004).

Al sustituir este resultado de  $^{\circ}$ Brix en las ecuaciones (18), (19) y (20) se estima que las pasas de arándano incubadas a 40 $^{\circ}$ C, 50 $^{\circ}$ C y 60 $^{\circ}$ C tienen una vida útil de 150.18 días, 104.68 días y 45.88 días, respectivamente. Se graficó el logaritmo de la vida útil a las temperaturas del estudio. La pseudotransformación resultante, ya que los ámbitos de temperatura son estrechos, se puede observar en la Fig. 56, (Labuza, T.P., 1984). Con la ecuación obtenida se puede estimar la vida útil de las pasas de arándano para diferentes temperaturas de almacenamiento.

$$\log(V.U) = 3.2402 - 0.0257 * T \dots \dots \dots (22)$$

y despejando la ecuación (9) se obtiene:

$$V.U = 10^{(3.2402-0.0257*T)} \dots \dots \dots (23)$$

Donde T está en  $^{\circ}$ C.

Ahora para una temperatura de almacenamiento de  $T=23^{\circ}\text{C}$ , que corresponde a la temperatura de ambiente, y reemplazando en la ecuación 23, tenemos una vida útil de 445.76 días.

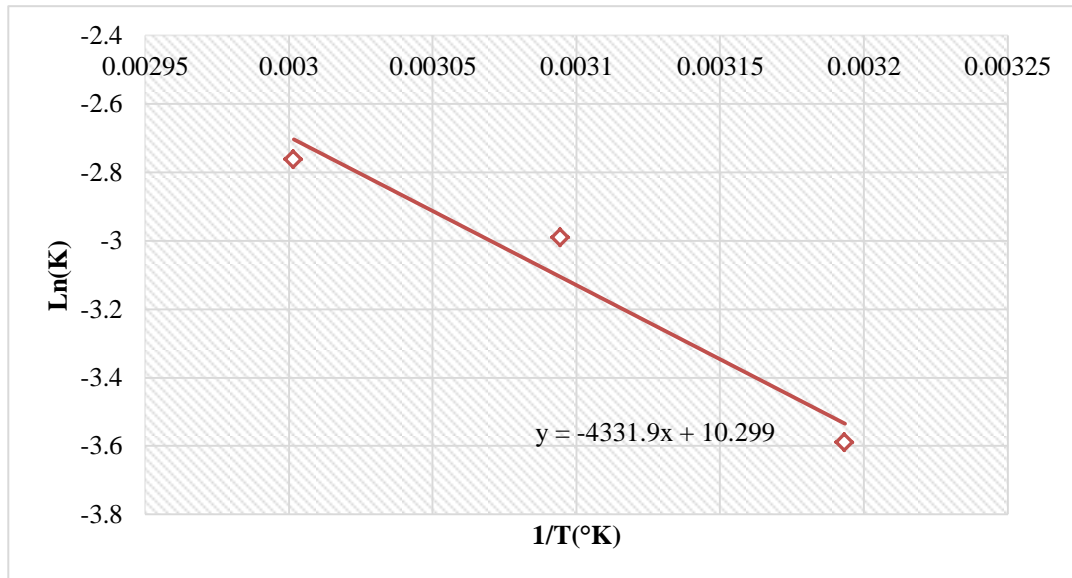


Figura 55: Valores de  $\ln k$  en función  $1/T$

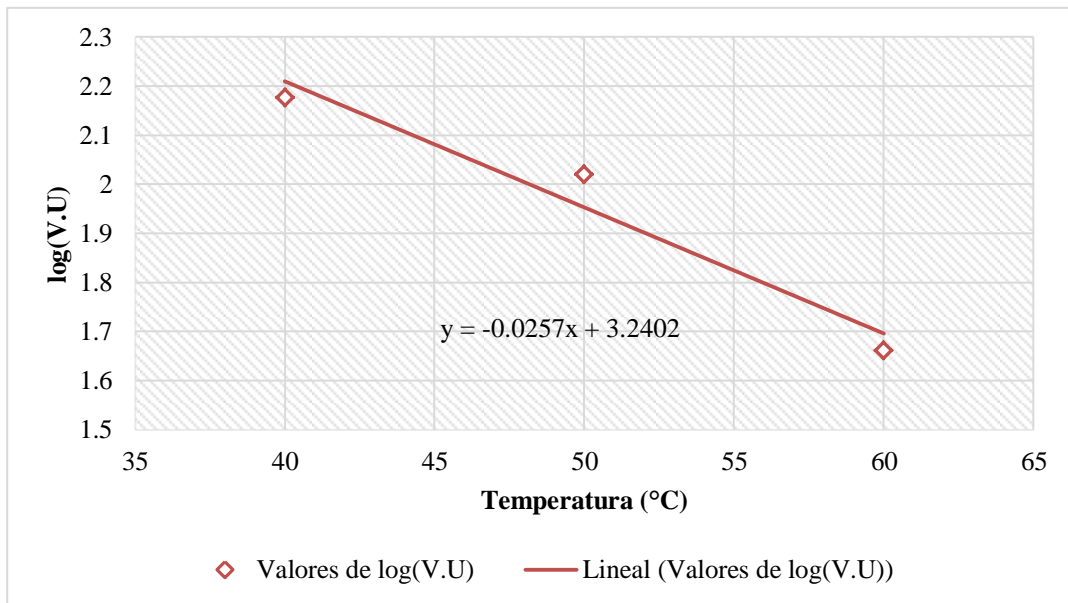
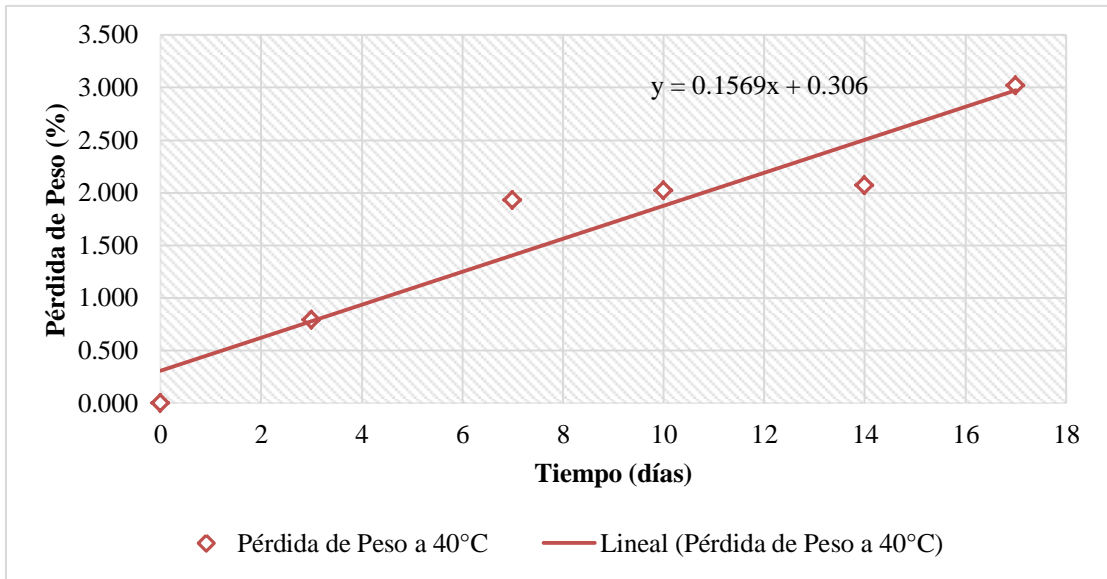


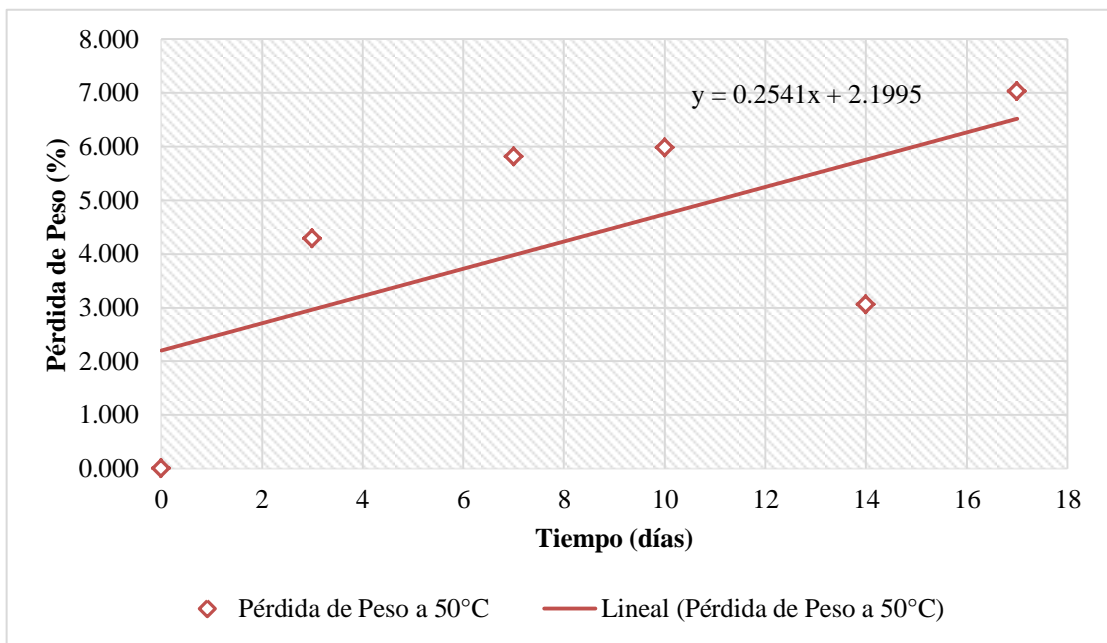
Figura 56: Log vida útil en función de las temperaturas 40, 50 y  $60^{\circ}\text{C}$

#### 4.16.1.4. Pérdida de peso.

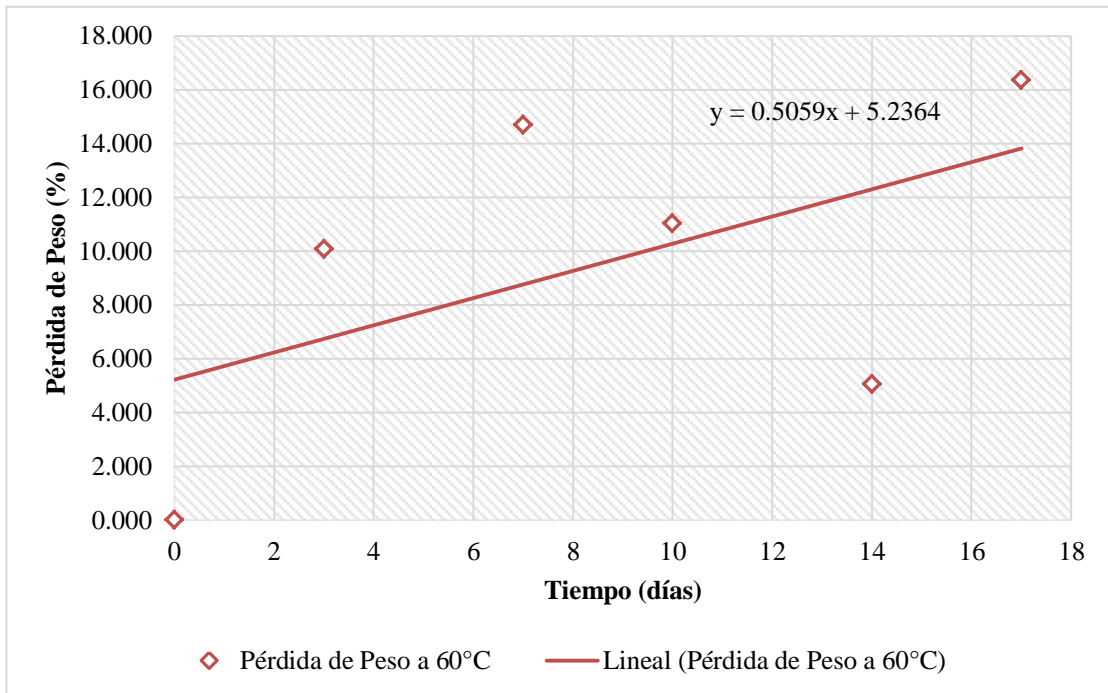
Los resultados de la Pérdida de peso en función del tiempo para cada temperatura, se muestran en las Figs.57, 58 y 59. La pendiente en cada una de ellas representa la constante de reacción o deterioro de la Pérdida de peso.



**Figura 57:** Valores de Pérdida de peso (%) en función del tiempo para la temperatura de 40°C



**Figura 58:** Valores de Pérdida de peso (%) en función del tiempo para la temperatura de 50°C



**Figura 59:** Valores de Pérdida de peso (%) en función del tiempo para la temperatura de 60°C

Se puede observar en las tres figuras que a medida que pasa el tiempo, el valor de Pérdida de peso (%) tiende a aumentar, pero los puntos tuvieron un comportamiento apenas oscilante (subida, bajada y termina subiendo). Este deterioro presenta una tendencia lineal con pendiente positiva. Los datos fueron analizados estadísticamente y un análisis de residuos (no reportado) mostró que los datos se distribuyen aleatoriamente, es decir, no hay sesgo. Las regresiones lineales obtenidas de estos gráficos se presentan a continuación:

Para 40°C

$$\text{Pérdida de peso} = 0.306 - 0.1569 * t \dots \dots \dots (24)$$

Para 50°C

$$\text{Pérdida de peso} = 2.1995 - 0.2541 * t \dots \dots \dots (25)$$

Para 60°C

$$\text{Pérdida de peso} = 5.2364 - 0.5059 * t \dots \dots \dots (26)$$

Con las tres constantes obtenidas por mínimos cuadrados, y representadas por los valores de la pendiente en las ecuaciones (24), (25) y (26), para las tres temperaturas estudiadas, se construyó la Fig. 60 en donde se tiene  $\ln k$  en función de  $1/T$ . La ecuación que se ajusta por mínimos cuadrados es:

$$\ln k = 17.568 - 6093.8 * \frac{1}{T(^{\circ}K)} \dots \dots \dots (27)$$

El valor de la energía de activación que se obtiene de esta ecuación es de 50667 J/mol. Para una constante universal de los gases ideales igual a 8.3145 J/mol<sup>o</sup>K.

Según el análisis gráfico mediante las oscilaciones de la Pérdida de peso (%), para una tendencia anormal, se llegó a determinar un valor de Pérdida de peso (%) crítico, para el cual se consideró que el producto ya no reúne las cualidades necesarias para el consumidor, cuando el valor fue de Pérdida de peso (%) =16.356. Este valor fue corroborado por los estudios realizado por (Gonzalo, 2004). Al sustituir este resultado de Pérdida de peso (%) en las ecuaciones (24), (25) y (26) se estima que las pasas de arándano incubadas a 40°C, 50°C y 60°C tienen una vida útil de 102.29 días, 55.71 días y 21.98 días, respectivamente. Se graficó el logaritmo de la vida útil a las temperaturas del estudio. La pseudotransformación resultante, ya que los ámbitos de temperatura son estrechos, se puede observar en la Fig. 61 (Labuza, T.P., 1984). Con la ecuación obtenida se puede estimar la vida útil de las pasas de arándano para diferentes temperaturas de almacenamiento.

$$\log(V.U) = 3.3688 - 0.0334 * T \dots \dots \dots (28)$$

y despejando la ecuación (9) se obtiene:

$$V.U = 10^{(3.3688-0.0334*T)} \dots \dots \dots (29)$$

Donde T está en °C.

Ahora para una temperatura de almacenamiento de  $T=23^{\circ}\text{C}$  que corresponde a la temperatura de ambiente, y reemplazando en la ecuación 29, tenemos una vida útil de 398.66 días.

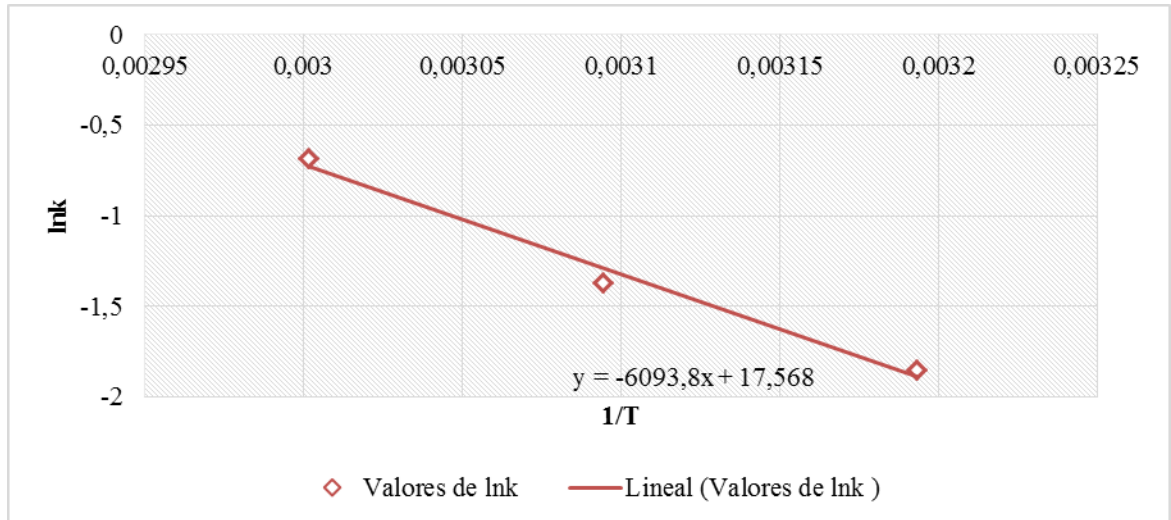


Figura 60: Valores de  $\ln k$  en función  $1/T$

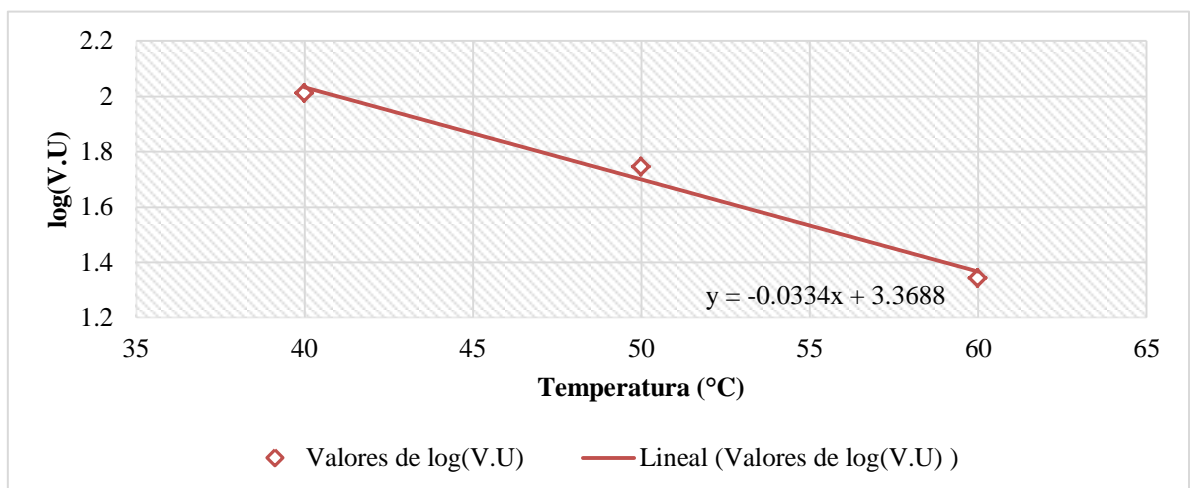


Figura 61: Log vida útil en función de las temperaturas 40, 50 y  $60^{\circ}\text{C}$

#### 4.16.2. Discusión final de los 4 indicadores analizados

Se determinó que el deterioro de las pasas de arándano de los indicadores pH, %Acidez, °Brix y Pérdida de peso, responde a un modelo de orden cero.

La energía de activación predicha mediante la ecuación de Arrhenius para pH, %Acidez, °Brix y Pérdida de peso son 39.562 KJ/ mol, 64.229 KJ/ mol, 36018 KJ/ mol, y 50.667 KJ/ mol respectivamente.

La vida útil estimada del producto para los indicadores de deterioro a 40°C, 50°C y 60°C son: para pH 129.81 días, 84.92 días y 43.52 días, respectivamente. Para %Acidez 131.96 días, 84.29 días y 45.95 días, respectivamente. Para °Brix 150.18 días, 104.68 días y 45.88 días, respectivamente. Finalmente, para Pérdida de peso 102.29 días, 55.71 días y 21.98 días, respectivamente.

Con los tiempos y las temperaturas estudiadas se obtuvieron ecuaciones generales para los diferentes indicadores de deterioro estudiados, para estimar la vida útil del producto pasas de arándano, para las diferentes temperaturas de almacenamiento; estas ecuaciones están descritas por:

Para pH:

$$V. U = 10^{(3.0802 - 0.0237 * T)} \dots \dots \dots (11)$$

Para % Acidez:

$$V. U = 10^{(3.0483 - 0.0229 * T)} \dots \dots \dots (17)$$

Para °Brix:

$$V. U = 10^{(3.2402 - 0.0257 * T)} \dots \dots \dots (23)$$

Para Pérdida de peso:

$$V. U = 10^{(3.3688 - 0.0334 * T)} \dots \dots \dots (29)$$

Las ecuaciones de vida útil (Ec. 11, 17,23 y 29) establecidas en base indicadores pH, %Acidez, °Brix y Pérdida de Peso, permiten predecir el comportamiento del producto pasas de arándano a diferentes temperaturas de almacenamiento.

**Tabla 37:**

*Reporte de los valores de Vida Útil (días) encontrados, para cada indicador de deterioro, cuando la temperatura de almacenamiento es de aprox. 23°C*

Indicador de deterioro	Vida útil (días)
pH	342.85
%Acidez	332.35
Pérdida de peso (%)	398.66
°Brix	445.76

En la Tabla 37, se puede apreciar los indicadores de deterioro, así como la vida útil expresada en días, para cada uno de ellos. La temperatura a la cual se calculó la vida útil de las pasas de arándano es la del ambiente (aprox. 23°C), podemos notar que si determinamos la vida útil en función de los °Brix, el producto nos durará 445.76 días, que es el mayor tiempo de vida útil encontrado para las pasas en nuestro estudio, pero no nos podemos quedar con este tiempo de vida útil, debido a que la vida útil del % de Acidez está indicando que el producto sufrió alteraciones mucho antes, es decir a los 332.35 días, alteraciones que no fueron percatadas por el indicador °Brix ni tampoco por la Pérdida de peso (%), los cuales son los indicadores con mayor tiempo de vida útil encontrados, ambos indicadores no avisaron de los cambios que sufrió el producto, debido a que sólo se basan en determinar la calidad del producto en base a su peso y concentración final, más no evalúan la condición en la que llega el producto al tramo final. Por este motivo nos quedamos con la vida útil más corta, la cual fue determinada en base las variaciones del % de Acidez, por lo cual a partir de los 332.35 días, se puede decir que las pasas de arándano ya no cumplirán con todos los requisitos organolépticos, ya que tendrán deficiencias en cuanto al color, al sabor, a la textura y al olor, es decir estos ya no serán los



característicos al producto, ya que se incorporaran a ellos olores y sabores extraños, y la textura ya no será suave. Por lo antes mencionado, si el producto es consumido dentro de los 332.35 días, está garantizado que las pasas de arándano van a mantener las características sensoriales y de seguridad aceptables para el consumidor, después de este periodo de tiempo de vida útil, ya no se va a mantener la calidad esperada por el consumidor final, el producto ya no va a satisfacer las expectativas.

Entonces nuestro producto “pasas de arándano” tendrá un tiempo de vida útil de 332.35 días almacenados a la temperatura ambiente (aprox. 23°C), esto basados en las oscilaciones que presenta el % Acidez durante el tiempo de almacenamiento, cabe mencionar que se obtuvo este tiempo de vida útil mediante pruebas aceleradas.

#### **4.17. Análisis microbiológico del producto final.**

Se realizaron ensayos microbiológicos a los 17 días de su almacenamiento. Los resultados de laboratorio pudieron constatar que las pasas de arándano se mantuvieron estables frente al deterioro microbiano, durante el lapso de tiempo estudiado.

Cabe mencionar que se analizaron recuentos de mohos y levaduras en las pasas de arándanos correspondientes al tratamiento que más las afectó (60°C) durante la etapa de evaluación de vida útil.

**Tabla 38:**  
*Reporte de los análisis microbiológicos*

Ensayos Microbiológicos	Día 17
Mohos (ufc/g)	< 100
Levaduras (ufc/g)	< 100

En la Tabla 38, se puede apreciar los resultados de los ensayos microbiológicos realizados a las pasas de arándano, estos análisis se realizaron

después de la evaluación del tiempo de vida útil del producto 17 días, específicamente al tratamiento cuya temperatura fue la más alta 60°C, esto con la intención de identificar presencia de mohos y levaduras en el producto que sufrió mayor alteración por temperatura.

Se consideró evaluar sólo la presencia mohos y levaduras puesto que son los microorganismos más propensos a dar aparición en los productos secos. Las bajas actividades de agua y medios ácidos son condiciones favorables para su crecimiento y desarrollo.

En los resultados se puede observar que al terminó de la vida útil no se evidenció crecimiento de mohos y levaduras (ufc/g), manteniendo los límites permisibles por la norma técnica peruana (DIGESA y MINSA , 1998).

Haciendo la comparación con los datos microbiológicos obtenidos en la ficha técnica de la empresa PRO VALLE ALIMENTOS S.A.C., productora de pasas de arándano ubicada en Lima, Perú quienes reportan presencia de mohos y levaduras <100 ufc/gr para un tiempo de vida útil de 1 año, podemos manifestar que nuestros resultados coinciden con los de la empresa mencionada, por ende, deducimos que nuestro producto tiene calidad de comercialización.

Podemos notar que los mohos y las levaduras están por debajo de 100 ufc/g, si bien es cierto no deberían existir bacterias luego del tratamiento (deshidratación osmótica y secado) ya que con el mismo reduce considerablemente la actividad de agua, y las bacterias necesitan valores de actividad de agua altos para sobrevivir ( $a_w=0.9$ ), sin embargo, los mohos y las levaduras pueden subsistir a actividades de agua bastante más bajas que las bacterias, específicamente 0.8 y 0.88 respectivamente, esto según (Salunkhe *et al.*, 1973). Otros autores mencionan actividades de agua cercanas a 0,6 para mohos y levaduras, por lo tanto, se justifica el valor de < 100 ufc/g

para dichos microorganismos, ya que nuestro producto final alcanzó una actividad de agua cercana a 0.7 por ser pasa seca.

Después de haber obtenido los resultados del análisis microbiológico podemos manifestar que dichos valores se encuentran dentro del rango establecido por los organismos competentes Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA,2006), así mismo después de los 17 días de almacenamiento del producto, bajo condiciones de pruebas aceleradas por temperatura, no se logró detectar contaminación apreciable por los microorganismos típicos, que se consideran como indicadores para establecer la inocuidad de un alimento. Por lo tanto, podemos manifestar que el producto se mantuvo estable e inocuo frente al deterioro microbiano en el lapso de tiempo estudiado.

## V. CONCLUSIONES

En la deshidratación osmótica tanto la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) como la concentración de la solución osmótica ( $^{\circ}\text{Brix}$ ), ejercen influencia en la pérdida de humedad en el fruto, pero mucho más la Temperatura que ejerce un efecto significativo en la pérdida de humedad.

Las condiciones experimentales óptimas que maximizan la extracción de humedad se logra a  $55.46^{\circ}\text{C}$  y  $62.94^{\circ}\text{Brix}$  (Optimo 1), para el cual se logra extraer hasta 2.0441 (kg agua/kg m.s).

En el proceso de deshidratación osmótica tanto la temperatura como la concentración de la solución osmótica ejercen un efecto significativo en la ganancia de sólidos solubles en la fruta, la mayor ganancia de sólidos solubles en fruta se logra a  $55.16^{\circ}\text{C}$  y  $65^{\circ}\text{Brix}$ , pero lo cual se logra incorporar  $24.78^{\circ}\text{Brix}$  al fruto.

Mediante la Optimización conjunta de pérdida de humedad y ganancia de sólidos solubles, se identificaron las condiciones experimentales ideales de temperatura y concentración de solución osmótica las cuales fueron  $56^{\circ}\text{C}$  y  $65^{\circ}\text{Brix}$  (Optimo 2), pero lo cual se logró una pérdida de humedad de 1.98421 kg agua/kg. m.s, y una ganancia de sólidos solubles de  $24.7491^{\circ}\text{Brix}$ .

Con el análisis sensorial se ratifica que la muestra perteneciente al Optimo 2 tuvieron mayor preferencia para los panelistas, ya que en los análisis estadísticos realizados se encontraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) con respecto a los atributos Sabor, Aceptabilidad general e intención de compra, mientras que con respecto al Color y Textura no se encontraron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ). por ello se deduce que el producto más agradable pertenece al Optimo 2.

Se determinaron los coeficientes de Hawkes-Flink para el agua ( $k_w$ ) y el soluto ( $k_s$ ), la difusividad efectiva ( $D_{\text{eff}}$ ), la difusividad del agua en el sólido ( $D_s$ ) y los

coeficientes de transferencia de masa externo ( $k_{ext}$ ) en el proceso de osmodeshidratación, correspondientes al tiempo máximo ensayado 5h, en la deshidratación con sacarosa 55, 60 y 65°Brix, empleando velocidades de agitación del medio osmótico 0, 150 y 300 rpm a 56°C.

Se logró determinar la  $a_w^{25^\circ C}$  de las pasas de arándano 0.72 mediante un modelo predictivo, en función de los valores pH 3.53 y °Brix 64.86 finales del proceso.

Se cuantificaron las antocianinas mg cianidina-3-glucósido/100 g de muestra, presentes al finalizar cada etapa del proceso, desde la recepción de la materia prima  $195,0986 \pm 5.4016$  hasta finalizar el secado  $74,8667 \pm 0.6322$ , el porcentaje de retención de antocianinas fue considerable 38.37%.

Se cuantificaron los fenoles totales mg ácido gálico/100 gr muestra, presentes al finalizar cada etapa del proceso, desde la recepción de la Materia prima  $800,3584 \pm 0.118$  hasta finalizar el secado  $529,7491 \pm 0.057$ , el porcentaje de retención de fenoles fue considerable 66.19%.

Se cuantificó la capacidad antioxidante  $\mu\text{mol TE}/100$  gr de muestra, presentes al finalizar cada etapa del proceso, desde la recepción de la Materia prima  $3098,1077 \pm 0.054$  hasta finalizar el secado  $1482.3482 \pm 0.006$ , la cantidad de retención de capacidad antioxidante fue considerable 47.85%.

Se determinó el tiempo de vida útil del producto pasas de arándano, mediante pruebas aceleradas por temperatura, basándonos en las oscilaciones que presenta el % de acidez durante su almacenamiento 17 días, disminuyendo el tiempo de vida cuando la temperatura aumenta. El tiempo de vida predicho a 23°C fue de 332.35 días.

Finalmente se realizaron los ensayos microbiológicos a los 17 días de almacenamiento del producto final. Los resultados de laboratorio reportando valores  $<100\text{ufc}/\text{gr}$  para mohos y levaduras. Con ello se pudo constatar que las pasas de

arándano se mantuvieron estables frente al deterioro microbiano, durante el lapso de tiempo estudiado.

## VI. RECOMENDACIONES

Realizar el estudio a otras variedades de arándano, ya que, debido a la naturaleza del producto, se encontrarán variaciones específicas en cuanto a la calidad del producto final.

Evaluar la deshidratación del arándano, empleando otros agentes osmóticos tales como glucosa y sal, para cuantificar la ganancia de sólidos solubles en el fruto.

Realizar el análisis de microscopía electrónica a las pasas de arándano, con la finalidad de conocer el daño a nivel celular del producto después de los procesos de deshidratado y secado, esto con miras de mejorar la calidad del producto final.

Desarrollar un software para predecir la vida útil del producto pasas de arándano, con el objetivo de reducir considerablemente el tiempo de cálculo.

Complementar los estudios del análisis microbiológico en las pasas de arándano, evaluando presencia de *Salmonella*, *Escherichia coli*, *Enterobacterias*, entre otros microorganismos típicos del producto en cuestión.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aguilera-Ortiz, M.; Reza-Vargas, M.; ChewMadinaveitia, R.; Meza-Velázquez. (2011). Propiedades funcionales de las antocianinas. *Revista de ciencias Biologicas y de la Salud (13)*, 16-22.
- Alimentos, Protocolo de calidad para pasas de frutas. Direccion Nacional de. (2006).
- AOAC. (1995). *Official Methods of Analysis of Aoac International*. Vol. Ii. 16th Edition. Cap. 37.
- AOAC. (2005). *Official Methods of Analysis of Aoac International*.
- Azuara, E.,Beristain,C.J. & Garcia,H.S. (1992). Development Of A Mathematical Model To Predict Kinetics Of Osmotic Dehydration. *J.Food Sic.*29, 239-242 .
- Barat, J., Chiralt, A & Fito, P. (1998). Equilibrium in cellular food osmotic solution system as relate to structure. *Journal of food science*, 63, 836-840.
- Gustavo V. Barbosa-Canovas; Humberto Vega-Mercado, . (2000). *Deshidratación De Alimentos*. España: Acribia.
- Barnes, J. S., Nguyen, H. P., Shen, S., & Schug, K. A. (2009). General method for extraction of blueberry anthocyanins and identification using high performance liquid chromatography–electrospray ionization-ion trap-time of flight-mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*,1216(23), 4728-4735.
- Beccaro G, Mellano MG, Botta R, Chiabrando V, Bounous G. (2006). Phenolic and anthocyanin content and antioxidant activity in fruits of bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) and of highbush blueberry (*V. corymbosum* L.) cultivars in North Western Italy. *Horticult* 715, 553-558.
- Belitz, H & Grosch, W. (1997). *Belitz, H & Grosch, W.* Zaragoza. España: Segunda Edición.Acribia.
- Bohuon, P., Collignan, A., Rios, G. M., & Raoult-Wack, A. L. (1998). *Soaking process in ternary liquids: experimental study of mass transport under natural and forced convection*. *Journal of Food Engineering* 37, 451-459.



- Borchani, C., Besbes, S., Masmoudi, M., Blecker, C., Paquot, M., & Attia, H. (2011). Effect of drying methods on physico-chemical and antioxidant properties of date fibre. *Food Chemistry*,(125), 1194-1201.
- Camacho, A., M.Giles, A., Ortegón, M., Palao, B., & O.Velázquez., S. y. (2009). *Técnicas para el Análisis Microbiológico de Alimentos. 2ª ed. Facultad de Química, UNAM. México.*
- Capocasa F, S. J. (2008). Combining quality and antioxidant attributes in the strawberry: The role of genotype. *Food Chem* 111, 872-878.
- Carpio, C., Serrano, C., & Giusti, M. (2009). Caracterización de las antocianinas de los frutos *Berberis boliviana* Lechler. *SocQuimPeru* (4), 75.
- Casp, A., & April, J. (1999). *Procesos de conservación de alimentos. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.*
- Chenlo et al. (2006). Mass Transfer during Osmotic Dehydration of Chestnut Using Sodium Chloride Solutions. *J. Food Engineering*:(73), 164-173.
- Chenlo et al. (2007). *Osmotic Dehydration of chestnut with sucrose: Mass transfer processes and global kinetics modelling. Journal of Food Engineering* 78, 765-774.
- Chenlo, F.; Moreira, R.; Fernández, C.; Vázquez, G. (2006). *Experimental results and modelling of the osmotic dehydration kinetics of chestnut with glucose solutions. Journal of Food Engineering* 74, 324-334.
- Chenlo, F.; Moreira, R.; Fernández, C.; Vázquez, G. (2006b). *Experimental results and modelling of the osmotic dehydration kinetics of chestnut with glucose solutions. Journal of Food Engineering* 74, 324-334.
- Chenlo, F.; Moreira, R.; Fernández, C.; Vázquez, G. 2007. (2007). *Osmotic Dehydration of chestnut with sucrose: Mass transfer processes and global kinetics modelling. Journal of Food Engineering* 78, 765-774.
- CITA. (2005). *Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Curso Teórico Práctico: Vida útil de alimentos aplicado a la industria. San José Costa Rica, (2005).*
- Clark, J., & Howard, L. y. (2002). Variation in phytochemical composition of blueberry cultivars and breeding selections. *Acta Horticulturae (ISHS)*,574, 203-207.

- Clifford, M. (2000). Anthocyanina: nature, occurrence and dietary burden. *J SciFood Agric.* 80, 1063-1072.
- Cohen, J.S Y T.C. Yang. (1997). Progress In Food Dehydration. *Trends Food Sci. Tech*, 20-25.
- Connor, A., Luby, J., & Finn, C. y. (2002). Genotipic and environmetal variation in antioxidant activity among blueberry cultivar. *Acta Horticulturae (IHS)*,(54), 209-2013.
- Cosentino, E., Acosta, E., Escriche, I. Y Serrra, J. (1994). *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.
- Coste E. (2000). *Analisis Sensorial.* España.
- Crank, J. (1975). *The mathematics of diffusion (2 ed.). Oxford University Press, New York.*
- 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).
- Dalla Rosa M., & Giroux, F. (2001). Osmotic Treatments (OT) And P Solution Management. *Journal Of Food Engineering*, (49), 223-236.
- Díaz, J. (2004). *Formulación de un producto colorante, a nivel de laboratorio, con una presentación líquida utilizando el extracto de la Bixa orellana (achiote) y evaluación de su estabilidad o vida útil de anaquel.* .
- DIGESA y MINSA . (1998). Norma sanitaria que establece los criterios microbiologicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano.
- Duthie, G., & Crozier, A. (2000). Plant derived phenolix antioxidants. *Curr. Opin. Lipid.*11, 43-47.
- Fellows, P. (1998). *Food Processing Technology.* Chichester, Inglaterra. 505p.
- Fennema, O. (1993). *Química De Los Alimentos.* Zaragoza, España: Acribia, S.A.

- Fito, P., Chiralt, J., Barat, J., Salvatori, J Y Andrés, A. (1998). Some Advances in Osmotic Dehydration Of Fruit. *Food Science and Technology International*. (77)., 658-665.
- Gabriel, A. A. (2007). *Estimación de la actividad de agua a partir del pH y °Brix para algunos productos alimenticios* .
- García, C. (2008). *Estimación de la vida útil de un producto alimenticio pasteurizado y uno acidificado mediante pruebas aceleradas. Proyecto de graduación para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería Química, Universidad de Costa Rica, San José, Cos.*
- García, E. & Serra, J. (1994). *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. (1986). *Procesos De Transporte Y Operaciones Unitarias*. Continenta. México: 759p.
- Giovanelli, G., & Buratti, S. (2009). Comparison of polyphenolic composition and antioxidant activity of wild italian blueberries and some cultivated varieties. . *Food Chemistry*,112(4), 903-908.
- Giovanelli, G., Brambilla, A., & Sinelli, N. (2013). Effects of osmo-air dehydration treatments on chemical, antioxidant and morphological characteristics of blueberries. *Food Science and Technology*,(54), 577-584.
- Giovanelli, G.; Brambilla, A.; Rizzolo, A. y Sinelli, N. (2012). Effects of blanching pretreatment and sugar composition of the osmotic solution on physico-chemical, morphological and antioxidant characteristics of osmodehydrated blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.). *Food Research International*,(49), 263-271.
- Giovanelli, G.; Buratti, S. (2009). Comparison of polyphenolic composition and antioxidant activity of wild Italian blueberries and some cultivated varieties. *Food Chem*, 112, 903-908.
- Giraldo B. D., Arango V. L., Márquez C. C. (2004). Osmodeshidratación de Mora de Castilla (*Rubus Glaucus* Benth) con tres agentes edulcorantes . *Facultad Nacional de Agronomía - Medellín*, vol. 57, núm. 1.

- Giraldo, G., Talens, P., Fito, P., & Chiralt, A. 2. (2003). *A influence a sucrose solutions concentration on kinetics and yield during osmotic dehydration of mango. Journal of Food Engineering* 58, 33-43.
- Gómez et al. (2005). Osmotic Dehydration Of Acerola Fruit (*Malpighia Punicifolia L.*) . *Food Engineering: (68)*, 99-103. .
- Hans B. & Wolfgang W. (1997). *Manual De Química Orgánica*. España.: Reverte, Primera Edición.
- 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.
- Hu, R. (1999). *Food product design: A computer-aided statistical approach. USA: Technomic Publishing Co. Inc.*
- Huera, A. (2014). . *Efecto de la radiación UV-C sobre el tiempo de vida útil de carambola (Averrhoa carambola L.) almacenada en refrigeración*. Ecuador: Tesis para obtener título de Ingeniera de Alimentos. Universidad Tecnológica Equinoccial.
- Informacion Tecnologica. (2007). *Vol.18 N°2*, 53-60.
- Jagannath, A., & Tsuchido, T. (2003). *Validation of a polynomial regression model: the thermal inactivation of Bacillus subtilis spores in milk. Letters Applied Microbiology*, 37, 399–404.
- Jayaraman, K. S., & Das Gupta, D. K. (1992). *Dehydration of fruits and vegetables: Recent developments in principles and techniques. Drying Technology* 10, 1-50.
- Kahkonen, M., & Heinonen, I. (2003). Antioxidant activity of anthocyanins and their aglycones. *J. Agric. Food Chem*, 51, 628-633.
- Kalonji R, Shidler Md, Nash Ta, Kalta W, Mr Vinqvist-Tymchuk, Shukitt-Hale B, Joseph Ja. (2010). Beneficios Del Arándano En La Memoria De Adultos Mayores”. Departamento De Psiquiatría. *Departamento de Psiquiatria, Centro de salud academico de la Universidad de Cincinnati, Cincinnati, Ohio 452667-0559*.
- Kalt W, Dufour D. (1997). Health functionality of blueberries. *Hortechology* 7, 216-221.

- Kalt, W., McDonald, J., & Donner, H. (2000). Anthocyanins, phenolics, and antioxidant capacity of processed lowbush blueberry products. *Journal of Food Science*, 65(3), 390-393.
- Karathanos, V. T., Kostaropoulos, E., & Saravacos, G. D. (1995). *Air Drying kinetics of osmotically dehydrated fruits. Drying Technology* 13, 1503-1521.
- Kaymak, F. & Sultanoglu, M. (2000). Modelling Of Mass Transfer during Osmotic Dehydration of Apple. *J. Food Engineering: (46)*, 243-247. .
- Kong J.M., Chian L.S., Goh N.K., Chia R.F, Brouillard C. (2003). Analisis and biological activites of anthocyanins. *Rev. Fitotec. Fitotec*, (28), 359-368.
- Kopjar, M.; Piližota, V. (2009). Copigmentation effect of phenolic compounds on red currant juice anthocyanins during storage. *Croatian Journal of Food Science and Technology*, (1), 16-20.
- 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.
- Kuntz, L. (1991). *Accelerated Shelf Life Testing. Nueva york: Weeks Publishing Co.*
- Labuza, T., & Schmidt, M. (1985). *Accelerated shelf-life dating of foods. Food Technology*, 39(9): 57- 134.
- Labuza, T.P. (1984). *Aplication of chemical kinetics to deterioration of foods. Journal of Chemical Education* 61(4): 348-358.
- Lazarides H., Fito, P., Chiralt, A., Gekas, V. Y Andrzej L. . (1999). Advances in Osmotic Dehydration. En: *Processing Food. Crc Press. London.*, 175-199. .
- Lee, J., Durst, R. W., & Wrolstad, R. (2002). Impact of juice processing on blueberry anthocyanins and polyphenolics: Comparison of two pretreatments. *Journal of Food Science*, 67(5), 1660-1667.
- Lenart, A & Flink, J. . (1994). Osmotic Concentration of Potatoes. I Criteria for De End Point of the Osmotic Process. *Journal of Food Technology. (19).*, 45-63.

- Lerici, C. L., Pinnavaia, G., Dalla Rosa, M., & Bartolucci, L. 1. (1995). *Osmotic dehydration of fruit: influence of osmotic agents on drying behaviour and product quality*. *Journal Food Science* 50, 1217-1219.
- Lohachoompol, V. (2007). *Effects of Drying on Anthocyanins on Blueberries* . Australia: Faculty of Engineering the University of New South Wales .
- Macheix, J.J. Fleuriet, A. & Billot, J. (1990). *Fruit Phenolics*. Boca Raton, Fl, Usa, Crc Press, 378.
- Maestelli, A. (1997). *Fundamentos de la deshidratación osmótica de frutas*. En: *CURSO TALLER DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DIRECTA DE VEGETALES*. Santafé de Bogotá: Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos,37p.
- Magee, T., Hassaballah, A., Murphy, W. (1993). Internal Mass Transfer during Osmotic Dehydration of Apple Slices in Sugar Solutions. *Journal Of Food Science And Technology*. (7), 147-155.
- Maillard, M., & Berset, C. (1995). Evolution of Antioxidant Activity during Kilning: Role of Insoluble Bound Phenolic Acids of Barley and Malt. *ournal of Agricultural and Food Chemistry*,43, 1789-1793.
- Mainland, Ch. y Tucker, J. (2002). Blueberry health information, somenew mostly review. *Acta Horticulturae (ISHS)*, 39-43.
- Mata, M. (1992). *Aportación Al Desarrollo De Un Proceso De Deshidratación Osmótica Al Vacío Para Alimentos*. . Valencia.España: Universidad Politécnica De Valencia. (Departamento De Tecnología En Alimentos.).
- Megías P. R., Gamboa S J, Cristina S A, Villamie Mar, & Montilla A. (2013). Survey of quality indicators in comercial dehydrated fruits. *food chem*.150 (2), 41-48.
- Mejía-Meza, E., Yanez, J., Davies, N., Rasco, B., Younce, F., Remsberg, C. & Clary. (2008). Improving nutritional value of dried blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) combining microwave-vacuum, hot air drying and freeze drying technologies . *Food Eng*,4(5), Art.5.
- MINGRAGRI, DGPA-DEEIA. (2016). *El arándano en el Perú y el mundo, Producción comercio y perspectivas 2016*.

- Molano, L., Serna, C. & Castaño, C. (140-158). Deshidratación de Piña Variedad Cayena Lisa por Métodos Combinados. *Cenicafé. Vol. 47, N° 3*, 1996.
- Moreira, R., & Sereno, A. M. (2003). *Evaluation of mass transfer coefficients and volumetric shrinkage during osmotic dehydration of apple using sucrose solutions in static and non-static conditions. Journal of Food Engineering 57, 25-31.*
- Moyer, R., Hummer, K., Finn, C., & Frei, B. y. (2002). Anthocyanins, phenolics and antioxidant capacity in diverse small fruits: Vaccinium, Rubus and Ribes. *J.Agric.Food Chem (50)*, 519-525.
- Muntada, V. G. (1998). Solute infusión effects on texture of minimally processed kiwifruit. *Journal of food science. 63*, 616-620.
- Muñoz, G.L. (2015). *Efecto de la dosis de irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento sobre las características fisicoquímicas, recuento de mohos y levaduras y apariencia general en fresas (Fragaria Vesca L.) envasadas*. Trujillo, Peru.: Tesis para obtencion de titulo de ingeniera en industrias alimentarias. Universidad Privada Antenor Orrego.
- Natella, F., Belevi, F., Ramberti, A., & Scaccini, C. (2010). Microwave and traditional cooking methods: Effect of cooking on antioxidant capacity and phenolic compounds content of seven vegetables. *Journal of Food Biochemistry,34(4)*, 796-810.
- Neto, C. (2007). Cranberry and blueberry: Evidence for protective effects against cancer and vascular diseases. *Mol. Nutr. Food Res,51*, 652-664.
- Netzel, M.,Netzel, G., Tian, Q., Scharz, S., & Konczak, I. (2007). Sources of antioxidant activity in australian native fruits identification and quantification of anthocyanins. *J. Agric. Food Chem. 54*, 9820-9826.
- Omar, V. C., Claudia, L., Marina, Z., Tatiana, M. M., María, P. J., & V., C. J. (2010). *Estudios de parámetros de calidad en pasas de arándanos en un proceso de deshidratado por infrarojos. Avances Científicos-Tecnológicos.*
- Osorio, C., Franco, M., Castaño, M., González-Miret, M., & Heredia, F. y. (2007). Colour and Flavour changes during osmotic deshydration of fruits. *Innovative Food Science & Emerging Technologies,(8)*, 353-359.
- Page, G. (1999). *Factors Influencieng The Maximun Of Air Drying Shelled Corn In Thin Layer*. Indiana, Usa.: Thesis-(M.Scc.), Purdue University.

- Panagiotou, N. M., Karathanos, V. T., & Maroulis, Z. B. (1999). *Effect of osmotic agent on osmotic dehydration of fruits. Drying Technology* 17, 175-189.
- Peleg. (1998). *Peleg M. An empirical model for the description of moisture sorption curves. J. Food Sci.* 1998;53:1216–1219.
- Potter, N. (1978). *La ciencia de los alimentos (2 a ed.). México D.F: Edutex S.A.*
- Potter, N. (1999). *Ciencia De Los Alimentos.* Zaragoza, España: Editorial Acribia, S.A. 667-669p.
- 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.
- Prior, R., Lazarus, S., Cao, G., Muccitelli, H., & Hammerstone, J. (2001). Identification of procyanidins and anthocyanins in blueberries and cranberries (Vaccinum Spp.) using High Performance Liquid Chromatography / Mass Spectrometry. *J. Agric. Food. Chem.* . *J. Agric. Food. Chem*,49, 1270-1276.
- 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. (1998). Osmotic Dehydration Kinetics Of Blueberries. *Drying Technology.*, 725-741.
- Raoult-Wack, A. L. (1994). *Recent advances in the osmotic dehydration of foods. Trends in Food Science and Technology* 5, 225-260.
- Rastogi et al. (2002). Recent Developments In Osmotic Dehydration: Methods To Enhance Mass Transfer. *Trends In Food Science & Technology:* (13), 48-59. .
- Rastogi, N. K., Raghavarao, K. S., Nirajan, K., & Knorr, D. 2. (2002). *Recent development in osmotic dehydration: Methods to enhance mass transfer.Trends in Food Science & Technology* 13, 48-59.
- Robards, K., Prentzler, P., Tucker, G., & Swatsitang, P. G. (1999). Phenolic compounds and their role in oxidative processes in fruits. *Food Chem*, 401-436.



- Rodarte A, Eichholz I, Sascha R, Lothar W. Kroh, Susanne K. (2008). ). Phenolic profile and antioxidant activity of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) during fruit maturation and ripening. *Food Chemistry*,(109), 564-572.
- Rodriguez, M. I., & Lemma, A. F. (2005). *Planeamiento de experimentos e optimización de procesos*. Campinas. Brasil. Casa do Pao.
- Rosell & J , Lluch. (1994). *Evolución Del Contenido De Azúcares Durante La Deshidratación Osmótica De Manzana Granny Smith, Y Su Relación Con La Microestructura*. *Anales De Investigación Del Master En Ciencia E Ingeniería En Alimentos*. Universidad Politécnica De Valencia, Valencia, España.
- Sacchetti, G., Pinnavaia, G. G., Guidolin, E., & Dalla-Rosa, M. 2. (2004). *Effects of extrusion 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.
- Salunkhe, D., Do.J.Y, & Bolin, H. (1973). *Developments in technology and nutritive value of dehydrated fruit, vegetables and their products*.
- Salvador & Badui D. (2006). *Química De Los Alimentos*. México.: Cuarta Edición Pearson Educación.
- Salvatori, D., Andres, A., Albors, A., Chiralt, A. , Fito, P. (1997). Structural And Compositional Profiles In Osmotically Dehydrated Apple. . *Journal Of Food Science*. (63), 606-610.
- Sancho J., Bota E. & J.J de Castro. (1999). *Introduccion al analisis sensorialde los alimentos*. España: Universitat de Barcelona.
- Scibisz, I., & Mitek, M. (2007). The changes of antioxidant properties in high bush blueberries (*Vaccinium corymbosun* L.) during freezing and long-term frozen storage. *Acta Sci.Pol., Technol. Aliment*, 75-82.
- Seeram, N. A. (2008). Comparison of antioxidant potency of Commonly consumed polyphenol-rich beverages in the Unite States. *J. Agric Food Chem*.56, 1415-1422.

- Sellappan, S., Akoh, C. C., & Krewer, G. (2002). Phenolic compounds and antioxidant capacity of georgiagrown blueberries and blackberries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(8), 2432-2438.
- Sellappan, S., Akoh, C., & Krewer, G. (2002). Phenolic compounds and antioxidant capacity of Georgia-grown blueberries and blackberries. *J. Agric. Food Chem*, 50, 2432-2438.
- Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria. (2006).
- Sharma. (2003). *Ingeniería De Alimentos: Operaciones Unitarias Y Prácticas De Laboratorio*. México. : Limusa.
- Shi, J.X., M. Le Maguer, S.L. Wang Y A. Liptay. (1997). Application Of Osmotic Treatment In Tomato Processing-Effect Of Skin Treatments On Mass Transfer In Osmotic Dehydration Tomatoes. *Food Res.Int.*30(9), 669-674.
- Sierra Exportadora. (2012). *Perfil Comercial del arandano deshidrtado*.
- Sing, R & Heldman, D. (1992). *Introduction To Food Engineering*. California,USA.306p.
- Sokal, R., & Rohlf, F. (1981). *Biometría: Principios y métodos estadísticos de la investigación biológica*. Editorial Blume, Madrid, España. pp. 832.
- Stojanovic, J. y J.L. Silva. (2007). Influence of osmotic concentration, continuous high frequency ultrasound and dehydration on antioxidants, colour and chemical properties of rabbiteye blueberries. *Food Chem.*, 101(3), 898-906.
- 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.
- Tonon, R., Baroni, A. F., & Hubinger, M. D. (2007). *Osmotic dehydration of tomato in ternary solutions: Influence of process variables on mass transfer kinetics and an evaluation of the retention of carotenoids*. *Journal of Food Engineering* 82, 509-517.
- Toor, R., & Savage, G. (2005). Antioxidant activity in different fractions of tomatoes. *Food Res Int*, 38, 487-494.
- Tortoe, C.A. (2010). Review Of Osmodehydration For Food Industry. *African Journal Of Food Science*, 4(6), 303-324.

- Tournas, V., & Katsoudas, E. (2005). *Mould and yeast flora in fresh berries, grapes and citrus fruits. International Journal of Food Microbiology* 105 (1), 11-17.
- Van Dokkum, W. (1998). The relative significance of dietary fiber for human health. *Front Gastrintest Res*,14, 135.
- Vasco C, Ruales J, Kamal-Eldin A. (2008). Total phenolic compounds and antioxidant capacities of major fruits from Ecuador. *Food Chem* 111, 816-823.
- Vega G. Barbosa C, H. V. (1996). *Dehydration Of Foods*. EE.UU.: Chapman Y Hall, Primera Edición.
- Vega-Gálvez, A., Miranda, M., Bilbao-Sáinz, C., Uribe, E. and Lemus-Mondaca, R. (2008). Empirical modeling of drying process for apple (Cv. Granny Smith) slices at different air temperatures. *Journal of Food Processing and Preservation*,32, 275-283.
- Vinson, J., Zubik, L., Bose, P., Samman, N., & Proch, J. (2005). Dried Fruits: Excellent in Vitro and in Vivo Antioxidants. *Journal of the American College of Nutrition*,24(1), 44-50.
- Wang SY, Ballington JR. (1994). Free radical scavenging capacity and antioxidant enzyme activity in deerberry (*Vaccinium stamineum* l.). *Food Sci Technol Today Shanta NC, Decker EA. 1994. Rapid, sensitive, iron-based* 73:, 1352-1361.
- Wang, S., Chen, C., Sciarappa, W., Wang, C., & Camp, M. (2008). Fruit quality, antioxidant capacity, and flavonoid content of organically and conventionally grown blueberries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*,56(14), 5788-5794.

## ANEXOS

### ANEXO A: CORRIDAS EXPERIMENTALES EN EL PROCESO DE OSMODESHIDRATACIÓN

**Tabla 39:**

*Corridas experimentales para las condiciones de solución osmótica de °T= 40°C – 55, 60,65 °Brix*

Tiempo	40 °C - 55 °Brix			40°C- 60°Brix			40°C - 65 °Brix		
	°Brix	Humedad (%)	Humedad (Kg de agua/Kg m.s)	°Brix	Humedad (%)	Humedad (Kg de agua/Kg m.s)	°Brix	Humedad (%)	Humedad (Kg de agua/Kg m.s)
0	12.623	83.434	5.036	12.730	83.345	5.004	12.893	82.726	4.789
15	14.327	81.865	4.942	13.223	81.936	4.919	14.543	81.312	4.707
30	14.873	82.319	4.969	14.647	80.310	4.822	15.360	81.867	4.739
45	15.637	82.068	4.954	16.507	82.107	4.930	15.873	82.067	4.751
60	15.747	79.869	4.821	17.970	79.327	4.763	16.117	81.422	4.714
90	15.793	78.069	4.713	18.373	78.664	4.723	17.097	80.481	4.659
120	16.230	77.906	4.703	18.903	73.939	4.439	18.190	79.776	4.618
180	18.210	77.758	4.694	19.977	69.786	4.190	21.743	79.607	4.608
240	20.713	77.601	4.684	21.127	69.472	4.171	24.787	79.337	4.593
300	24.850	74.822	4.517	22.987	68.573	4.117	26.120	78.313	4.534
DIFERENCIA (FINAL -INICIAL)	12.227	-8.611	-0.519	10.257	-14.771	-0.887	13.227	-4.413	-0.255

**Tabla 40:***Corridas experimentales para las condiciones de solución osmótica de °T= 50°C – 55, 60,65 °Brix*

Tiempo	50 °C - 55 °Brix			50°C- 60°Brix			50°C - 65 °Brix		
	°Brix	Humedad (%)	Humeda d (Kg de agua/Kg m.s)	°Brix	Humedad (%)	Humeda d (Kg de agua/Kg m.s)	°Brix	Humedad (%)	Humeda d (Kg de agua/Kg m.s)
0	12.686	85.389	5.844	12.297	85.9667	6.1259	12.923	85.682	5.984
15	13.427	86.046	5.889	13.267	82.6292	5.8881	12.530	81.379	5.684
30	14.283	85.050	5.821	15.897	79.6519	5.6759	12.887	86.008	6.007
45	14.600	84.487	5.783	16.343	83.3277	5.9379	15.080	83.479	5.830
60	15.470	84.461	5.781	19.783	74.6881	5.3222	16.603	81.422	5.687
90	17.266	82.524	5.648	20.800	75.0689	5.3493	18.383	80.209	5.602
120	18.443	79.272	5.426	24.067	70.8059	5.0456	20.140	78.870	5.508
180	22.203	72.946	4.993	27.047	68.9909	4.9162	23.503	74.900	5.231
240	25.270	71.647	4.904	27.467	64.6393	4.6061	29.397	61.309	4.282
300	28.363	70.219	4.806	33.247	60.6958	4.3251	38.333	55.159	3.852
DIFERENCIA (FINAL - INICIAL)	15.677	-15.170	-1.038	20.950	-25.2709	-1.8008	25.410	-30.523	-2.132

**Tabla 41:***Corridas experimentales para las condiciones de solución osmótica de °T= 60°C – 55, 60,65 °Brix*

Tiempo	60 °C - 55 °Brix			60°C- 60°Brix			60°C - 65 °Brix		
	°Brix	Humeda d (%)	Humeda d (Kg de agua/Kg m.s)	°Brix	Humeda d (%)	Humeda d (Kg de agua/Kg m.s)	°Brix	Humeda d (%)	Humeda d (Kg de agua/Kg m.s)
0	12.677	86.391	6.348	11.073	86.685	6.5104	12.927	85.888	6.086
15	13.733	82.809	6.085	13.287	82.210	6.1743	13.740	83.288	5.902
30	14.403	84.435	6.204	14.723	85.546	6.4248	15.360	81.867	5.801
45	16.347	78.657	5.780	16.123	79.547	5.9743	15.873	82.067	5.815
60	18.127	77.264	5.678	17.120	81.051	6.0872	16.117	81.422	5.770
90	18.733	71.547	5.258	19.287	70.871	5.3226	17.097	80.481	5.703
120	19.347	68.929	5.065	22.270	78.991	5.9325	17.777	79.776	5.653
180	22.527	76.421	5.616	23.437	74.004	5.5580	20.453	80.126	5.678
240	25.073	75.182	5.525	24.257	73.294	5.5047	20.787	74.975	5.313
300	28.693	74.780	5.495	32.500	68.503	5.1448	34.737	56.758	4.022
DIFERENCIA (FINAL -INICIAL)	16.017	-11.611	-0.853	21.427	-18.182	-1.3656	21.810	-29.130	-2.064

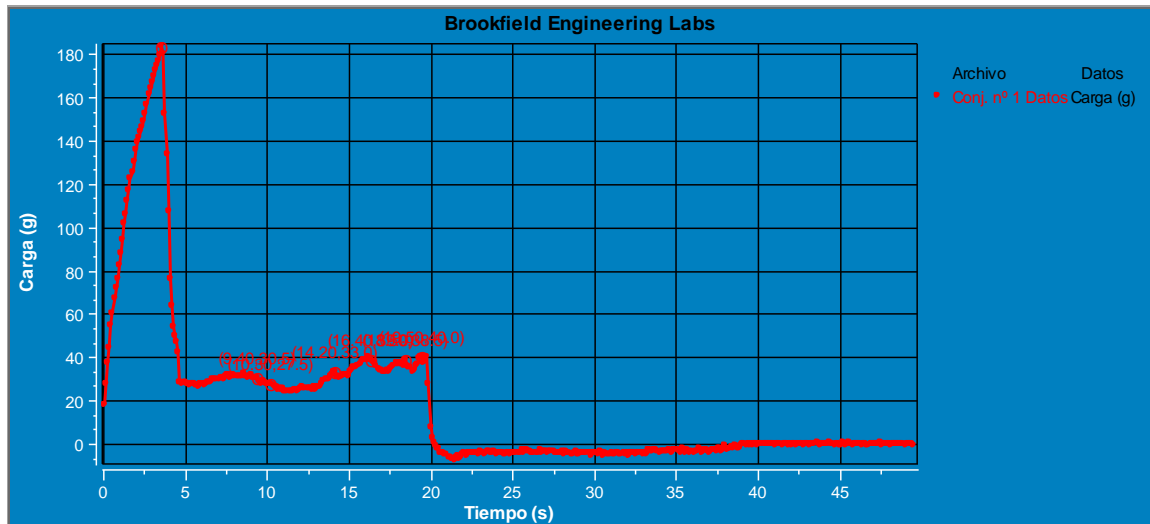
**Tabla 42:**

*Corrida experimental para las condiciones de solución osmótica de °T= 50°C -60°Brix. Con sus repeticiones correspondientes a los dos puntos centrales*

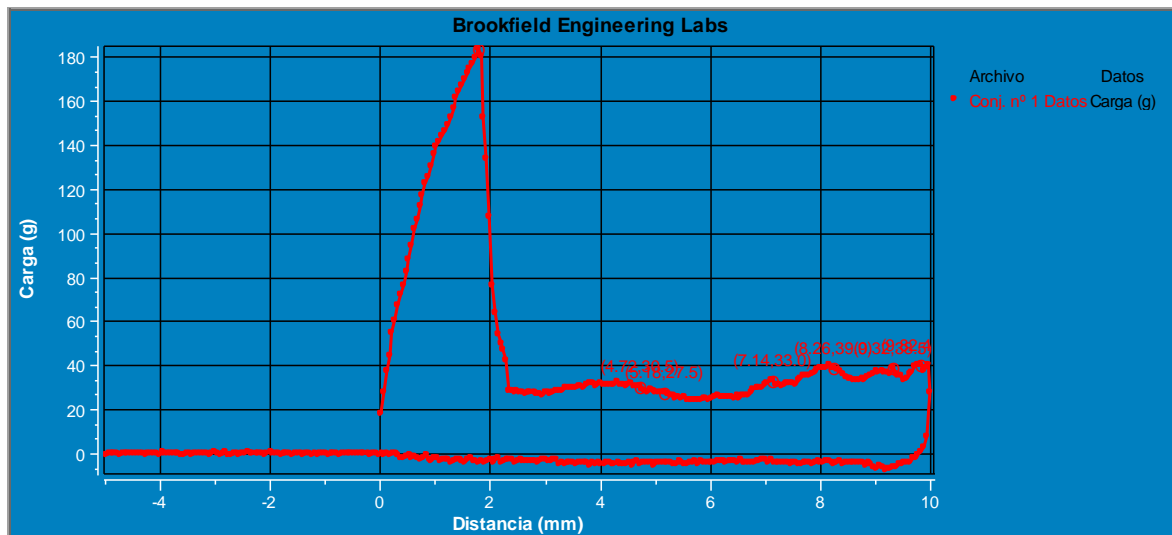
Tiempo	1era CORRIDA 50°C-60°Brix			1ERA REPETICION			2DA REPETICION		
	°Brix	Humeda d (%)	Humeda d (Kg de agua/Kg m.s)	°Brix	Humeda d (%)	Humeda d (Kg de agua/Kg m.s)	°Brix	Humeda d (%)	Humeda d (Kg de agua/Kg m.s)
0	12.297	85.967	6.126	11.730	86.487	6.400	12.160	86.186	6.239
15	13.267	82.629	5.888	13.967	84.878	6.281	13.953	84.164	6.093
30	15.897	79.652	5.676	14.867	80.108	5.928	14.920	81.931	5.931
45	16.343	83.328	5.938	16.610	81.549	6.035	16.637	82.082	5.942
60	19.783	74.688	5.322	18.307	73.175	5.415	18.310	73.255	5.303
90	20.800	75.069	5.349	21.403	74.285	5.497	21.440	73.788	5.341
120	24.067	70.806	5.046	22.327	68.231	5.049	22.360	69.950	5.064
180	27.047	68.991	4.916	25.437	66.345	4.910	25.487	67.610	4.894
240	27.467	64.639	4.606	27.177	61.453	4.548	27.030	61.074	4.421
300	33.247	60.696	4.325	33.030	58.760	4.349	33.137	59.342	4.296
DIFERENCIA (FINAL -INICIAL)	20.950	-25.271	-1.801	21.300	-27.727	-2.052	20.977	-26.844	-1.943

## ANEXO B: GRÁFICOS DEL ANÁLISIS DE TEXTURA

Carga (g) vs Tiempo (s)



Carga (g) vs Distancia (mm)





**ANEXO C: ANÁLISIS SENSORIAL REALIZADO A LAS PASAS DE ARÁNDANO**  
**ESCALA HEDÓNICA PARA MEDIR EL GRADO DE**  
**ACEPTACIÓN DE PASAS DE ARÁNDANOS**

**Nombre y apellidos:**..... **Edad:**.....

**Fecha:**..../..../.....

**Indicaciones:**

Evalúe las muestras de **PASAS DE ARÁNDANO** en sus atributos de color, olor, sabor y textura. Empiece evaluando primero el color, luego el olor, después sabor y por último textura.

**A continuación, se presenta la escala hedónica:**

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Me disgusta extremadamente	Me disgusta mucho	Me disgusta moderadamente	Me disgusta levemente	No me gusta ni me disgusta

<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
Me gusta levemente	Me gusta moderadamente	Me gusta mucho	Me gusta extremadamente

**1. Evaluación de atributos.**

Marque con un aspa donde corresponde el número.

**Muestra:** .....

<b>Atributo / Escala</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
<b>Color</b>									
<b>Sabor</b>									
<b>Textura</b>									

Muestra: .....

Atributo / Escala	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Color									
Sabor									
Textura									

## 2. Aceptabilidad general

Código / Escala	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Muestra: .....									
Muestra: .....									

Código / Escala	1	2	3	4	5
Muestra: .....					
Muestra: .....					

## 3. Intensión de compra

Con base en su opinión sobre estas muestras de PASAS DE ARÁNDANO, indique en la escala de abajo, su actitud, si Ud. encuentra estas muestras a la venta.

1	2	3	4	5
Con certeza no lo compraría	Posiblemente no lo compraría	Talvez sí /no compraría	Posiblemente lo compraría	Con certeza lo compraría

Marque con un aspa donde corresponde el número.

**Tabla 43:***Códigos para identificar las muestras en los platos descartables*

<b>OPTIMO 1</b>	<b>OPTIMO 2</b>
144	209
322	946
466	49
201	768
65	315
180	436

**Tabla 44:***Escala Hedónica para determinar la aceptabilidad de las pasas de Arándano*

<b>COLOR, SABOR, TEXTURA Y ACEPTABILIDAD GENERAL</b>	<b>PUNTAJE</b>
Me disgusta extremadamente	-4
Me disgusta mucho	-3
Me disgusta moderadamente	-2
Me disgusta levemente	-1
No me gusta ni me disgusta	0
Me gusta levemente	1
Me gusta moderadamente	2
Me gusta mucho	3
Me gusta extremadamente	4

**Tabla 45:***Escala Hedónica para determinar la intención de compra de las pasas de Arándano*

<b>INTENSIÓN DE COMPRA</b>	<b>PUNTAJE</b>
Con certeza no lo compraría	-2
Posiblemente no lo compraría	-1
Tal vez si lo compraría	0
Posiblemente lo compraría	1
Con certeza lo compraría	2

**Tabla 46:**

Resultados generales de la evaluación Sensorial realizada a las muestras óptimo 1 y óptimo 2, de pasas de Arándano.

Panelista	COLOR		SABOR		TEXTURA		Aceptabilidad General		Intensión de compra	
	Opt. 1	Opt. 2	Opt. 1	Opt. 2	Opt. 1	Opt. 2	Opt. 1	Opt. 2	Opt. 1	Opt. 2
1	2	2	2	3	1	0	1	3	0	1
2	3	3	2	3	1	3	1	3	0	1
3	0	0	3	2	1	-1	2	1	1	0
4	1	1	2	0	1	0	1	1	-1	1
5	3	2	1	1	3	2	3	2	1	0
6	1	2	3	3	3	2	2	2	2	1
7	3	-2	2	1	2	-1	3	1	1	0
8	3	3	2	3	1	2	2	3	2	1
9	3	2	3	-1	1	1	3	3	2	-2
10	3	2	2	1	2	1	2	2	2	1
11	1	2	2	3	2	2	1	3	0	2
12	-1	1	-2	3	0	2	-1	3	-1	1
13	2	2	2	3	3	1	2	2	1	1
14	4	3	2	3	4	3	2	4	2	2
15	3	3	1	2	0	2	0	2	-1	1
16	0	0	0	1	0	2	0	1	-1	0
17	4	4	1	2	2	2	2	2	0	1
18	0	1	1	2	-1	2	-1	2	-1	1
19	2	2	2	1	2	2	3	2	1	0
20	0	0	2	2	-1	1	1	2	0	1
21	3	3	2	4	2	2	2	3	1	2
22	3	3	3	2	3	2	3	2	2	1
23	0	0	2	3	1	1	1	4	1	0

24	2	2	3	4	3	3	2	3	1	2
25	3	3	2	3	1	0	1	2	0	0
26	2	2	1	2	-1	0	0	2	0	1
27	3	1	3	1	1	3	3	1	0	1
28	3	2	3	1	4	3	3	2	2	0
29	3	3	3	2	3	3	3	2	1	0
30	2	3	1	4	1	2	0	4	0	2
31	0	1	1	3	-1	3	-1	1	-2	2
32	2	1	2	4	2	1	3	2	2	1
33	-1	1	1	2	-1	-1	0	1	0	1
34	2	2	3	2	4	3	3	2	-1	1
35	0	0	-1	1	0	1	-2	1	-1	1
36	2	2	1	2	0	1	0	1	0	1
37	2	3	1	2	2	3	2	3	1	1
38	3	1	2	4	2	0	2	0	-1	1
39	1	2	0	2	2	0	0	2	0	1
40	4	3	4	3	4	3	2	3	2	1
41	3	3	1	3	2	3	2	3	0	2
42	2	2	3	2	3	2	3	2	2	1
43	3	3	2	4	1	2	1	-1	1	0
44	0	1	0	3	0	2	0	2	-1	1
45	4	3	2	2	3	4	2	2	2	0
46	1	2	1	2	1	2	2	3	1	1
47	3	3	2	4	2	3	2	4	1	2
48	-2	1	1	2	2	3	1	2	1	2
49	2	1	3	2	1	4	2	1	-1	1
50	1	2	3	3	2	3	1	2	0	1
Prome	1.86	1.84	1.76	2.32		1.78	1.44	2.10	0.48	
dio	0	0	0	0	1.520	0	0	0	0	0.900
Desv.	1.45	1.14	1.13	1.09		1.26	1.28	1.01	1.11	
Est.	7	9	5	6	1.389	6	0	5	1	0.763
Suma	93	92	88	116	76	89	72	105	24	45

## ANEXO D: ANÁLISIS DE DIFUSIVIDAD

**Tabla 47:**

*Corridas experimentales para las condiciones de solución osmótica de °T= 56°C – 55, 60,65 °Brix a una velocidad de agitación de 300 rpm*

Tiempo (min)	56°C - 65 °Brix(OPT2)			56°C - 60 °Brix			56°C - 55 °Brix		
	°Brix	Humedad (%)	Humedad (Kg de agua/Kg m.s)	°Brix	Humedad (%)	Humedad (Kg de agua/Kg m.s)	°Brix	Humedad (%)	Humedad (Kg de agua/Kg m.s)
0	129.253	858.055	60.450	115.627	863.977	63.517	126.807	841.905	53.253
15	170.614	773.708	54.508	140.881	803.758	59.090	150.055	811.933	51.357
30	197.758	785.549	55.342	158.864	812.398	59.725	160.038	821.783	51.980
45	206.805	776.111	54.677	173.676	801.253	58.906	166.625	801.409	50.692
60	230.071	741.617	52.247	176.072	785.615	57.756	176.981	791.643	50.074
90	237.826	715.017	50.373	198.920	734.467	53.996	187.807	759.380	48.033
120	248.167	695.368	48.988	206.761	726.000	53.373	205.070	730.662	46.217
180	277.895	680.523	47.943	232.195	700.254	51.481	217.633	717.650	45.394
240	301.160	624.921	44.026	246.157	668.805	49.169	242.643	674.029	42.634
300	371.361	561.185	39.535	301.863	653.800	48.066	285.613	679.895	43.005
DIFERENCIA(Final - Inicial)	242.108	-296.870	-20.914	186.237	-210.177	-15.452	158.806	-162.010	-10.248

**Tabla 48:**

*Corridas experimentales para las condiciones de solución osmótica de °T= 56°C – 55, 60,65 °Brix a una velocidad de agitación de 150 rpm*

Tiempo (min)	56°C - 65 °Brix(OPT2)			56°C - 60 °Brix			56°C - 55 °Brix		
	Grados Brix	Humedad (%)	Humedad (Kg de agua/Kg m.s)	°Brix	Humedad (%)	Humedad (Kg de agua/Kg m.s)	°Brix	Humedad (%)	Humedad (Kg de agua/Kg m.s)
0	12.798	85.376	5.838	11.875	85.763	6.024	12.662	84.731	5.549
15	14.462	81.133	5.548	12.700	82.581	5.800	13.097	83.096	5.442
30	15.614	81.312	5.560	13.619	83.224	5.845	13.447	83.418	5.463
45	16.382	80.296	5.491	14.109	82.512	5.795	14.049	82.147	5.380
60	17.278	79.024	5.404	15.057	81.211	5.704	14.712	81.681	5.350
90	18.302	77.675	5.312	15.878	80.342	5.643	15.223	80.257	5.256
120	19.070	76.275	5.216	16.534	77.881	5.470	16.378	78.700	5.154
180	20.094	75.259	5.146	17.681	76.594	5.380	17.222	77.148	5.053
240	21.629	72.800	4.978	18.592	74.485	5.232	18.516	75.165	4.923
300	25.473	70.162	4.798	21.769	73.641	5.172	20.115	75.948	4.974
DIFERENCIA (Final -Inicial)	12.674	-15.214	-1.040	9.893	-12.122	-0.851	7.453	-8.783	-0.575

**Tabla 49:**

*Corridas experimentales para las condiciones de solución osmótica de °T= 56°C – 55, 60,65 °Brix a una velocidad de agitación de 0 rpm*

Tiempo (min)	56°C - 65 °Brix(OPT2)			56°C - 60 °Brix			56°C - 55 °Brix		
	Grados Brix	Humedad (%)	Humedad (Kg de agua/Kg m.s)	°Brix	Humedad (%)	Humedad (Kg de agua/Kg m.s)	°Brix	Humedad (%)	Humedad (Kg de agua/Kg m.s)
0	12.732	85.143	5.731	12.044	85.237	5.774	12.652	85.136	5.728
15	13.623	83.619	5.628	12.388	84.326	5.712	12.847	85.119	5.727
30	14.260	83.729	5.636	12.772	84.510	5.724	13.255	84.872	5.710
45	14.514	83.168	5.598	12.976	84.028	5.692	13.273	84.498	5.685
60	14.896	82.614	5.561	13.372	83.449	5.653	13.670	84.285	5.670
90	15.660	82.018	5.520	13.835	83.114	5.630	13.922	83.459	5.615
120	16.297	81.780	5.504	14.336	82.817	5.610	14.097	82.918	5.578
180	17.188	80.886	5.444	14.836	81.975	5.553	14.684	82.658	5.561
240	18.079	80.222	5.400	15.330	81.484	5.519	15.260	82.020	5.518
300	19.859	77.800	5.237	16.175	80.476	5.451	15.974	81.905	5.510
DIFERENCIA (Final -Inicial)	7.127	-7.343	-0.494	4.131	-4.761	-0.323	3.321	-3.231	-0.217



**Tabla 50:**

*Reporte de los parámetros cinéticos del contenido normalizado de humedad (NMC) en la deshidratación del arándano, en disoluciones de sacarosa a diferentes concentraciones y velocidades de agitación*

NMC (56°C)									
t(h <sup>0.5</sup> )	0 rpm			150 rpm			300 rpm		
	55°Brix	60°Brix	65°Brix	55°Brix	60°Brix	65°Brix	55°Brix	60°Brix	65°Brix
0.00	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0.50	0.9998	0.9893	0.9821	0.9807	0.9629	0.9503	0.9644	0.9303	0.9017
0.71	0.9969	0.9915	0.9834	0.9845	0.9704	0.9524	0.9761	0.9403	0.9155
0.87	0.9925	0.9858	0.9768	0.9695	0.9621	0.9405	0.9519	0.9274	0.9045
1.00	0.9900	0.9790	0.9703	0.9640	0.9469	0.9256	0.9403	0.9093	0.8643
1.22	0.9803	0.9751	0.9633	0.9472	0.9368	0.9098	0.9020	0.8501	0.8333
1.41	0.9739	0.9716	0.9605	0.9288	0.9081	0.8934	0.8679	0.8403	0.8104
1.73	0.9709	0.9617	0.9500	0.9105	0.8931	0.8815	0.8524	0.8105	0.7931
2.00	0.9634	0.9560	0.9422	0.8871	0.8685	0.8527	0.8006	0.7741	0.7283
2.24	0.9620	0.9441	0.9138	0.8963	0.8587	0.8218	0.8076	0.7567	0.6540

**Tabla 51:**

*Reporte de los parámetros cinéticos del contenido normalizado de sólidos (NSC) en la deshidratación del arándano, en disoluciones de sacarosa a diferentes concentraciones y velocidades de agitación*

NSC (56°C)									
t(h <sup>0.5</sup> )	0 rpm			150 rpm			300 rpm		
	55°Brix	60°Brix	65°Brix	55°Brix	60°Brix	65°Brix	55°Brix	60°Brix	65°Brix
0.00	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0.50	1.0154	1.0286	1.0700	1.0344	1.0694	1.1300	1.1833	1.2184	1.3200
0.71	1.0477	1.0605	1.1200	1.0621	1.1469	1.2200	1.2621	1.3739	1.5300
0.87	1.0491	1.0774	1.1400	1.1096	1.1881	1.2800	1.3140	1.5020	1.6000
1.00	1.0805	1.1103	1.1700	1.1619	1.2680	1.3500	1.3957	1.5228	1.7800
1.22	1.1004	1.1488	1.2300	1.2023	1.3370	1.4300	1.4810	1.7204	1.8400
1.41	1.1142	1.1904	1.2800	1.2935	1.3923	1.4900	1.6172	1.7882	1.9200
1.73	1.1606	1.2319	1.3500	1.3601	1.4889	1.5700	1.7163	2.0081	2.1500
2.00	1.2061	1.2729	1.4200	1.4624	1.5656	1.6900	1.9135	2.1289	2.3300
2.24	1.2625	1.3430	1.5598	1.5886	1.8331	1.9903	2.2523	2.6107	2.8700

### ANEXO E: CUANTIFICACIÓN DE ANTOCIANINAS TOTALES

ANTOCIANINAS TOTALES PRE TRATAMIENTO								
Muestra 1			Muestra 2			Muestra 3		
	$\lambda$ (nm)	Absorbancia		$\lambda$ (nm)	Absorbancia		$\lambda$ (nm)	Absorbancia
pH 1	510	1,374	pH 1	510	1,385	pH 1	510	1,364
	710	0,041		710	0,044		710	0,048
pH 4.5	510	0,242	pH 4.5	510	0,25	pH 4.5	510	0,24
	710	0,039		710	0,05		710	0,052

ANTOCIANINAS TOTALES MATERIA PRIMA								
Muestra 1			Muestra 2			Muestra 3		
	$\lambda$ (nm)	Absorbancia		$\lambda$ (nm)	Absorbancia		$\lambda$ (nm)	Absorbancia
pH 1	510	1,35	pH 1	510	1,312	pH 1	510	1,348
	710	0,013		710	0,032		710	0,011
pH 4.5	510	0,229	pH 4.5	510	0,196	pH 4.5	510	0,166
	710	0,071		710	0,048		710	0,023

ANTOCIANINAS TOTALES DESHIDRATACION OSMOTICA								
Muestra 1			Muestra 2			Muestra 3		
	$\lambda$ (nm)	Absorbancia		$\lambda$ (nm)	Absorbancia		$\lambda$ (nm)	Absorbancia
pH 1	510	1,122	pH 1	510	1,146	pH 1	510	1,122
	710	0,024		710	0,018		710	0,022
pH 4.5	510	0,156	pH 4.5	510	0,186	pH 4.5	510	0,194
	710	0,025		710	0,043		710	0,056

ANTOCIANINAS TOTALES SECADO						
Muestra 1		Muestra 2			Muestra 3	
	$\lambda$ (nm)	Absorbancia	$\lambda$ (nm)	Absorbancia	$\lambda$ (nm)	Absorbancia
pH 1	510	1,006	pH 1	510	pH 1	510
	710	0,078		710		0,061
pH 4.5	510	0,552	pH 4.5	510	pH 4.5	510
	710	0,068		710		0,073

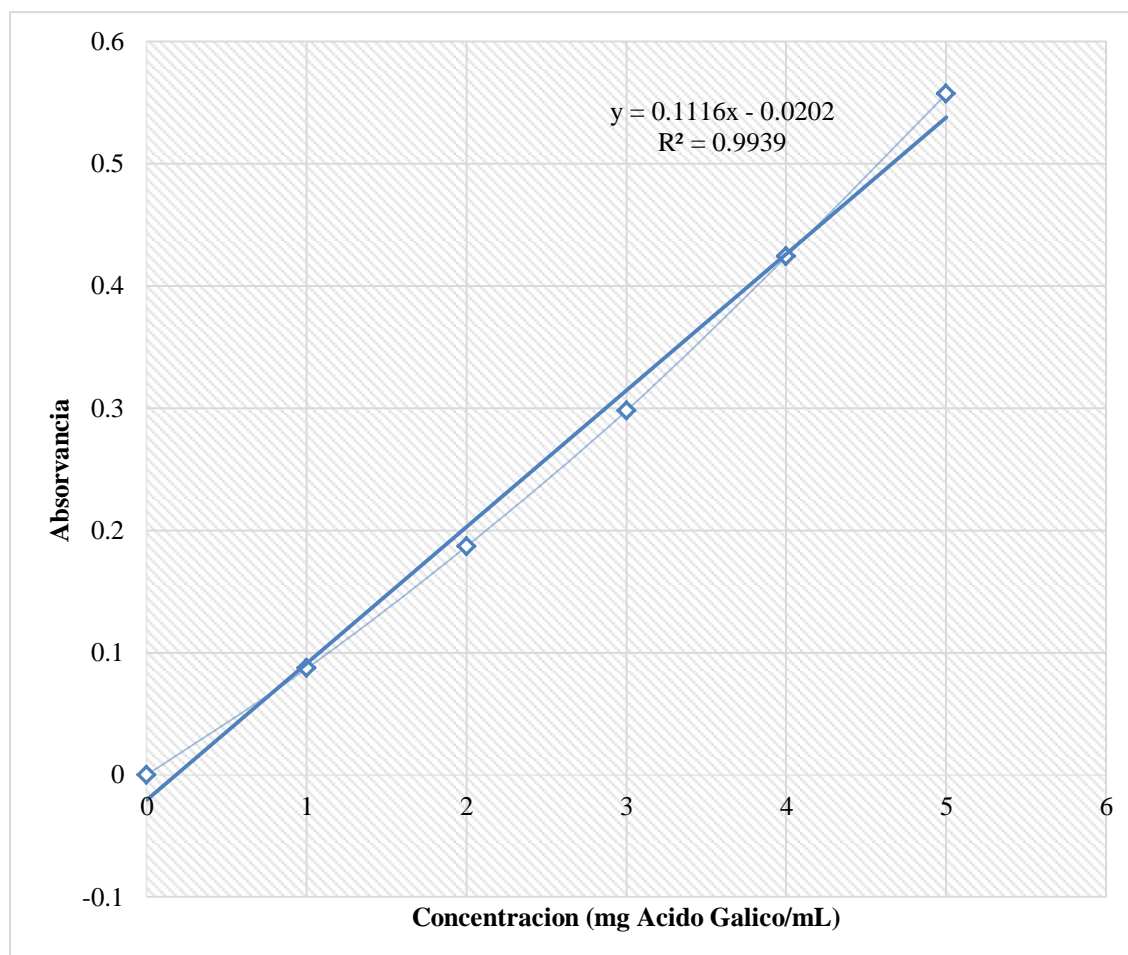
**ANEXO F: CUANTIFICACIÓN DE FENOLES TOTALES**  
**Datos para la obtención de la curva de calibración de fenoles totales.**

Nº Tubo	Solución de Ácido Gálico (mL)	Agua Destilada (mL)	Reactivo Folin (mL)	Solución Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (mL)
Blanco	0	0,5	0,25	1,25
1	0,02	0,4	0,25	1,25
2	0,04	0,4	0,25	1,25
3	0,06	0,4	0,25	1,25
4	0,08	0,4	0,25	1,25
5	0,1	0,4	0,25	1,25

### Curva de calibración del ácido gálico (para cuantificación de fenoles totales).

Tubo	Concentración (mg ácido gálico/mL)	Absorbancia
Blanco	0	0
1	1	0,087
2	2	0,187
3	3	0,298
4	4	0,424
5	5	0,557

### Curva de Calibración de fenoles totales.



**Cuantificación de fenoles totales para cada etapa del proceso de osmodeshidratación  
y secado del arándano.**

Materia Prima		
Muestra	Absorbancia	mg ácido gálico/100 g muestra
1	0,9710	888,1720
2	0,7420	682,9749
3	0,9060	829,9283
Promedio	0,8730	800,3584
Desviación estándar	0,1180	
Pre Tratamiento		
Muestra	Absorbancia	mg ácido gálico/100 g muestra
1	0,8100	743,9068
2	0,8830	809,3190
3	0,8190	751,9713
Promedio	0,8373	768,3990
Desviación estándar	0,0398	
Deshidratación Osmótica		
Muestra	Absorbancia	mg ácido gálico/100 g muestra
1	0,806	740,3226
2	0,786	722,4014
3	0,51	475,0896
Promedio	0,7007	645,9379
Desviación estándar	0,1654	
Secado		
Muestra	Absorbancia	mg ácido gálico/100 g muestra
1	0,59	546,7742
2	0,617	570,9677
3	0,506	471,5054
Promedio	0,571	529,7491
Desviación estándar	0,0579	

## **ANEXO G: CUANTIFICACIÓN DE CAPACIDAD ANTIOXIDANTE**

### **Cálculos**

Argumento del Trolox, datos estándar: absorbancia de las soluciones Trolox en 517 nm (eje Y) versus masa de Trolox en cada solución (eje X). Realizar un análisis de regresión lineal.  $R^2$  debe ser  $\geq 0,995$ . La pendiente (pendiente de Trolox) debe ser negativa y la intercepción de Y debe estar entre 0.9 – 1.0 unidades de absorbancia. La intercepción de Y de esta curva es el espacio en blanco teórico.

Blanco teórico entre 2 = absorbancia del blanco teórica para las muestras

Nota: Es preferible que al menos dos valores están por encima del objetivo de absorbancia y dos están por debajo.

Tabular los datos para cada muestra como se muestra en el ejemplo siguiente (para cada muestra, hay múltiples matraces).

Calcula X = peso corregido = muestra de peso  $\times$  factor de dilución

Calcular Y = = absorbancia neta teórica en blanco - absorbancia (517 nm)

La gráfica quedaría: absorbancia neta (eje Y) menos absorbancia (517nm) frente a peso corregido (eje X). Realizar una regresión sobre los datos. La pendiente debe ser positiva.  $R^2$  debe ser  $\geq 0.990$ . Para facilidad de los cálculos, es preferible que los datos sean lineales.

Calcular la masa target = (absorbancia de destino - Y intercepción)  $\div$  pendiente donde Y intercepción y la pendiente se obtienen de la trama de regresión de los datos.

Calcular la actividad antioxidante total, en  $\mu\text{mol TE} / 100 \text{ g}$

$$\text{Actividad antioxidante total} = \frac{(\text{Factor trolox}) * (\text{ABS objetivo})}{(\text{Masa objetiva}) * |\text{Pendiente Trolox}|}$$

Donde TE= Trolox equivalente.

$$\text{Factor Trolox} = \frac{(10^6 \mu\text{g}) * (\text{Pureza de Trolox})}{g * \text{mw de trolox}} * 100 \text{ de muestra}$$

$$= 391546 \text{mw de trolox} = 250.29 \text{ g/mol}$$

La pureza de Trolox para este estudio de colaboración fue del 98%, según lo dispuesto por el certificado de análisis del fabricante de productos químicos.

Combinando ambas ecuaciones tenemos:

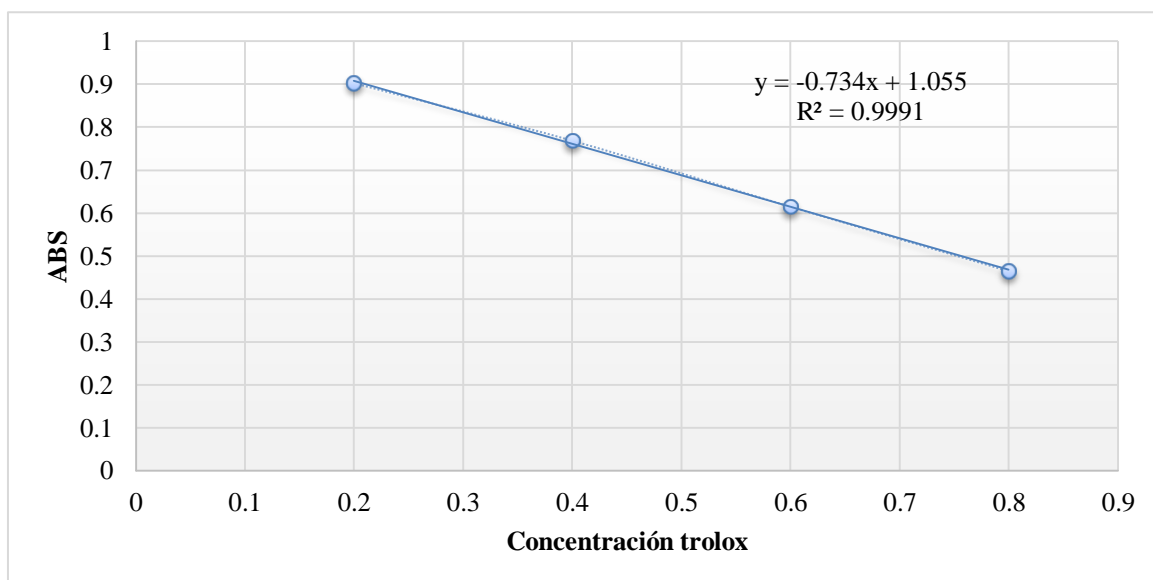
$$\text{Actividad antioxidante total} = \frac{(391.546) * (\text{ABS objetivo})}{(\text{Masa objetiva}) * |\text{Pendiente Trolox}|}$$



**Datos para la obtención de la curva de calibración de capacidad antioxidante.**

Tubo	Concentración (Trolox)	Absorbancia
1	0.2	0.903
2	0.4	0.769
3	0.6	0.615
4	0.8	0.465

**Curva de Calibración de capacidad antioxidante.**



**Valores de Absorbancia por triplicado, dadas por el equipo, para cada etapa del proceso de osmodeshidratación y secado del arándano.**

Muestras	Materia Prima	Pre tratamiento	O.D	Secado
1	0.096	0.093	0.13	0.137
2	0.083	0.078	0.132	0.136
3	0.021	0.062	0.137	0.145

**Valores de la masa objetivo o masa de Trolox, a partir de la curva de calibrado corregido, para cada etapa del proceso de osmodeshidratación y secado del arándano.**

Repeticiones	Materia Prima	Pre tratamiento	O.D	Secado
1	0.1308	0.1267	0.1771	0.1866
2	0.1131	0.1063	0.1798	0.1853
3	0.0286	0.0845	0.1866	0.1975
Promedio	0.0908	0.1058	0.1812	0.1898
desviación	0.0546	0.0211	0.0049	0.0067

**Resumen de la masa objetivo y de la cuantificación de capacidad antioxidante, a partir de la curva de calibrado corregido, para cada etapa del proceso de osmodeshidratación y secado del arándano.**

Etapa	Masa objetivo	Concentración ( $\mu\text{mol TE}/100 \text{ g de muestra}$ )
Materia Prima	0.0908	3098.1077
Pre Tratamiento	0.1058	2659.3199
Deshidratación Osmótica	0.1812	1552.9362
Secado	0.1898	1482.3482

## ANEXO H: EVALUACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE LAS PASAS DE ARÁNDANO

**Tabla 52:**

*Reporte de los valores de pH a las diferentes temperaturas establecidas*

Muestreo s	Días	pH		
		40°C	50°C	60°C
1	0	3.53	3.53	3.53
2	3	3.49	1.34	1.82
3	7	1.68	1.08	2.05
4	10	3.412	3.71	3.18
5	14	3.895	3.69	3.53
6	17	2.562	1.13	1.22

**Tabla 53:**

*Reporte completo, tanto de los días de muestreo, así como de las variables para el cálculo de % Acidez a las diferentes temperaturas establecidas*

Días	Temperatura (°C)	Muestra (g)	Gasto (mL)	Normalidad ad	mEq.	ACIDEZ (%)
Lunes 0	40	10	5.2	0.1	0.064	0.3328
	50	10	5.2	0.1	0.064	0.3328
	60	10	5.9	0.1	0.064	0.3776
Jueves 3	40	10	12.6	0.1	0.064	0.8064
	50	10	13.95	0.1	0.064	0.8928
	60	10	10.4	0.1	0.064	0.6656
Lunes 7	40	10	15.23	0.1	0.064	0.9747
	50	10	15.31	0.1	0.064	0.9798
	60	10	7.63	0.1	0.064	0.4883
Jueves 10	40	10	9.2	0.1	0.064	0.5888
	50	10	4.84	0.1	0.064	0.3098
	60	10	4.94	0.1	0.064	0.3162
Lunes 14	40	10	1.6	0.1	0.064	0.1024
	50	10	4.21	0.1	0.064	0.2694
	60	10	4.33	0.1	0.064	0.2771
Jueves 17	40	10	14.38	0.1	0.064	0.9203
	50	10	14.97	0.1	0.064	0.9581
	60	10	14.72	0.1	0.064	0.9421

**Tabla 54:***Reporte de los valores de %Acidez a las diferentes temperaturas establecidas*

Muestreo s	Días	% Acidez		
		40°C	50°C	60°C
1	0	0.3328	0.33280	0.3776
2	3	0.8064	0.89280	0.6656
3	7	0.9747	0.97984	0.48832
4	10	0.5888	0.30976	0.31616
5	14	0.1024	0.26944	0.27712
6	17	0.9203	0.95808	0.94208

**Tabla 55:***Reporte de los valores de °Brix a las diferentes temperaturas establecidas*

Muestreos	Días	°Brix		
		40°C	50°C	60°C
1	0	64.86	64.86	64.86
2	3	57.1	57.96	54.45
3	7	56.03	57.05	49.95
4	10	58.96	63.51	63.05
5	14	62.9	62.06	62.09
6	17	59.91	59.83	56.05

**Tabla 56:**

*Reporte general de los valores de Pérdida de Peso durante los días de muestreo a las diferentes temperaturas establecidas*

Temperaturas (°C)	40			50			60		
	Días	P <sub>i</sub>	P <sub>f</sub>	H%	P <sub>i</sub>	P <sub>f</sub>	H%	P <sub>i</sub>	P <sub>f</sub>
0	17.91	17.91	0.00	17.73	17.73	0.00	18.59	18.59	0.00
3	17.31	17.18	0.79	18.57	17.78	4.29	18.58	16.71	10.07
7	17.92	17.58	1.93	18.00	16.95	5.81	18.51	15.79	14.70
10	15.98	15.65	2.02	18.25	17.16	5.98	18.76	16.69	11.03
14	17.74	17.37	2.07	18.32	17.76	3.05	20.32	19.30	5.06
17	18.60	18.04	3.02	18.13	16.86	7.03	18.15	15.18	16.36

**Tabla 57:**

*Reporte general de los valores de Pérdida de Peso durante los días de muestreo a las diferentes temperaturas establecidas*

Días	Pérdida de peso (%)		
	40°C	50°C	60°C
0	0.00	0.00	0.00
3	0.79	4.29	10.07
7	1.93	5.81	14.70
10	2.02	5.98	11.03
14	2.07	3.05	5.06
17	3.02	7.03	16.36

# ANEXO I: CERTIFICADO DE ACREDITACIÓN DEL ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO



Agrícola y Ganadera Chavín de Huantar S.A.

Laboratorio Interno de Microbiología

## INFORME DE ENSAYO MICROBIOLÓGICO

Reporte N° 121115

1

### DATOS DE LA MUESTRA

- 1.1.- Muestra: Pasas de Arándanos
- 1.2.- Fecha de Análisis: 28-04-2017
- 1.3.- Punto de Muestreo: Universidad Nacional del Santa – Laboratorio de Bioprocesos.
- 1.4.- Muestreado por: Yesenia Guzmán.
- 1.4.- Objetivo: Determinación de mohos y levaduras
- 1.5.- Estándar: Norma sanitaria que establece los criterios Microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano (NTS N°071- MINS/DIGESA-V.01)

### LIMITES DE VALIDACION MICROBIOLÓGICOS

- 2.1.- Mohos: Menor de 100 ufc/g
- 2.2.- Levaduras: Máximo 1000 ufc/g

## 4.- RESULTADOS

FECHA DE MUESTREO	Muestra	Mohos	Levaduras
		Ufc/g	Ufc/g
27.04.17	Pasas de arándanos	<100	<100

### Métodos:

#### **Mohos y levaduras**

(UFC/g) AOAC® 997.02 Yeast and Molds Count in Foods, Dry Rehydratable Film, AOAC Official Methods, Microbiological Methods.

## CONCLUSIONES

Las muestras hisopadas a la indumentaria de trabajo analizados luego del lavado, desinfección y secado CUMPLE con los límites microbiológicos establecidos para la etapa en evaluación.

Las muestras de pasas de arándanos analizados Cumple con los límites microbiológicos establecidos por la Norma sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano (NTS N°071-MINSA/DIGESA-V.01)

Casma, 28 de Abril, del 2017.



Resp. Lab. Microbiología – AC

AyG chavin de Huantar S.A.

**ANEXO J: ETAPAS DE LA INVESTIGACION**

**ACONDICIONAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA**

Recepción de la materia



Clasificado



Congelado y



**PRETRATAMIENTO**

Descongelado



Pesado del NaOH



Ebullición: agua + NaOH



Arándano previo a la inmersión



Inmersión del arándano



Lavado con agua





## DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA



### Equipo deshidratador osmótico con control de temperatura



## ANÁLISIS REALIZADOS: DETERMINACIÓN DE HUMEDAD Y °BRIX

Machacado del producto deshidratado para análisis de Humedad y °Brix.



Pesado para el análisis de Humedad.



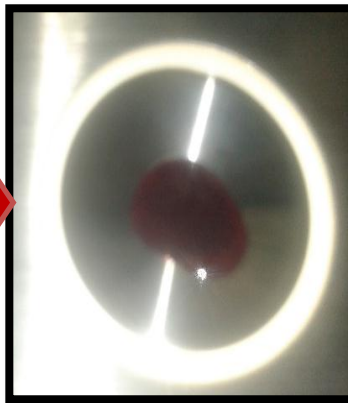
Muestra colocada en la estufa



Limpieza del lente del equipo.



Muestra colocada en el lente del refractómetro



Lectura de la muestra materia prima.

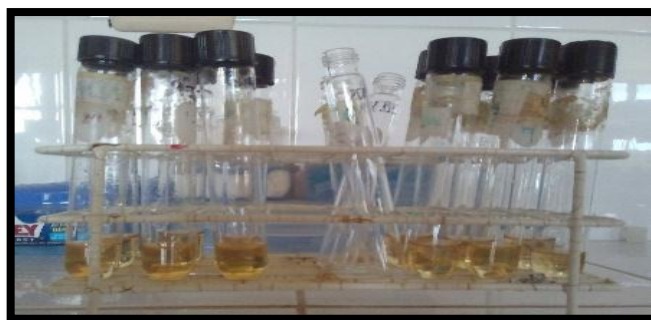
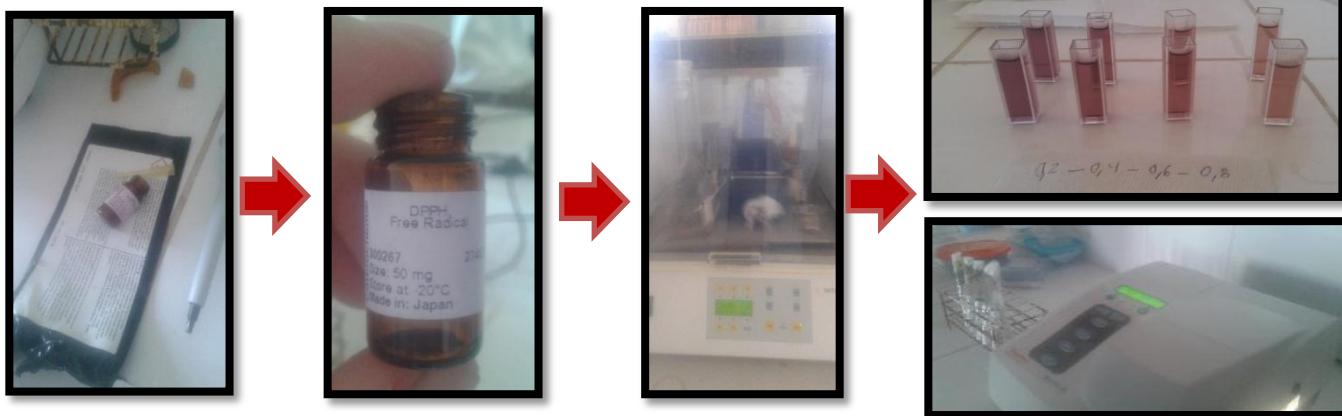
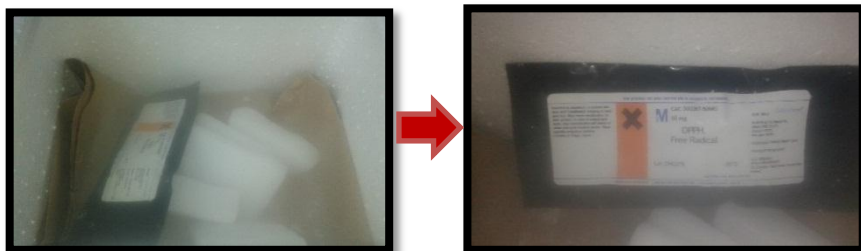


## FENOLES TOTALES Y ANTOCIANINAS TOTALES



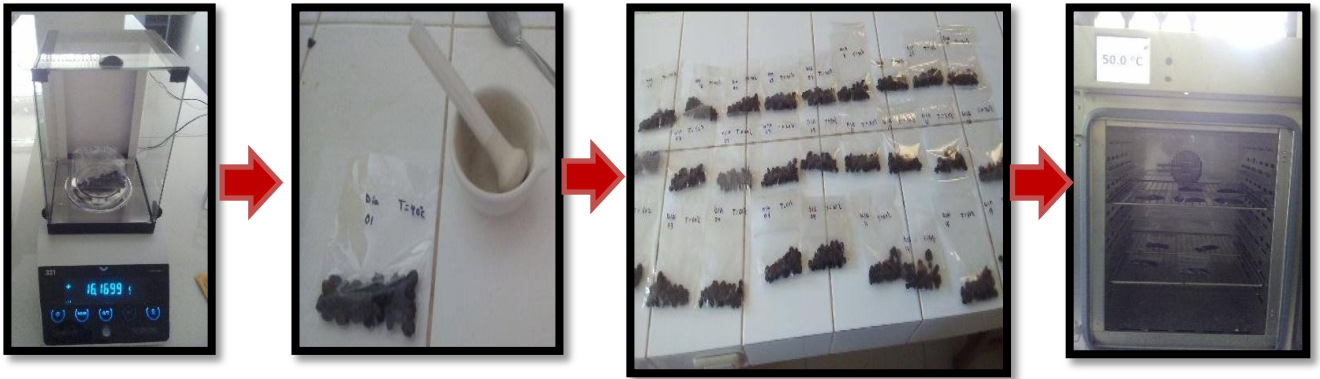
# DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD

## RECEPCIÓN DEL REACTIVO DPPH



**MUESTRAS  
REACCIONADAS**

## VIDA ÚTIL



## ANÁLISIS SENSORIAL



## EQUIPOS EMPLEADOS



**Texturometro –  
Marca Brookfield**



**Estufa Eléctrica –  
Marca P-Selecta**



**Refractómetro Digital –  
Modelo J157  
Marca Rudolph Research  
Analytical**



**Colorímetro CR-  
400**



**Mufla–  
Marca Thermo Scientific**



**pH metro  
Modelo STAR A211  
Thermo Scientific**

## Equipo Deshidratador Osmótico

