

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA

ESTUDIO DEL EFECTO DE PRE-TRATAMIENTOS EN LA DESHIDRATACIÓN DE MORTIÑO (*Vaccinium floribundum* Kunth) SOBRE LA VELOCIDAD DE SECADO Y CONTENIDO DE POLIFENOLES SOLUBLES Y ANTOCIANINAS

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA
QUÍMICA

JENNY PATRICIA ARIAS MORALES

jenny_arias.w@hotmail.es

DIRECTORA: ING. JENNY RUALES, Ph.D.

jenny.ruales@epn.edu.ec

Quito, enero del 2013

© Escuela Politécnica Nacional (2012)
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo, Jenny Patricia Arias Morales, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Jenny Patricia Arias Morales

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Jenny Patricia Arias Morales, bajo mi supervisión.

Ing. Jenny Ruales, Ph.D.
DIRECTORA DE PROYECTO

AUSPICIO

La presente investigación contó con el auspicio financiero de la Organización para la Prohibición de Armas Químicas (OPCW), que se ejecuta en el Departamento de Ciencia de Alimentos y Biotecnología (DECAB)

AGRADECIMIENTOS

Durante cada paso que he dado en mi vida especialmente en mi carrera, he recibido todo el apoyo de mis padres Alicia y Jaime. Les agradezco por su amor, por su guía, sus cuidados, su comprensión y darme ánimo en todo momento. Gracias a ti mamita, porque siempre me has enseñado con tu ternura tantas cosas y por ser mi consuelo en mis momentos tristes y disfrutar conmigo de todas mis alegrías. Especialmente gracias a Dios por ser mi refugio mi eterno amor y aliento en cada mañana.

A la Escuela Politécnica Nacional por la formación recibida, al personal docente y administrativo de la Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria.

A la Dra. Jenny Ruales, por su guía a lo largo de este proyecto, paciencia y sobre todo por su calidez humana, gracias por su amistad y confianza.

Al Ing. Pablo Pólit, por brindarme su tiempo y guiarme en este proyecto

A todos los integrantes del DECAB, por su guía y cordialidad prestada en todo momento.

A la Dra. Florinella Muñoz y a todos los miembros del Departamento de Ciencias Nucleares, especialmente a Paito estoy enormemente agradecida contigo por tu apoyo y sobre todo por tu amistad sincera. También a la Dra. Catalina Vasco por su paciencia, confianza y guía en este proyecto.

A mis amigos, Lore, Gaby, Susy, Martita, Moni y todos mis compañeros, gracias por todos los hermosos momentos vividos a lo largo de la carrera. Nunca los olvidaré.

A mis hermanos Javito y Jhon, gracias por cada unos de los instantes que hemos estado juntos, los quiero mucho.

A mi familia especialmente a mis abuelitos Ramón y Eva, por su cariño incondicional.

A mi Fercho, por tus ánimos para que pueda culminar esta etapa de mi vida, por tu preocupación, locuras, risas y sobre todo por tu amor.

DEDICATORIA

A mis padres

y

Para mis hermanos Javito y Jhon

ÍNDICE DE CONTENIDOS

		PÁGINA
	RESUMEN	xiv
	INTRODUCCIÓN	xvi
1	PARTE TEÓRICA	1
1.1	El mortiño	1
1.1.1	Clasificación taxonómica	2
1.1.2	Descripción botánica	2
1.1.3	Composición química	2
1.2	Compuestos fenólicos	4
1.2.1	Ácidos fenólicos	6
1.2.2	Flavonoides	7
1.2.2.1	Flavonoles y flavan-3-oles	9
1.2.2.2	Antocianinas	10
1.2.3	Importancia de los compuestos fenólicos en los alimentos y en la salud humana	15
1.3	Secado	17
1.3.1	Proceso de secado	18
1.3.2	Pre-tratamientos para el secado	21
1.3.2.1	Inmersión alcalina	21
1.3.2.2	Sulfuración	23
1.3.3	Sistemas de deshidratación	24
1.3.3.1	Secado solar	24
1.3.3.2	Secado con gases calientes	26
1.3.3.3	Otros métodos de deshidratación	27
2	PARTE EXPERIMENTAL	30
2.1	Materiales	30
2.1.1	Reactivos	31
2.1.2	Equipos	33
2.2	Caracterización físico-química de la materia prima y del producto terminado	33
2.2.1	Métodos de caracterización físico-química de la materia prima	34
2.2.2	Caracterización físico-química del producto terminado	39
2.2.3	Análisis sensorial	39
2.3	Efecto de la temperatura y flujo de aire en un secador de bandejas en el proceso de secado	40
2.3.1	Descripción del proceso	41
2.3.2	Diseño experimental	41

2.4	Efecto del pre-tratamiento del baño de inmersión sobre el proceso de secado	42
2.4.1	Descripción del proceso	43
2.4.2	Diseño experimental	43
2.4.3	Efecto del pre-tratamiento del baño de inmersión sobre el contenido de antocianinas en el mortiño liofilizado	45
2.5	Efecto del pre-tratamiento con dióxido de azufre sobre el proceso de secado	45
2.5.1	Descripción del proceso	45
2.5.2	Diseño experimental	46
2.6	Deshidratación de mortiño en un secador solar híbrido	47
2.7	Ensayos de estabilidad	48
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
3.1	Caracterización química de la materia prima y del producto terminado	49
3.1.1	Análisis estadístico de antocianinas en el mortiño deshidratado por liofilización, estufa y secador solar híbrido	52
3.1.2	Análisis estadístico de polifenoles solubles en el mortiño deshidratado por liofilización, estufa y secador solar híbrido	53
3.1.3	Análisis estadístico de concentración de potasio en el mortiño deshidratado por liofilización, estufa y secador solar híbrido	54
3.1.4	Análisis estadístico de vitamina c en el mortiño deshidratado por liofilización, estufa y secador solar híbrido	54
3.2	Efecto de la temperatura y flujo de aire en el secador de bandejas en el proceso de secado	56
3.2.1	Efecto de la temperatura y flujo de aire sobre el tiempo de secado	56
3.2.2	Efecto de la temperatura y flujo de aire sobre el porcentaje de retención de antocianinas en el producto deshidratado	61
3.2.3	Efecto de la temperatura y flujo de aire sobre el contenido de polifenoles solubles	64
3.3	Efecto del pre-tratamiento del baño de inmersión sobre el proceso de secado	67
3.3.1	Efecto del pre-tratamiento del baño de inmersión sobre el tiempo de secado	67
3.3.2	Efecto del pre-tratamiento del baño de inmersión sobre el porcentaje de retención de antocianinas en el producto liofilizado con el pre-tratamiento	76
3.3.3	Efecto del pre-tratamiento del baño de inmersión sobre el porcentaje de retención de antocianinas en el producto deshidratado en estufa.	80

3.3.4	Efecto del pre-tratamiento del baño de inmersión sobre el porcentaje de retención de polifenoles solubles en el producto deshidratado	81
3.4	Efecto del pre-tratamiento con dióxido de azufre sobre el proceso de secado	85
3.4.1	Efecto del pre-tratamiento de sulfuración sobre el porcentaje de retención de antocianinas	86
3.4.2	Efecto del pre-tratamiento de sulfuración sobre el porcentaje de retención de polifenoles solubles	88
3.5	Comparación entre procesos	90
3.6	Ensayos de estabilidad	93
3.6.1	Ensayos de estabilidad de polifenoles solubles	94
3.6.2	Ensayos de estabilidad de antocianinas totales	95
3.6.3	Permeabilidad del empaque al vapor de agua	97
3.6.4	Análisis de estabilidad del color	99
3.7	Análisis sensorial	99
3.7.1	Análisis estadístico de color	100
3.7.2	Análisis estadístico de sabor	100
3.7.3	Análisis estadístico de textura	101
3.7.4	Análisis estadístico de la presencia sabores extraños	102
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	104
4.1	Conclusiones	104
4.2	Recomendaciones	106
	BIBLIOGRAFÍA	107
	ANEXOS	114

ÍNDICE DE TABLAS

		PÁGINA
Tabla 1.1.	Descripción taxonómica de la planta del mortiño	2
Tabla 1.2.	Caracterización química del fruto de mortiño	3
Tabla 1.3.	Contenido de compuestos fenólicos en frutas de baya	5
Tabla 1.4.	Grupos sustituyentes en la estructura del ácido hidroxibenzoico	6
Tabla 1.5.	Grupos sustituyentes en la estructura de los ácidos hidroxicinámicos	7
Tabla 1.6.	Grupos sustituyentes en la estructura de los flavanoles	9
Tabla 1.7.	Grupos sustituyentes en la estructura de las antocianinas	10
Tabla 1.8.	Contenido de antocianinas en frutas de baya	11
Tabla 1.9.	Niveles de SO ₂ sugerido in frutas deshidratadas	23
Tabla 1.10.	Tipos de secaderos más adecuados para deshidratar alimentos y productos agrícolas	24
Tabla 2.1.	Características de cada parámetro según la escala establecida	40
Tabla 2.2.	Valores codificados para temperatura y flujo de aire	42
Tabla 2.3.	Combinaciones de temperatura y flujo de aire para cada prueba de deshidratación	42
Tabla 2.4.	Valores codificados para la concentración del baño y tiempo de inmersión	44
Tabla 2.5.	Condiciones de concentración del baño y tiempo de inmersión para cada prueba de deshidratación	44
Tabla 2.6.	Valores codificados para concentración de SO ₂ y tiempo de sulfuración de mortiño	46
Tabla 2.7.	Condiciones de concentración de SO ₂ y tiempo de sulfuración para cada prueba de dehidratación	47
Tabla 3.1.	Caracterización química de la fruta fresca	50
Tabla 3.2.	Caracterización físico- química de la fruta deshidratada	51

Tabla 3.3.	Análisis ANOVA para antocianinas y polifenoles solubles en el producto deshidratado	52
Tabla 3.4.	Análisis ANOVA para polifenoles solubles en el producto deshidratado	53
Tabla 3.5.	Análisis ANOVA para concentración de potasio en el producto deshidratado	54
Tabla 3.6.	Análisis ANOVA para concentración de vitamina C en el producto deshidratado	55
Tabla 3.7.	Valores medios y grupos homogéneos para concentración de vitamina C en el producto deshidratado	55
Tabla 3.8.	Tiempos de deshidratación de mortiño a las condiciones establecidas de temperatura y flujo de aire	57
Tabla 3.9.	Contenido de antocianinas en el producto deshidratado y porcentaje de retención en relación al liofilizado	62
Tabla 3.10.	Contenido de Polifenoles en el producto deshidratado, porcentaje de retención en relación al liofilizado y tiempo de secado	65
Tabla 3.11.	Análisis ANOVA para el porcentaje de retención de polifenoles solubles en el mortiño deshidratado en estufa	66
Tabla 3.12.	Mejores condiciones de temperatura y flujo de aire para la deshidratación de mortiño sin pre-tratamientos	66
Tabla 3.13.	Tiempo de secado del mortiño para diferentes concentraciones del baño y tiempo de inmersión	67
Tabla 3.14.	Contenido de antocianinas en el mortiño liofilizado con el pre-tratamiento de baño de inmersión	76
Tabla 3.15.	Valores codificados de las mejores condiciones de la concentración del baño y tiempo de inmersión.	79
Tabla 3.16.	Contenido de antocianinas en el mortiño deshidratado en estufa para cada concentración del baño y tiempo de inmersión en el mismo	80
Tabla 3.17.	Análisis ANOVA para el porcentaje de retención de antocianinas en el mortiño deshidratado en estufa	81
Tabla 3.18.	Contenido de polifenoles solubles en el mortiño deshidratado a las diferentes condiciones de concentración del baño y tiempo de sumersión	82

Tabla 3.19.	Valores codificados de las mejores condiciones de concentración del baño y tiempo de inmersión para la deshidratación de mortiño	85
Tabla 3.20.	Contenido y porcentaje de retención de antocianinas en el producto deshidratado con los pre-tratamientos	86
Tabla 3.21.	Contenido y porcentaje de retención de polifenoles en el producto deshidratado con los pre-tratamientos	89
Tabla 3.22.	Análisis ANOVA para el porcentaje de retención de polifenoles solubles en el mortiño deshidratado en estufa	89
Tabla 3.23.	Resultados de comparación entre los procesos de deshidratación de mortiño con y sin la aplicación de pre-tratamientos	91
Tabla 3.24.	Análisis ANOVA para concentración de polifenoles solubles en el mortiño almacenado en congelación, refrigeración y ambiente	95
Tabla 3.25.	Parámetros cinéticos de la estabilidad del mortiño deshidratado en estufa con pre-tratamientos	97
Tabla 3.26.	Parámetros cinéticos de la estabilidad del mortiño deshidratado en estufa con pre-tratamientos	99
Tabla 3.27.	Análisis ANOVA para el color del mortiño deshidratado	100
Tabla 3.28.	Análisis ANOVA para el sabor de mortiño deshidratado	100
Tabla 3.29.	Análisis de múltiple rango para el sabor de mortiño deshidratado	101
Tabla 3.30.	Análisis ANOVA para el análisis de textura en el mortiño deshidratado	102
Tabla 3.28.	Análisis ANOVA para el análisis de varianza de sabores extraños	102

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1.1. Mortiño (<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth), recinto Morocho, Reserva Ecológica Cotacachi – Cayapas, Imbabura, Ecuador	1
Figura 1.2. Contenido de polifenoles solubles en frutas ecuatorianas	4
Figura 1.3. Estructura de los ácidos hidroxibenzoicos	6
Figura 1.4. Estructura de los ácidos hidroxicinámicos	7
Figura 1.5. Estructura básica de los flavonoides	8
Figura 1.6. Perfil de compuestos fenólicos de algunos frutos de baya	8
Figura 1.7. Estructura básica de los flavonoles	9
Figura 1.8. Estructura básica de los flavanoles	9
Figura 1.9. Estructura básica de las antocianinas más comunes en la naturaleza	10
Figura 1.10. Transformación química de las antocianinas en solución acuosa	12
Figura 1.11. Disminución del porcentaje de retención de antocianinas con la temperatura en la deshidratación de uvas	13
Figura 1.12. Efecto de la temperatura de almacenamiento en la degradación de las antocianinas en el jugo de grosella negra	14
Figura 1.13. Estructura de los complejos sulfo-quinona	15
Figura 1.14. Períodos del proceso de secado	19
Figura 1.15. Curva de velocidad de secado	21
Figura 1.16. Secador solar indirecto	25
Figura 1.17. Secador solar continuo de túnel	26
Figura 1.18. Secador de bandejas	27
Figura 1.19. Etapas durante el proceso de liofilización	28
Figura 2.1. Arbusto y fruta de mortiño (<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth) recinto Morocho, Reserva Ecológica Cotacachi – Cayapas, Imbabura, Ecuador	30

Figura 2.2.	Proceso de lavado y almacenamiento de la fruta	31
Figura 2.3.	Modelo experimental 2^2 con puntos axiales	43
Figura 3.1.	Valores medios en el análisis de varianza de antocianinas L= liofilizador, E= Estufa, SS= Secador solar híbrido	53
Figura 3.2.	Curvas de deshidratación en base húmeda para las diferentes condiciones de temperatura y flujo de aire	56
Figura 3.3.	Curvas de deshidratación para las diferentes condiciones establecidas de secado en base seca.	58
Figura 3.4.	Curvas de velocidad de secado para las diferentes condiciones de secado establecidas (a) y (b)	59
Figura 3.5.	Carta de Pareto para el estudio estandarizado del tiempo de secado	60
Figura 3.6.	Principales efectos de la temperatura y flujo de aire sobre el tiempo de secado	61
Figura 3.7.	Carta de Pareto para el estudio estandarizado del porcentaje de retención de antocianinas	63
Figura 3.8.	Principales efectos de la temperatura y flujo de aire sobre el porcentaje de retención de antocianinas	64
Figura 3.9.	Curvas de deshidratación de mortiño a las diferentes condiciones de concentración de baño y tiempo de inmersión (a) y (b)	68
Figura 3.10.	Curvas de deshidratación para las diferentes condiciones establecidas de secado	69
Figura 3.11.	Curvas de deshidratación para las diferentes condiciones establecidas de secado	70
Figura 3.12.	Curvas de velocidad de secado para las diferentes condiciones experimentales establecidas (a), (b)	71
Figura 3.13.	Curvas de velocidad de secado para las diferentes condiciones experimentales establecidas (a), (b)	72
Figura 3.14.	Curvas de velocidad de secado para las diferentes condiciones experimentales establecidas	73
Figura 3.15.	Carta de Pareto para el estudio estandarizado de la concentración del baño y tiempo de inmersión sobre el tiempo de secado	74

Figura 3.16. Superficie de respuesta estimada para el estudio de la influencia de la concentración del baño y tiempo de inmersión sobre el tiempo de secado	75
Figura 3.17. Gráfico de contornos para la concentración del baño y tiempo de inmersión sobre el tiempo de secado	75
Figura 3.18. Carta de Pareto para el estudio estandarizado de la concentración del baño y tiempo de inmersión sobre el porcentaje de retención de antocianinas	77
Figura 3.19. Superficie de respuesta estimada para el estudio de la influencia de la concentración del baño y tiempo de inmersión sobre el porcentaje de retención de antocianinas	78
Figura 3.20. Gráfico de contornos para la concentración del baño y tiempo de inmersión sobre el porcentaje de retención de antocianinas en el mortño liofilizado con el pre-tratamiento	79
Figura 3.21. Carta de Pareto para el estudio estandarizado de la concentración del baño y tiempo de inmersión sobre el porcentaje de retención de polifenoles solubles	83
Figura 3.22. Superficie de respuesta estimada para el estudio de la influencia de la concentración del baño y tiempo de inmersión sobre el porcentaje de retención de polifenoles solubles	84
Figura 3.23. Gráfico de contornos para la concentración del baño y tiempo de inmersión sobre el porcentaje de retención de polifenoles solubles en el mortño deshidratado con el pre-tratamiento	84
Figura 3.24. Carta de Pareto para el estudio estandarizado de la concentración de SO ₂ y tiempo de sulfuración sobre el porcentaje de retención de antocianinas	87
Figura 3.25. Principales efectos de la concentración de SO ₂ y tiempo de sulfuración sobre el porcentaje de retención de antocianinas	88
Figura 3.26. Gráfico comparativo entre procesos de la concentración de antocianinas	92
Figura 3. 27. Gráfico comparativo entre procesos de la concentración de polifenoles solubles	92
Figura 3.28. Curvas de deshidratación de mortño en secador de bandejas con y sin pre-tratamientos	93
Figura 3.29. Cambio en la concentración de polifenoles solubles con el tiempo en el mortño deshidratado y almacenado en congelación, refrigeración y ambiente	94

- Figura 3.30.** Cambio en la concentración de antocianinas con el tiempo en el mortiño deshidratado y almacenado en congelación, refrigeración y ambiente 96
- Figura 3.31.** Humedad Vs. tiempo en el mortiño deshidratado almacenado en refrigeración 98

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO I Método para la determinación de polifenoles solubles totales eliminando vitamina C	115
ANEXO II Método para la determinación de antocianinas totales	119
ANEXO III Método para la determinación de ácidos galacturónicos (AGU)	122
ANEXO IV Ficha técnica de la funda metalizada	124
ANEXO V Cálculo del tiempo de vida útil del	127
ANEXO VI Formato para el análisis sensorial	133

ABREVIATURAS Y UNIDADES

L	Litro
mL	Mililitro
μ L	Microlitro
g	Gramo
kg	Kilogramo
mg	Miligramo
μ g	Microgramo
lb	Libra
m	Metro
nm	Nanómetro
mm	Milímetro
cm	Centímetro
t	Tiempo
min	Minuto
s	Segundo
T	Temperatura
°C	Grados centígrados
%	Porcentaje
W	Watt
ppm	Partes por millón
AOAC	Association of Official Agricultural Chemists
HPLC	Cromatografía líquida de alta resolución
UV	Ultravioleta
REDOX	reducción/oxidación
AG	Acido gálico
DE	Desviación estándar
MIA	Material insoluble en alcohol

AGU	Ácidos galacturónicos
xg	gravedades
msnm	Metros sobre el nivel del mar
PF	Peso fresco
HR	Humedad relativa
DESPT	Deshidratado en estufa sin pre-tratamientos
DECPT	Deshidratado en estufa con pre-tratamientos
DSCPT	Deshidratado en secador solar híbrido con pre-tratamientos
% X_{BH}	Porcentaje de humedad en base húmeda
% X	Porcentaje de humedad en base seca
HPLC	Cromatografía líquida de alta resolución

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue estudiar el efecto de pre-tratamientos y condiciones de proceso en la deshidratación de mortiño sobre la velocidad de secado y contenido total de polifenoles solubles y antocianinas. En primer lugar se estudió el efecto de la temperatura y flujo de aire en un secador de bandejas sobre la velocidad de secado y contenido de compuestos fenólicos, se aplicó un diseño factorial 2^2 . Seguidamente se aplicó a la fruta fresca un pre-tratamiento que consistió en un baño de inmersión en solución acuosa de oleato de etilo y carbonato de potasio. Se utilizó un diseño factorial 2^2 con puntos axiales, para evaluar su efecto sobre la velocidad de secado y contenido de compuestos fenólicos. Se realizó un segundo pre-tratamiento de sulfuración de las frutas de mortiño frescas, se aplicó un diseño factorial 2^2 para estudiar su efecto sobre el contenido de antocianinas y polifenoles solubles. Se realizaron ensayos de estabilidad del producto, para esto se empacaron y almacenaron las frutas secas en envases de película multicapa laminada y metalizada durante 2 meses en condiciones de refrigeración (4 °C), congelación (-17 °C) y 25 °C a 90 % HR. Se evaluaron los parámetros de humedad, color, polifenoles solubles, antocianinas. Se realizaron además análisis sensoriales del producto.

Se determinó que las mejores condiciones para deshidratar los frutos de mortiño son a 40 °C, flujo de aire de 0,24 m³/s, concentración del baño de inmersión de 1,55 % K₂CO₃ (P/P) – 1,25 % de oleato de etilo (V/V), concentración de SO₂ de 2 000 ppm y 2 h de sulfuración. A estas condiciones se alcanzaron los mayores porcentajes de retención de polifenoles solubles y antocianinas en la fruta deshidratada. Mediante la aplicación de las condiciones seleccionadas de temperatura, flujo de aire y pre-tratamientos, el producto se secó hasta el 5 % de humedad en una estufa en 18 h, este valor correspondió a una disminución del 40 % del tiempo necesario para deshidratar el mortiño sin pre-tratamientos. El mortiño deshidratado con pre-tratamientos retuvo el 98,2 % de antocianinas y el 99,7 % de polifenoles solubles en relación al mortiño liofilizado sin pre-tratamientos. Mientras tanto que, el mortiño

deshidratado mediante un secador solar híbrido retuvo el 88,5 % de antocianinas y el 99,7 % de polifenoles solubles. El mortiño deshidratado obtenido mediante la deshidratación en estufa y en el secador solar híbrido, presentó un color negro marrón, una textura dura, no presentó sabores extraños debido a los pre-tratamientos de baño de inmersión y sulfuración. En comparación con la fruta fresca, el producto conservó parcialmente su sabor natural a fruta. También el producto mantuvo la mayor cantidad de fibra dietética, azúcares, vitamina C, antocianinas y polifenoles solubles en relación al contenido de estos compuestos en la fruta fresca liofilizada. El producto almacenado a 18 °C en un envase de película multicapa laminada y metalizada, conserva el 50 % de antocianinas con relación a su contenido inicial en 4 meses y 11 días.

INTRODUCCIÓN

El mortiño (*Vaccinium floribundum* Kunth) es un fruto silvestre nativo de los páramos ecuatorianos. En el Ecuador no existen cultivos para ser comercializados, crece en pequeñas parcelas, donde los habitantes de las comunidades indígenas realizan la colecta manual (Popenoe et al., 1989, p. 218). El mortiño es fuente de polifenoles, antocianinas, β -Caroteno, vitamina C, minerales como potasio y zinc y fibra dietética (Vasco et al., 2009, p. 8 275). En la salud humana se ha evidenciado que el índice de enfermedades cardíacas coronarias se puede reducir mediante el consumo de frutas de baya (frescas o deshidratadas) y ciertos vegetales como por ejemplo la cebolla, la coliflor, la espinaca, etc. (Tsao y McCallum, p. 131), por ser fuente de compuestos fenólicos (Dauchet et al., 2006, p. 2588; Dillard y German, 2000, p. 1 749). También estos compuestos protegen al organismo de ciertas enfermedades degenerativas como el cáncer, el Alzheimer, diabetes (Johnson, 2005, p. 104). Por este motivo, es importante potenciar el consumo de los frutos de mortiño como un alimento funcional o como ingrediente de bebidas y alimentos. Los compuestos fenólicos presentes en ciertas frutas por ejemplo el mortiño, la mora, la frutilla, etc., tienen efecto antimicrobiano ya que inhiben el crecimiento de salmonella y estafilococos en los alimentos que se contaminan fácilmente con estas bacterias y también tienen efecto antioxidante puesto que los protegen de la oxidación de lípidos (Heinonen, 2007, p. 688).

Por otro lado, la deshidratación es una técnica de conservación de alimentos y es muy importante determinar las mejores condiciones como la concentración y tiempo de exposición de los frutos a los tratamientos aplicados antes del proceso de deshidratación, ya que los mismos permiten ahorrar significativamente la energía, tiempo de secado y también disponer de un producto que conserve la máxima cantidad de compuestos fenólicos en comparación a la fruta fresca. Al duplicar la velocidad de secado, se reduce el riesgo de destrucción de los compuestos fenólicos especialmente de las antocianinas, ya que el tiempo de exposición de las frutas al tratamiento térmico y al flujo de aire será menor. Se ha evidenciado que en el

procesamiento de frutas, la presencia de oxígeno y temperaturas altas (90 °C), acelera la destrucción de las antocianinas, mientras tanto que, si el proceso se realizara en un rango de 40 a 60 °C no se afecta significativamente la conservación de antocianinas (Macheix et al., 1990, p. 316; Pascual y Sánchez, 2008, p. 282; Routray y Orsat, 2011, p. 306).

Para incrementar la velocidad de secado aproximadamente al doble en la producción de uvas pasa, se utilizan baños fríos combinados con carbonato de potasio y ésteres, siendo el más empleado el oleato de etilo. Los ésteres de ácidos grasos cambian la estructura de la cera presente en la corteza de las frutas y reduce su tensión superficial; el carbonato de potasio, en cambio, permite la formación de una emulsión estable mediante el incremento del pH (Christensen y Peacock, 2000, p. 213). Al remover las capas externas de cera de la fruta con los pre-tratamientos, el proceso de deshidratación puede llevarse a cabo a temperaturas bajas (40 - 50 °C), lo que permite conservar los compuestos fenólicos y reducir el tiempo de secado. Mediante el pre-tratamiento de sulfuración, es posible inactivar las enzimas especialmente las peroxidasas que son las causantes de la oxidación de las antocianinas (Macheix et al., 1990, p. 1 990; Clifford, 2000, p. 1 065).

El presente trabajo tuvo como objetivo estudiar el efecto de pre-tratamientos en la deshidratación de mortiño sobre la velocidad de secado y contenido total de polifenoles solubles y antocianinas. Para lo cual, se estudió el efecto de la temperatura, el flujo de aire en el secador de bandejas y también el efecto de pre-tratamientos aplicados a los frutos frescos sobre el tiempo de secado y de la cantidad de polifenoles solubles y antocianinas. Se realizaron ensayos de estabilidad del mortiño deshidratado, almacenado a diferentes condiciones de empaque, humedad y temperatura. Se deshidrataron los frutos en un secador solar híbrido a las mejores condiciones de los pre-tratamientos. El producto deshidratado a partir del fruto de mortiño podría ser incorporado en alimentos como yogurt o en jugos, como complemento alimenticio, o también ser agregado en productos farmacéuticos (DeFelice, 1995, p. 59). En el mercado, el poder antioxidante del mortiño ha sido cotizado a precios que doblan y hasta triplican los de otras frutas como la mora (López et al., 2007, p. 276).

1. PARTE TEÓRICA

1.1 EL MORTIÑO



Figura 1. 1. Mortiño (*Vaccinium floribundum* Kunth), recinto Morocho, Reserva Ecológica Cotacachi – Cayapas, Imbabura, Ecuador

El mortiño (*Vaccinium floribundum* Kunth) es una fruta silvestre como se puede apreciar en la Figura 1.1, su arbusto crece en la Sierra Andina entre los 3 400 y 3 800 msnm. En Estados Unidos de Norte América y en otros países se lo conoce como “*Andean blueberry*” a pesar de ser muy diferente al *blueberry* originario de este país (Popenoe et al., 1989, p. 218; Sanjinés et al., 2006, p. 335). En los Andes de Colombia, Bolivia, Perú y Venezuela, la planta de mortiño es muy exuberante. Se encuentra en los páramos y en bosques húmedos montañosos y se la comercializa en los mercados (Popenoe et al., 1989, p. 218). En el Ecuador, el mortiño crece de manera silvestre en los páramos y no hay cultivos para ser comercializados, por lo que se vende en pequeños mercados ubicados en los cantones y ciudades. El fruto se consume crudo, en ensalada de frutas o se lo puede mezclar con cereales y yogurt, también se lo utiliza en repostería, elaboración de mermeladas, por su sabor ácido se emplea en la preparación de salsas para carnes y platos tipo gourmet (Sanjinés et al., 2006, p. 335). El fruto de mortiño se utiliza como ingrediente en la “colada morada” que es una bebida espesa preparada con harina de maíz morado y con otras frutas y especias, se la prepara en el Ecuador en Noviembre “El Día de los Difuntos” (Popenoe et al., 1989, p. 218; Sanjinés et al., 2006, p. 335). El mortiño se colecta dos veces al año

entre julio-agosto y octubre-noviembre debido a los requerimientos climáticos del arbusto de mortiño.

1.1.1 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

El mortiño se conoce científicamente como *Vaccinium floribundum* Kunth. Su clasificación taxonómica se describe en la Tabla 1.1.

Tabla 1. 1. Descripción taxonómica de la planta del mortiño

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Ericales
Familia	Ericaceae
Género	<i>Vaccinium</i>
Especie	<i>Floribundum</i>

Fuente: Pérez y Valdivieso, 2007, p.35

1.1.2 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

La planta de los frutos de mortiño es un arbusto pequeño y crece entre 2-3 m de altura, tiene flores rosadas y ramaje verde. Su fruto es una baya, tiene un diámetro entre 5 y 8 mm, es de color azul oscuro con una cubierta blanquecina, tiene semillas que son muy pequeñas pero numerosas (Sanjinés et al., 2006, p. 335, Popenoe et al., 1989, p. 219). Algunos frutos de mortiño son agradables y jugosos mientras que otros son apenas comestibles (Popenoe et al., 1989, p. 219).

1.1.3 COMPOSICIÓN QUÍMICA

En la Tabla 1.2 se evidencia que el mortiño es fuente de polifenoles, antocianinas, β -Caroteno, vitamina C, fibra dietética, minerales principalmente K, Ca y Mg,

(Vasco et al., 2009, p. 8 275). Se puede observar también que los frutos de mortiño tienen un alto contenido de agua al igual que otras frutas como por ejemplo las uvas que tienen 86 g de H₂O/100 g de fruta fresca (Bhat et al., 2009, p. 442) lo cual es una desventaja ya que se requieren largos tiempos para su deshidratación. Los frutos de mortiño tienen gran cantidad de fibra dietética en comparación a las uvas que tienen 0,37 g de fibra dietética/100 g de fruta fresca (Bhat et al., 2009, p. 447).

Tabla 1. 2. Caracterización química del fruto de mortiño

Parámetro	Valor
Componentes próximos	
Humedad (g/100 g PF [#])	81,0 ± 2,0
Proteínas (g/100 g PF)	0,7 ± 0,02
Cenizas (g/100 g PF)	0,4 ± 0,03
Fibra dietética total (g/100 g PF)	7,6 ± 2,2
Azúcares solubles	
Fructosa (g/100 g PF)	4,4 ± 0,4
Glucosa (g/100 g PF)	2,6 ± 0,3
Ácidos Orgánicos	
Ácido cítrico (mg/100 g PF)	3 142 ± 614
Ácido málico (mg/100 g PF)	1 823 ± 274
Minerales	
Fe (mg/100 g PF)	0,64 ± 0,2
K (mg/100 g PF)	607 ± 73
Ca (mg/100 g PF)	17,0 ± 2,3
Mg (mg/100 g PF)	10,2 ± 1,1
Cu (mg/100 g PF)	0,12 ± 0,02
Zn (mg/100 g PF)	0,13 ± 0,02
Componentes antioxidantes	
Ácido ascórbico (mg/100 g PF)	9,0 ± 2,0
β-Caroteno (μg/100 g PF)	36,0 ± 6,0
Polifenoles solubles totales (mg AG/100 g PF)	882 ± 38
TEAC (mg Trolox/100 g PF)	1 203 ± 94
Antocianinas (cianidina-3-O- glucosídica) (mg /100 g PF)	345

Fuente: Vasco et al., 2009, p. 8 275; PF[#]= Peso fresco

El Ecuador posee gran variedad de frutas, entre las que tienen alto contenido de polifenoles solubles se tienen la mora, la cáscara del capulí, el taxo y el mortiño como se puede observar en la Figura 1.2. Mientras que la guayaba, reina-claudia, chirimoya, zapote etc., se encuentran entre las frutas con un contenido intermedio de polifenoles y entre las de contenido bajo se ubican la naranjilla, uvilla, mango, etc. (Vasco et al., 2008, p. 820).

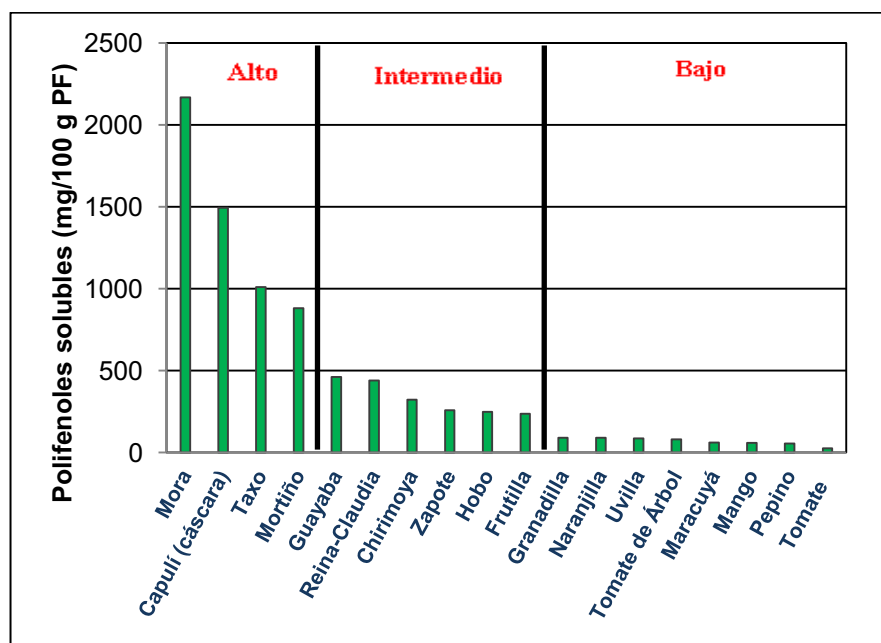


Figura 1. 2. Contenido de polifenoles solubles en frutas ecuatorianas (Vasco et al., 2008, p. 820)

Según Johnson (2005), la vitamina C, los minerales, la fibra dietética y especialmente los compuestos fenólicos como lo son las antocianinas y polifenoles, protegen al organismo de ciertas enfermedades degenerativas como el cáncer, el Alzheimer, diabetes, etc. (p. 104).

1.2 COMPUESTOS FENÓLICOS

Los compuestos fenólicos al igual que los terpenos, alcaloides y compuestos nitrogenados son metabolitos secundarios mayoritarios encontrados en las plantas y frecuentemente son abundantes en las frutas (Dillard y German, 2000, p. 1 745; Macheix et al., 1990, p. 1).

Los compuestos fenólicos son solubles en agua, etanol, acetona y en otros solventes polares, su peso molecular se extiende desde < 100 Da para compuestos simples hasta 30 000 Da para estructuras polimerizadas, poseen de 12 a 16 grupos fenólicos y de 5 a 7 anillos aromáticos (Hümmer y Schrerer, 2008, p. 1 381; Dillard y German, 2000, p. 1 745). Los compuestos fenólicos se clasifican dependiendo de la estructura básica de la aglicona y principalmente son representados por ácidos fenólicos, flavonoides y los taninos que son los responsables de la astringencia de los alimentos ricos en estos compuestos (Bravo, 1998, p. 318; Macheix et al., 1990, p. 2).

Se han logrado identificar más de 8 000 compuestos fenólicos en las plantas (Bravo, 1998, p. 317). Estos compuestos protegen a las especies de la sequía, radiación UV, infecciones y daños físicos por transportación (Szajdek y Borowska, 2009, p. 148). Las frutas de baya como por ejemplo los arándanos (mortiño), la mora, la frutilla, la frambuesa, etc., se caracterizan principalmente por el contenido de compuestos fenólicos y su concentración es alta en la epidermis, en la corteza y en el centro de estas frutas (Charanjit y Harish 2001, p. 707; Szajdek y Borowska, 2008, p. 148). En la Tabla 1.3 se presenta la cuantificación de los compuestos fenólicos en algunas de estas frutas, se incluye el mortiño que es un fruto con alto contenido de polifenoles.

Tabla 1. 3. Contenido de compuestos fenólicos en frutas de baya

Especie	Compuestos fenólicos (mg/100 g PF)
Arándano (<i>Vaccinium myrtillus</i>)	525
Zarzamora (<i>Rubus fruticosus</i>)	361-555
Mortiño (<i>Vaccinium floribundum Kunth</i>)	882
Grosella negra (<i>Rubus nigrum</i>)	318-342
Ckokeberry (<i>Aronia melanocarpa</i>)	662-690
Arándano agrio (<i>Vaccinium macrocarpon</i>)	120-315
Frambuesa (<i>Rubus idaeus</i>)	114-517
Fresa (<i>Fragaria x ananassa</i>)	102-443

Fuente: Szajdek y Borowska, 2008, p. 148, Vasco et al., 2009, p. 8 275, PF= Peso fresco

Los factores que influyen en la concentración de los compuestos fenólicos en estas frutas son: el género, las condiciones climáticas como la temperatura y la humedad de la región en la que hayan crecido, su grado de madurez, las condiciones y el tiempo de almacenamiento post-cosecha de las frutas (Szajdek y Borowska, 2008, p. 148)

1.2.1 ÁCIDOS FENÓLICOS

Los ácidos fenólicos son compuestos químicos que tienen en su estructura al menos un anillo aromático, el mismo que lleva uno o más grupos hidroxilo (Hounsoume et al., 2008, p. 54; Lacueva et al., 2010, p. 56). Se clasifican principalmente en ácidos hidroxibenzoicos y ácidos hidroxicinámicos (Macheix et al., 1990, p. 17) y su capacidad antioxidante está dada por la posición de los grupos hidroxilo y el grado de hidroxilación (Yanishlieva, 2005, p. 49). Los ácidos hidroxibenzoicos tienen el grupo carboxilo enlazado directamente al anillo aromático como se muestra en la Figura 1.3. En la Tabla 1.4 se presentan los ácidos hidroxibenzoicos más comunes encontrados en la naturaleza (Macheix et al., 1990, p. 18).

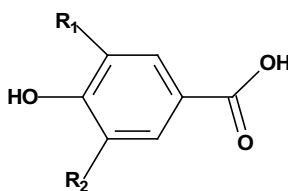


Figura 1. 3. Estructura de los ácidos hidroxibenzoicos

Tabla 1. 4. Grupos sustituyentes en la estructura del ácido hidroxibenzoico

R1	R2	Ácido hidroxibenzoico
H	H	Ácido <i>p</i> -hidroxibenzoico
OH	H	Ácido protocatéquico
OCH ₃	H	Ácido vanílico
OCH ₃	OCH ₃	Ácido siríngico
OH	OH	Ácido gálico

Fuente: Macheix et al., 1990, p. 18

Los ácidos hidroxicinámicos tienen un anillo aromático enlazado a una cadena de tres carbonos como se muestra en la Figura 1.4. En la naturaleza, comúnmente se encuentran cuatro ácidos hidroxicinámicos los cuales se indican en la Tabla 1.5 (Lacueva et al., 2010, p. 56; Macheix et al., 1990, p. 21).

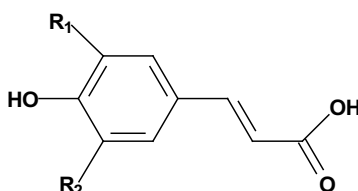


Figura 1. 4. Estructura de los ácidos hidroxicinámicos

Tabla 1. 5. Grupos sustituyentes en la estructura de los ácidos hidroxicinámicos

R1	R2	Ácido hidroxicinámico
H	H	Ácido <i>p</i> -cumárico
OH	H	Ácido caféico
OCH ₃	H	Ácido ferúlico
OCH ₃	OCH ₃	Ácido sinápico

Fuente: Macheix et al., 1990, p. 21

Los ácidos fenólicos se encuentran en los vegetales y en las hortalizas como la lechuga, cebolla, perejil, espinacas, tomates, zanahorias y en el ajo (Hounscome et al., 2008, p. 54). También se encuentran presentes en algunas frutas como en arándanos (mortiño), mora, manzanas y plátanos (Hounscome et al., 2008, p. 54; Lacueva et al., 2010, p. 72). En las plantas tienen la característica de tener efecto antimicrobiano, fungicida y antioxidante. Contribuyen al sabor amargo y astringente de las hortalizas (Hounscome et al., 2008, p. 57).

1.2.2 FLAVONOIDES

Los flavonoides son compuestos fenólicos que se caracterizan por poseer un esqueleto carbonado de la forma C₆-C₃-C₆ como se presenta en la Figura 1.5.

Tienen dos anillos aromáticos (A y B) ligados a través de tres carbonos que forman una estructura heterocíclica oxigenada (C) y generalmente se encuentran como derivados glucosídicos (glucósido) (Bravo, 1998, p. 319; Macheix et al., 1990, p. 41; Ramassamy, 2006, p. 54). En la naturaleza se encuentran tres clases principales de flavonoides que son flavonoles, flavan-3-oles y antocianinas. Existen también en menor cantidad flavonas, flavanonas, flavanonoles o dihidroflavonoles, chalconas y dihidrochalconas (Macheix et al., 1990, p. 41; Tsao y McCallum, 2010, 133).

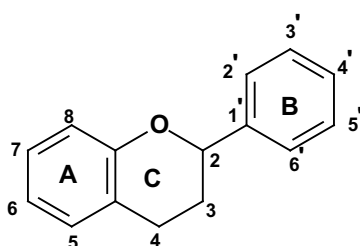


Figura 1. 5. Estructura básica de los flavonoides

Los flavonoides se encuentran en todos los tejidos de las plantas y en las frutas. Por ejemplo en ciertos arándanos, frutillas, pasas, etc. que se indican en la Figura 1.6. Se observa que las antocianinas son las que se encuentran en mayor porcentaje, mientras que la mora de los pantanos tiene alto contenido de ellagitaninos (Bravo, 1998, p. 320; Heinonen, 2007, p. 685).

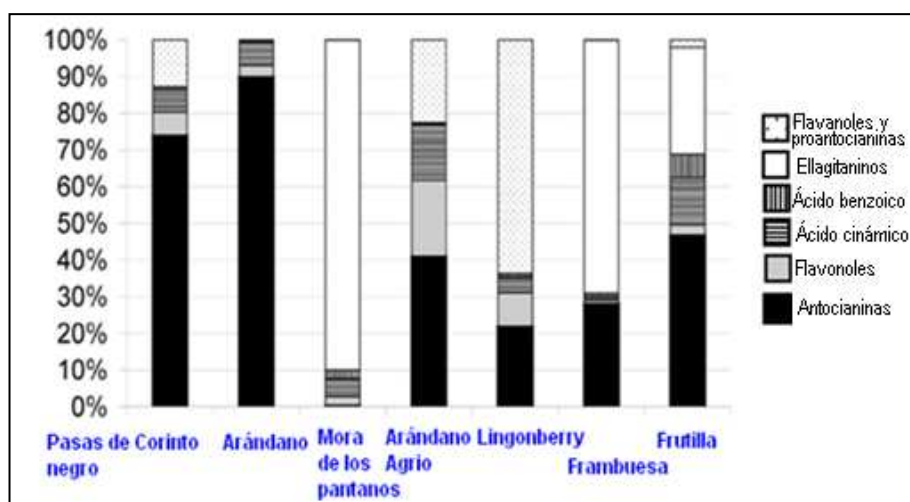


Figura 1. 6. Perfil de compuestos fenólicos de algunos frutos de baya (Heinonen, 2007, p. 685)

1.2.2.1 Flavonoles y flavan-3-oles

Los flavonoles se caracterizan porque tienen en el anillo C un doble enlace entre las posiciones 2 y 3 y un grupo hidroxilo en esta posición como se puede observar en la Figura 1.7. En la Tabla 1.6 se presentan los flavonoides más comunes en la naturaleza (Macheix et al., 1990, p. 57; Tsao y McCallum, 2010, 133). Son fuente de estos compuestos las manzanas, frutas de bayas, uvas, brócoli, el berro, etc. (Tsao y McCallum, 2010, p. 134).

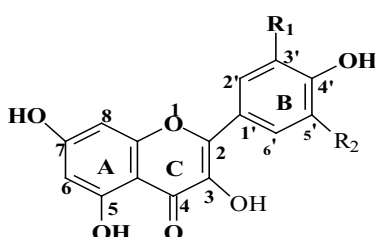


Figura 1. 7. Estructura básica de los flavonoles

Tabla 1. 6. Grupos sustituyentes en la estructura de los flavanoles

R ₁	R ₂	Flavonol Aglicona
H	H	Kaempferol
H	OH	Quercentina
OH	OH	Miricetina
OCH ₃	H	iso-Rhamnetina

Fuente: Tsao y McCallum, 2010, p. 135

Los flavanoles conocidos también como flavan-3-oles son los monómeros de las estructuras polimerizadas llamadas proantocianidinas, su estructura básica se presenta en la Figura 1.8 (Tsao y McCallum, 2010, p. 137).

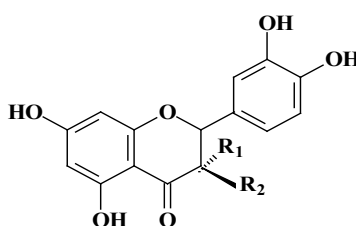


Figura 1. 8. Estructura básica de los flavanoles

Las formas más predominantes son (-)epicatequina ($R_1 = \text{OH}$ y $R_2 = \text{H}$) y (+)catequina ($R_1 = \text{H}$ y $R_2 = \text{OH}$) (Lacueva et al., 2010, p. 56). Se encuentran en manzanas, uvas, bayas y vegetales en general (Lacueva et al., 2010, p. 68).

1.2.2.2 Antocianinas

Las antocianinas son los compuestos más importantes del grupo de los flavonoides, son pigmentos naturales responsables de los colores azul, morado y rojo de ciertas frutas, flores y vegetales (Macheix et al., 1990, p. 41; Clifford, 2000, p. 1 063; Tsao y McCallum, 2010, p. 137). Las antocianinas son glucósidos de las antocianidinas como se muestra en la Figura 1.9, los azúcares que comúnmente forman parte de su estructura son la glucosa, galactosa, ramnosa y arabinosa. Según el número y posición de los grupos hidroxilo y metoxi en el anillo aromático (B), se encuentran en la naturaleza seis antocianinas más comunes que se presentan en la Tabla 1.7 (Bravo, 1998, p. 319; Clifford, 2000, p. 1 063; Wrolstad, 2004, p. 419).

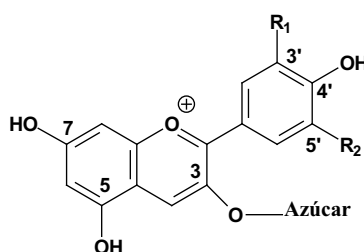


Figura 1. 9. Estructura básica de las antocianinas más comunes en la naturaleza

Tabla 1. 7. Grupos sustituyentes en la estructura de las antocianinas

R_1	R_2	Antocianinas
H	H	Pelargonidina-3-glucósido
OH	H	Cianidina-3-glucósido
OH	OH	Delfinidina-3-glucósido
OCH ₃	OH	Petunidina-3-glucósido
OCH ₃	H	Peonidina-3-glucósido
OCH ₃	OCH ₃	Malvidina-3-glucósido

Fuente: Clifford, 2000, p. 1 063

Las antocianinas también pueden acilar con diferentes ácidos orgánicos, los ácidos alifáticos más comunes que forman parte de la estructura de las antocianinas son el ácido malónico, acético, málico, succínico y el ácido oxálico (Clifford, 2000, p. 1 063). También pueden enlazarse con ácidos aromáticos como el ácido cumárico, ácido caféico, ácido sináptico, ácido felúrico y con el ácido gálico (Macheix et al., 1990, p. 49). Estos flavonoides son solubles en agua y en soluciones alcohólicas (Clifford, 2000, p. 1 063).

En los frutos de baya se encuentran gran cantidad de estos compuestos (Charanjit y Harish 2001, p. 707; Szajdek y Borowska, 2009, p. 148; Girard y Sinha, p. 383) que se distribuyen en mayor proporción en la cáscara, seguidamente en las vacuolas presentes en las células, mientras que en las paredes celulares no hay antocianinas (Szajdek y Borowska, 2009, p. 148).

En la Tabla 1.8 se presenta el contenido de antocianinas en varios frutos de baya, se evidencia que el chokeberry (*Aronia melanocarpa*) presenta un alto contenido de estos compuestos.

Tabla 1. 8. Contenido de antocianinas en frutas de baya

Especie	Antocianinas (mg/100g PF)
Arándano (<i>Vaccinium myrtillus</i>)	215 - 299
Mortiño (<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth)	345
Zarzamora (<i>Rubus fruticosus</i>)	135 - 152
Grosella negra (<i>Rubus nigrum</i>)	128 - 411
Arándano (<i>Vaccinium corymbosum</i>)	63 - 331
Ckokeberry (<i>Aronia melanocarpa</i>)	311 - 461
Arándano agrio (<i>Vaccinium macrocarpon</i>)	20 - 66
Frambuesa (<i>Rubus idaeus</i>)	19 - 65
Fresa (<i>Fragaria x ananassa</i>)	20 - 39

Fuente: Szajdek y Borowska, 2008, p. 149; Vasco et.al p. 8 277

Las antocianinas son muy sensibles a varios factores como por ejemplo al pH, temperatura, radiación UV, presencia en el medio de ácido ascórbico, dióxido de

azufre, oxígeno, iones metálicos y aditivos alimenticios (Pascual y Sánchez, 2008, p. 282).

- **Efecto del pH en la estabilidad de las antocianinas**

La estructura de las antocianinas depende del pH del medio (Figura 1.10). El catión flavilio predomina a valores de pH menores a 3, este catión es de color rojo y además es la estructura más estable de las antocianinas (Pascual y Sánchez, 2008, p. 282). A medida que disminuye la acidez de la solución (pH 4,5) estos iones cambian a base quinoidal que es de color azul o a pseudobases carbinol y chalconas que tienen otros colores como morado y amarillo (Torskangerpoll y Andersen, 2005, p. 428; Wrolstad, 2004, p. 420).

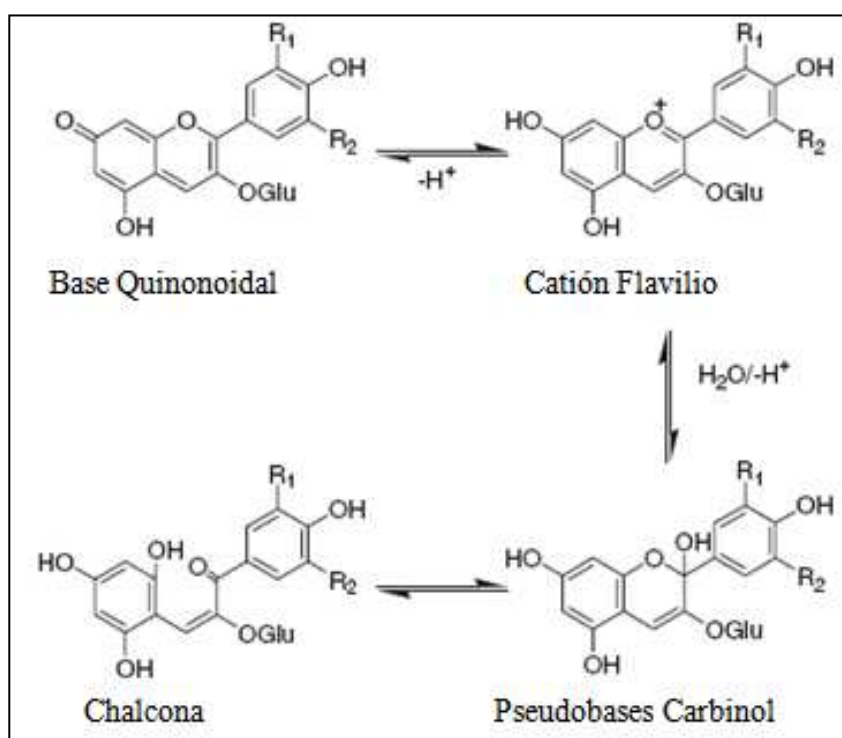


Figura 1. 10. Transformación química de las antocianinas en solución acuosa (Pascual y Sánchez, 2008, p. 282)

La capacidad antioxidante de las antocianinas se ve influenciada por el pH, de tal manera que a pH 1 tiene mayor capacidad antioxidante que a valores de pH mayores (Routray y Orsat, 2011, p. 310).

- **Efecto de la temperatura en la estabilidad de las antocianinas**

Las antocianinas se degradan logarítmicamente con la temperatura como se muestra en la Figura 1.11 (Macheix et al., 1990, p. 314) debido a que en su estructura se rompen los enlaces covalentes y las reacciones de oxidación se aceleran por efecto de la temperatura (Routray y Orsat, 2011, p. 306).

Durante el secado de frutos ocurre una degradación rápida de las antocianinas a temperaturas altas, como por ejemplo se ha evidenciado que en la producción de pasas a 95 °C solamente el 14,6 % de la concentración inicial de cianidina se retiene después de 1 hora de secado, mientras que a 55 °C se retiene el 45,6 % (Macheix et al., 1990, p. 314).

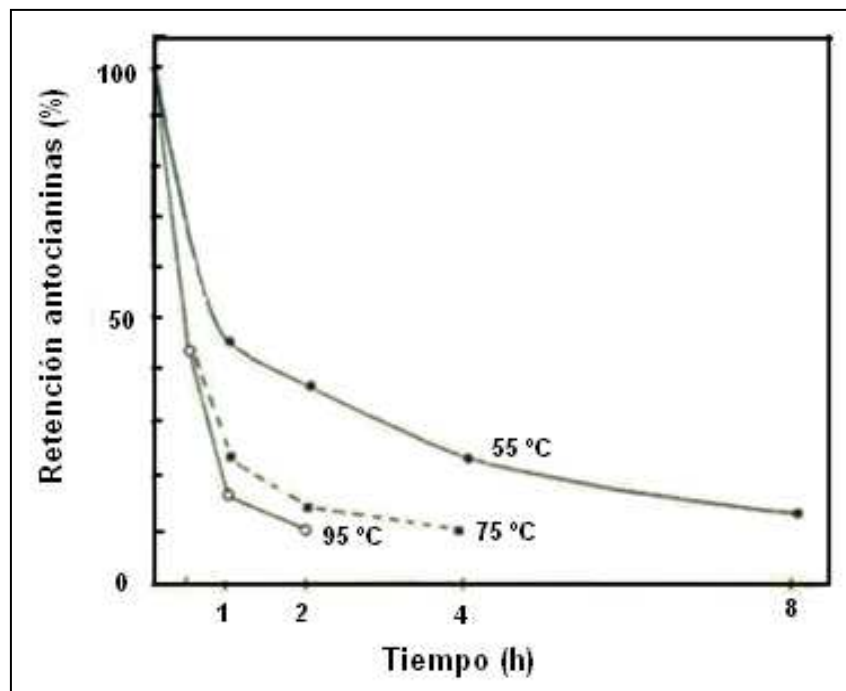


Figura 1. 11. Disminución del porcentaje de retención de antocianinas con la temperatura en la deshidratación de uvas (Macheix et al., 1990, p. 316)

En el procesamiento de arándanos, como por ejemplo en la elaboración de jugo, deshidratados, enlatados, etc., se ha observado que cuando se calientan los frutos a una temperatura de 40 a 60 °C no se afecta significativamente la conservación de antocianinas (Routray y Orsat, 2011, p. 306).

Por otro lado, las antocianinas también se destruyen durante el almacenamiento a diferentes condiciones de temperatura. Como por ejemplo como se puede observar en la Figura 1.12, en el jugo de grosella negra estos compuestos se degradan en 9 semanas de almacenamiento a 37 °C y pH 2, sin embargo el 60 % se retiene a 4 °C (Macheix et al., 1990, p. 313).

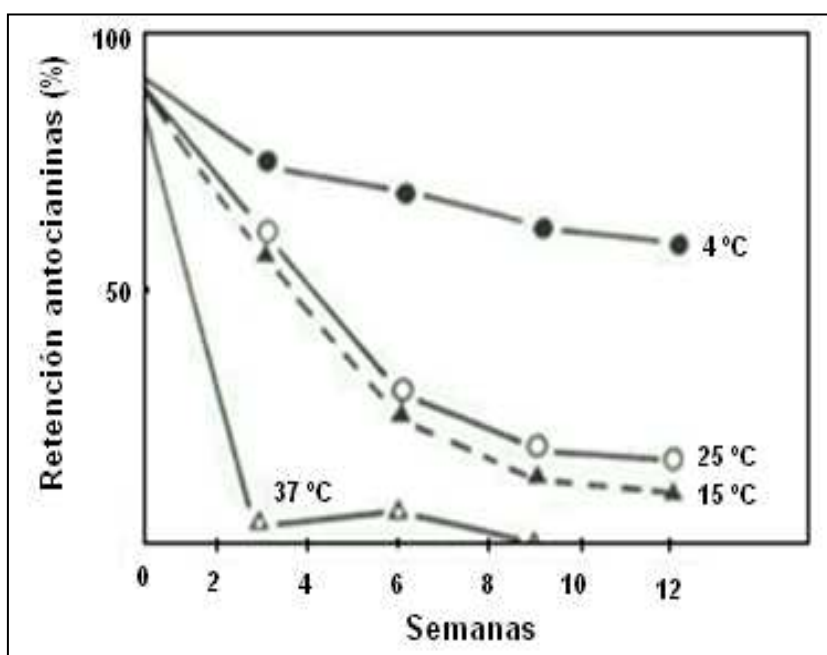


Figura 1. 12. Efecto de la temperatura de almacenamiento en la degradación de las antocianinas en el jugo de grosella negra (Macheix et al., 1990, p. 313)

- **Efecto del oxígeno y dióxido de azufre en la estabilidad de las antocianinas.**

La estabilidad de las antocianinas depende del ambiente fisicoquímico y del contenido de oxígeno del medio (Pascual y Sánchez, 2008, p. 288). En presencia de oxígeno se produce el pardeamiento enzimático por efecto de la enzima polifenol oxidasa, por lo que las antocianinas se oxidan a quinonas y a polímeros pardeados insolubles (Macheix et al., 1990, p. 310; Pascual y Sánchez, 2008, p. 288). La enzima polifenol oxidasa tiene mayor actividad en la corteza de la frutas que en la pulpa y es la causante de la oxidación de las antocianinas y de la pérdida del sabor y olor en los alimentos (Macheix et al., 1990, p. 295).

Para controlar el pardeamiento enzimático en los frutos durante el proceso de deshidratación y consecuentemente evitar la pérdida de antocianinas, es posible inactivar la enzima polifenol oxidasa a altas temperaturas en cortos tiempos (70 a 90 °C durante 1 a 15 min). También en el almacenamiento de frutas se pueden usar atmósferas modificadas, generalmente enriquecidas con CO₂ y bajas en O₂ (Macheix et al., 1990, p. 310). Para prevenir el pardeamiento enzimático se utiliza también SO₂, además de ser un agente antioxidante y antimicrobiano. La inhibición del pardeamiento por efecto de la enzima polifenol oxidasa, se da por la formación de complejos sulfo-quinonas los cuales son coloreados, su estructura se presenta en la Figura 1.13 y también por la inactivación de la enzima polifenol oxidasa (Macheix et al., 1990, p. 311; Clifford, 2000, p. 1 065).

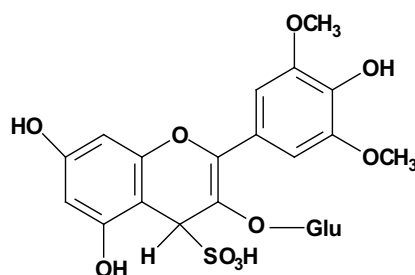


Figura 1. 13. Estructura de los complejos sulfo-quinona

1.2.3 IMPORTANCIA DE LOS COMPUESTOS FENÓLICOS EN LOS ALIMENTOS Y EN LA SALUD HUMANA.

En la actualidad existe gran interés por los frutos que contienen compuestos fenólicos, los cuales son muy utilizados en la industria de los alimentos y también se ha evidenciado que tienen gran influencia en la salud humana (Quideau et al., 2011, p. 615; Yahia, 2010, p. 3).

- **En alimentos**

Los compuestos fenólicos presentes en las frutas de baya como por ejemplo morango, mora, frutilla, etc., tienen efecto antioxidante ya que inhiben la oxidación

de lípidos y proteínas, por tal motivo se utilizan para prevenir la oxidación de alimentos (Heinonen, 2007, p. 688). También tienen efecto antimicrobiano, por lo que estas frutas se usan como preservante de alimentos que se contaminan los compuestos fenólicos inhiben el crecimiento de bacterias por la desestabilización y permeabilización de la membrana citoplasmática, inhibición de enzimas microbianas extracelulares, acción directa en el metabolismo microbiano y privación de los substratos requeridos para el crecimiento de los microorganismos (Heinonen, 2007, p. 688, Quideau et al., 2011, p. 615).

- **En la salud humana**

Una dieta abundante en frutas y vegetales contribuye a reducir el riesgo de contraer enfermedades degenerativas (Yahia, 2010, p. 3). Entre los principales componentes que tienen este efecto protector se encuentran las vitaminas (A, C, E, folato), minerales (selenio, potasio), carotenoides, compuestos fenólicos y glucosinolatos (Charanjit y Harish, 2001, p. 710; Johnson, 2005, p. 104). Existe fuerte evidencia que apoya el rol de los polifenoles en la salud humana, como por ejemplo, el índice de enfermedades cardíacas coronarias se puede reducir mediante el consumo de frutas y vegetales (Dauchet et al., 2006, p. 2 588; Dillard y German, 2000, p. 1 749). Este fenómeno se explica sobre la base de que los polifenoles especialmente los flavonoides que son antioxidantes, interrumpen la oxidación del colesterol de baja densidad (LDL). La oxidación de esta proteína se da por la presencia del oxígeno reactivo en el organismo humano (Virgili et al., 2005, p. 85). El oxígeno reactivo el cual es un radical libre, ataca a las estructuras estables como el ADN, captura electrones para ganar estabilidad, de tal manera que provoca la desestabilización y desintegración de las membranas celulares (Charanjit y Harish, 2001, p. 704).

En varios estudios *in vitro* e *in vivo* (aplicado en ratones y en ratas) se demuestra la eficacia de los productos naturales (arándanos, frutos de baya, extracto de semillas de uvas, etc.) y sus componentes fitoquímicos en la prevención de la iniciación y propagación del cáncer de colon (Rajamanickam y Agarwal, 2008,

p. 467). Los flavonoides y otros compuestos fenólicos pueden tener efecto local anticancerígeno al inducir ciertas enzimas encargadas de la metabolización de xenobióticos e inhibiendo la mitosis de células malignas (Rajamanickam y Agarwal 2008, p. 467).

Las antocianinas también tienen efecto benéfico en el control de la diabetes, interfieren en la absorción de la glucosa y protegen las células pancreáticas. En roedores se ha demostrado que tres compuestos monoglucosídicos de la cianidina, delfinidina y la pelargonidina, estimulan la secreción de insulina desde el páncreas (Pascual y Sánchez, 2008, p. 292; Yahia, 2010, p. 16).

Estos flavonoides tienen resultados positivos en problemas visuales como previene las cataratas y mejora la miopía, para controlar y prevenir procesos neurodegenerativos como el Alzheimer (Pascual y Sánchez, 2008, p. 293).

1.3 SECADO

El secado de alimentos es una de las técnicas que más ha empleado la humanidad desde la antigüedad para la conservación de un gran número de productos como lácteos, cereales, cárnicos, productos provenientes de frutas y vegetales, etc. (Casp y Abril, 2003, p. 325; Ibarz et al, 2000, p. 95; Singh y Heldman, 2001, p. 557). Se realiza con el fin de remover la humedad y prevenir el crecimiento y reproducción de microorganismos. Otra ventaja que se tiene es la reducción del peso y volumen del producto, lo que permite disminuir los costos de embalaje, almacenamiento y transporte para su comercialización (Ibarz, 2000, p. 95; Singh y Heldman, 2001, p. 557). Mediante la técnica de deshidratación es posible conservar el producto a temperatura ambiente (20 – 25 °C) (Mujumdar, 1995, p. 645).

Por otro lado, el proceso de secado presenta algunas desventajas como por ejemplo; se ven afectadas las propiedades organolépticas del alimento como el sabor, la textura, el olor y el color, de tal manera que el producto rehidratado no

tiene las mismas características organolépticas que en fresco (Mujumdar, 1995, p. 645). Por este motivo, en la deshidratación se consigue un producto el cual tiene usos diferentes que el original, como por ejemplo las frutas deshidratadas se consumen sin reconstituirlas (Casp y Abril, 2003, p. 326). El secado también tiene como desventaja el peligro de la disminución de la calidad nutricional del alimento y el consumo elevado de energía lo que depende de la técnica utilizada, las menos costosas son las que más descomponen los nutrientes presentes en el producto (Casp y Abril, 2003, p. 326). Por ejemplo, se ha evidenciado que el menor deterioro de los compuestos fenólicos en la deshidratación de arándanos, se consigue mediante la técnica de liofilización (Routray y Orsat, 2011, p. 306) y pérdidas considerables de estos compuestos se tiene en las técnicas de secado con aire caliente (Casp y Abril, 2003, p 326; Joshi et al., 2009, p. 456).

1.3.1 PROCESO DE SECADO

El secado es una operación unitaria en la que tiene lugar la transferencia simultánea de masa y energía, comprende los siguientes procesos de transporte (Ibarz et al., 2000, p. 95; Singh y Heldman, 2001, p. 557):

- *Transferencia de calor necesario para evaporar el agua contenida en un sólido:* desde el aire al sólido y a través del mismo por conducción en régimen no estacionario. Este fenómeno puede darse por convección (secado por aire caliente), conducción (secado por contacto) o radiación (por ejemplo secado al vacío como la liofilización) (Ibarz et al., 2000, p. 96).
- *Transmisión de materia a través del sólido:* el vapor de agua se transfiere ya sea por difusión debido al gradiente de concentración entre la parte interior y exterior de la fruta o por capilaridad cuando la estructura del producto presenta capilares (Casp y Abril, 2003, p. 333; Singh y Heldman, 2001, p. 557).
- *Transferencia de vapor de agua desde la superficie del sólido hacia el seno del gas* (Ibarz et al., 2000, p. 96): comúnmente se emplea como mecanismo de transferencia de calor la convección en la que el medio es el aire, por lo tanto, la difusión del agua como vapor depende de las características del aire como

temperatura, humedad, flujo, superficie del alimento y presión del sistema (Casp y Abril, 2003, p. 333).

En la Figura 1.14 se muestra la pérdida de humedad con el tiempo correspondiente al proceso de deshidratación, comúnmente se presentan tres períodos: precalentamiento, fase de velocidad de secado constante y se puede tener una o más fases de velocidad de secado decreciente (Casp y Abril, 2003, p. 334, Ibarz et al., 2000, p. 96; Singh y Heldman, 2001, p. 557).

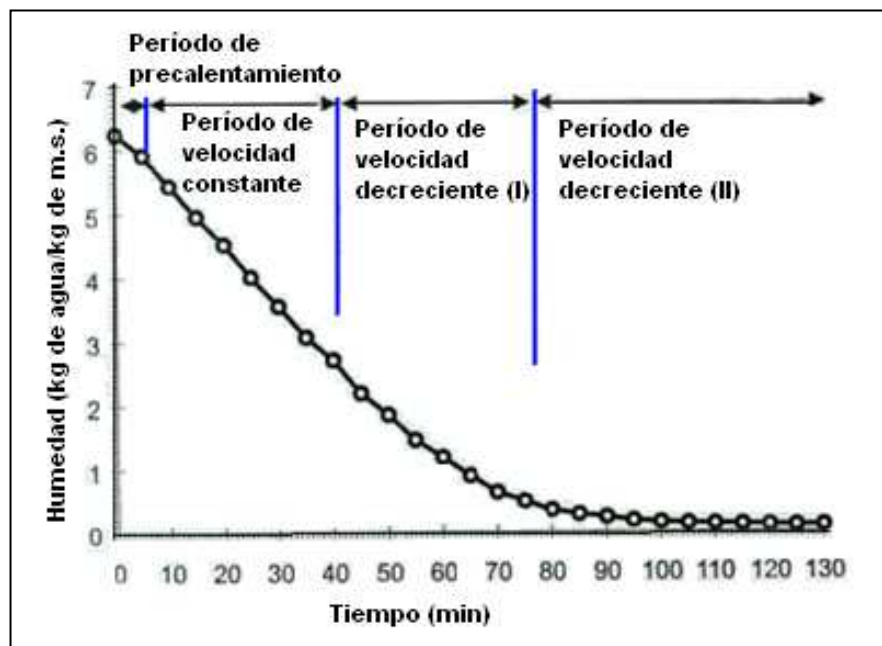


Figura 1. 14. Períodos del proceso de secado
(Casp y Abril, 2003, p. 334)

- *Período de precalentamiento:* usualmente este período es corto en relación al tiempo total de secado, debido a que el producto a secar está frío (Pinho, 2006, p. 543), en esta etapa se calienta todo el alimento hasta alcanzar la temperatura de bulbo húmedo del medio, la velocidad de transmisión de masa es muy lenta, mientras que la transferencia de calor es alta por el gradiente de temperatura entre el aire caliente y la superficie del producto (Casp y Abril, 2003, p. 334).
- *Período de velocidad constante:* a la temperatura de bulbo húmedo (constante) se evapora el agua de la superficie del producto con un flujo másico constante

(Singh y Heldman, 2001, p. 561), durante este período se reduce considerablemente el contenido de agua y continua mientras la superficie del alimento este húmeda, es decir tenga agua libre líquida que provenga del interior del mismo por capilaridad (Casp y Abril, 2003, p. 335; Ibarz et al., 2000, p. 98; Barta, 2006, p. 85). Esta fase termina cuando la humedad de producto alcanza la *humedad crítica* y se ajusta este período a una recta (Singh y Heldman, 2001, p. 561).

- *Período de velocidad decreciente*: este período comienza a partir del punto crítico correspondiente a la humedad crítica (Figura 1.15) (Casp y Abril, 2003, p. 336; Singh y Heldman, 2001, p. 561), la evaporación tiene lugar en el interior del producto a la temperatura del fluido calefactor (mayor a la temperatura de bulbo húmedo), la velocidad de secado disminuye por la reducción del área de transferencia. El factor limitante es la transferencia de masa ya que los solutos taponan los poros, por lo que predomina la difusión del vapor desde la zona de evaporación hasta la superficie del producto (Casp y Abril, 2003, p. 336; Ibarz et al., 2000, p. 99).

En la Figura 1.15 se observa el intervalo horizontal que corresponde al período de velocidad constante y los intervalos de velocidad decreciente, el punto de intersección entre los dos períodos es la humedad crítica. El tiempo total de secado es la suma del tiempo para cada período de secado (Casp y Abril, 2003, p. 338; Singh y Heldman, 2001, p. 561). La humedad crítica no es un parámetro propio del alimento, por el contrario es función de las condiciones de temperatura y flujo del aire de secado y del tamaño de partícula. El período de velocidad de secado constante y la humedad crítica se relacionan directamente con el flujo de aire y su temperatura (Casp y Abril, 2003, p. 336). Cuando el proceso de secado se da a altas temperaturas (80- 85 °C) y flujo de aire elevado, la pérdida de agua se ve afectada por el fenómeno llamado "*case hardening*" (*formación de costra*) debido a que la evaporación del agua en la superficie del alimento se da tan rápido que no hay tiempo suficiente para remover la humedad interior del mismo (Barta, 2006, p. 87; Casp y Abril, 2003, p. 336). También en la transferencia de vapor de agua desde el interior hacia el exterior del alimento se arrastran solutos

como azúcares los mismos que se depositan en la superficie y estos impiden la difusión del agua (Casp y Abril, 2003, p. 336).

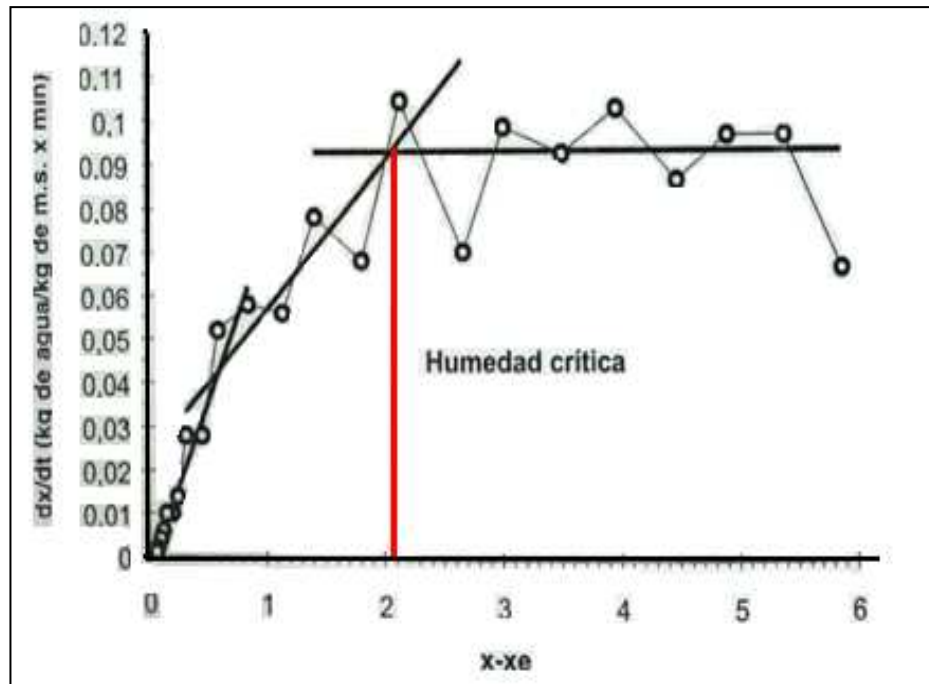


Figura 1. 15. Curva de velocidad de secado
(Casp y Abril, 2003, p. 338)

1.3.2 PRE-TRATAMIENTOS PARA EL SECADO

Especialmente las frutas y los vegetales se someten a ciertos pre-tratamientos con el objetivo de mejorar el proceso de secado y contrarrestar los cambios (organolépticos, nutricionales, etc.) que se producen como consecuencia de la deshidratación y almacenamiento (Bhat et al., 2009, p. 444, Mujumdar, 1995, p. 647). Entre esos se tienen:

1.3.2.1 Inmersión alcalina

Este pre-tratamiento consiste en la inmersión de frutas y vegetales en soluciones alcalinas, es ampliamente utilizado en la deshidratación de frutas enteras y con

cáscara, como por ejemplo en la producción de pasas. Con este pre-tratamiento la deshidratación se facilita por la formación de finas grietas en la corteza de las frutas (Mujumdar, 1995, p. 647). En las inmersiones alcalinas se emplean soluciones acuosas de hidróxido de sodio (NaOH), carbonato de potasio (K_2CO_3) en combinación con ácidos grasos o ésteres (Bhat et al., 2009, p. 444; Mujumdar, 1995, p. 647).

Se ha comprobado que para incrementar la velocidad de secado del 30 % al 50 % en la producción de uvas pasa, se utilizan baños fríos combinados de carbonato de potasio y ésteres siendo el más empleado el oleato de etilo (Christensen y Peacock, 2000, p. 213; Prothon et al, 2003, p. 24). Cuando se comenzaron a utilizar baños de inmersión como pre-tratamiento en la deshidratación de uvas, inicialmente se empleaban soluciones de inmersión de concentración 2,5 % (P/P) de K_2CO_3 y 2 % (V/V) de oleato de etilo (Bhat et al., 2009, p. 444; Christensen y Peacock, 2000, p. 213), pero actualmente por fines económicos se manejan concentraciones menores hasta del 0,6 % de K_2CO_3 y 0,5 % del éster (Christensen y Peacock, 2000, p. 213). No se conoce con exactitud el rol de los constituyentes de la emulsión, pero ambos producen una reacción que modifica la cutícula de la fruta, los ésteres de ácidos grasos cambian la estructura de la cera presente en la corteza de las frutas por la formación de estructuras hidrofílicas y reduce su tensión superficial (Bhat et al., 2009, p. 444; Christensen y Peacock, 2000, p. 213); el K_2CO_3 permite la formación de una emulsión estable mediante el incremento del pH y neutraliza los ácidos libres presentes en la corteza de la fruta formando sales de potasio (Christensen y Peacock, 2000, p. 213).

En la investigación realizada por Krajayklang, Klieber y Dry (2001, p. 207) se reportan los resultados de la deshidratación de fruta de paprika con pre-tratamientos de inmersión por 3 minutos en solución acuosa fría (10 % de una mezcla de etil y metil ésteres de ácidos grasos obtenidos del aceite de canola y 2,5 % de K_2CO_3). Las frutas enteras se deshidrataron hasta 10 % de humedad sin pre-tratamiento en 55,6 horas, mientras que con el pre-tratamiento se deshidrataron en 40,6 horas, lo que restó al proceso 15 horas de secado.

1.3.2.2 Sulfuración

La sulfuración es un pre-tratamiento usado ampliamente en la deshidratación de frutas y vegetales (Mujumdar, 1995, p. 647). El SO₂ controla el crecimiento de microorganismos y la fermentación de los azúcares, también inhibe el pardeamiento enzimático y no-enzimático, evita la pérdida de pro-vitamina A y ácido ascórbico, protege lípidos, aceites esenciales, carotenoides y evita la conversión enzimática de compuestos fenólicos durante el procesamiento y almacenamiento de frutas y vegetales (Macheix et al., 1990, p. 311; Mujumdar, 1995, p. 647).

A escala industrial se inyecta el SO₂ en tanques presurizados en una relación de 2 268 a 3 628 ppm (mg de SO₂/ kg de fruta), durante 5 a 8 horas. Para producir SO₂ se puede quemar azufre en presencia de oxígeno y a condiciones ambientales de presión y temperatura (Mujumdar, 1995, p. 647). Algunos mercados europeos y especialmente Japón aceptan frutas deshidratadas hasta con 2 000 ppm de SO₂. (Christensen y Peacock, 2000, p. 214). En la Tabla 1.9 se presentan los niveles recomendados de dióxido de azufre en frutas deshidratadas.

Tabla 1. 9. Niveles de SO₂ sugerido in frutas deshidratadas

Fruta	SO ₂ (ppm)
Manzanas	1 000 – 2 000
Albaricoques	2 000 – 4 000
Melocotones	2 000 – 4 000
Peras	1 000 – 2 000
Pasas	1 000 – 1 500

Fuente: Mujumdar, 1995, p. 647

En el secado de uvas se utiliza la sulfuración después del pre-tratamiento de inmersión en soluciones alcalinas (Mujumdar, 1995, p. 647). Existen otros pre-tratamientos a la deshidratación como el blanqueo (blanching) que consiste en cocer parcialmente las frutas o vegetales con agua caliente o vapor con el fin de inactivar las enzimas causantes del pardeamiento (Casp y Abril, 2003, p. 339).

1.3.3 SISTEMAS DE DESHIDRATACIÓN

Dependiendo de los requerimientos de cada producto se usan diferentes clases de equipos y técnicas que se sugieren en la Tabla 1.10:

Tabla 1. 10. Tipos de secaderos más adecuados para deshidratar alimentos y productos agrícolas

Producto	Tipo de secadero
Hortalizas, frutas, confitería	Bandejas , túnel y solar
Forrajes, granos, hortalizas, frutas, nueces, cereales de desayuno	Cinta y solar
Forrajes, granos, manzanas, lactosa, almidón	Rotativos
Café, leche, té, puré de frutas	Atomización
Leche, almidón, alimentos infantiles precocidos, sopas, productos de cervecería y destilería	Tambor
Café, esencias, extractos de carne, frutas, hortalizas	Liofilización
Manzanas y algunas hortalizas	Horno

Fuente: Casp y Abril, 2003, p. 349

1.3.3.1 Secado solar

Este tipo de secador se diferencia del secado al sol porque no se deshidrata el producto directamente al sol, por lo que no se presentan problemas climáticos como la lluvia, problemas ambientales por la contaminación del producto con el polvo presente en el aire, insectos y pájaros. Por otro lado, el secado al sol tiene como desventaja los largos tiempos de secado (Mujumdar, 1995, p. 650; Casp y Abril, 2003, p. 350).

Existen secaderos solares naturales y artificiales y se diferencian por la forma como que se utiliza el calor proveniente de la radiación solar para calentar el aire (Casp y Abril, 2003, p. 350).

El secado solar es ampliamente utilizado en la deshidratación indirecta de granos, frutas como uvas, ciruelas e higos, también alfalfa (Mujumdar, 1995, p. 650; Casp y Abril, 2003, p. 350).

- **Secaderos solares naturales**

Los secaderos solares naturales se clasifican en indirectos y directos. En los secaderos naturales indirectos el aire se calienta en un colector solar y el aire caliente se dirige a la cámara de secado para la deshidratación, como se muestra en la Figura 1.16 (Casp y Abril, 2003, p. 351).

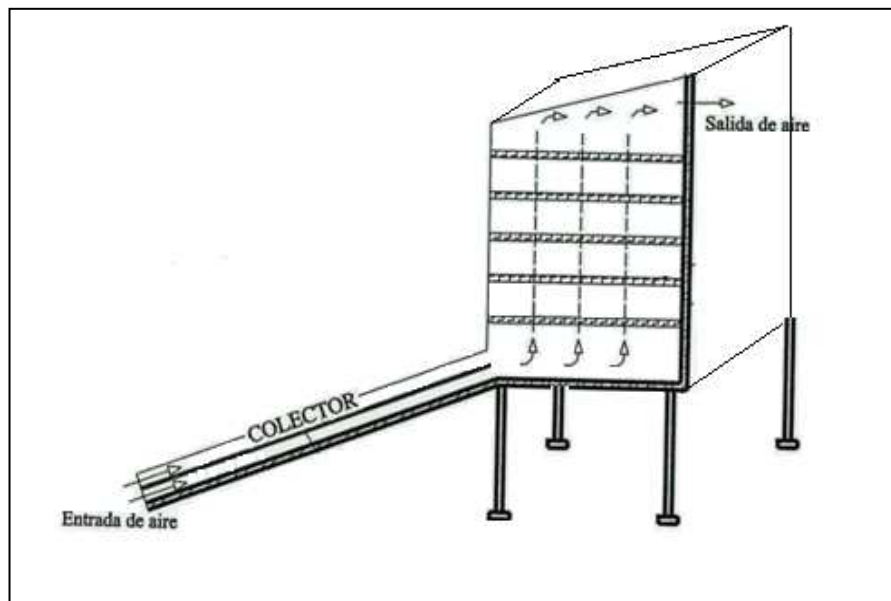


Figura 1. 16. Secador solar indirecto
(Casp y Abril, 2003, p. 352)

En los secaderos solares directos, el material a secarse se coloca en capas finas sobre una superficie perforada, cubierto por un material transparente y se exponen directamente a la radiación solar.

- **Secaderos solares semiartificiales**

En este tipo de secadores, el aire necesario proviene de un ventilador, uno de los más utilizados es el secadero solar de túnel (Figura 1.17), el mismo que tiene un colector solar para el precalentamiento del aire, un túnel que es el espacio de secado. El material a deshidratarse se extiende sobre el fondo y recibe directamente la radiación del sol (Casp y Abril, 2003, p. 352).

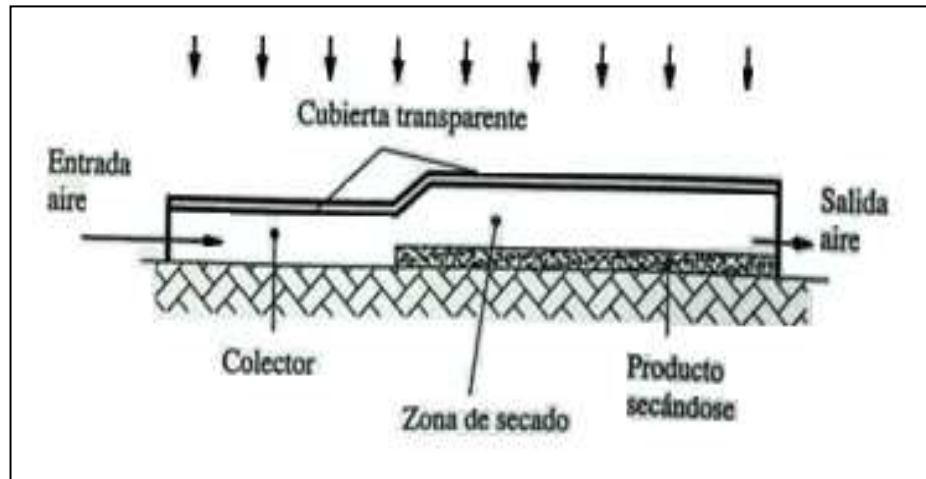


Figura 1. 17. Secador solar continuo de túnel
(Casp y Abril, 2003, p. 352)

1.3.3.2 Secado con gases calientes

El secado con gases calientes (aire calentado por medio de vapor de agua, gases de combustión o vapor recalentado) es la técnica más simple y económica. La operación de estos secaderos pueden ser en batch o en continuo, en batch se emplea para bajas capacidades de producción o cuando se requiere manipulación especial en los productos (Casp y Abril, 2003, p. 354). Constan de un recinto donde se realiza el proceso de secado, sistema de calefacción y sistema de impulsión de aire (Casp y Abril, 2003, p. 354; Singh y Heldman, 2001, p. 564).

Por ejemplo los secaderos de bandejas están formados por una cámara de metal rectangular según se muestra en la Figura 1.18, en cuyo interior tiene bandejas que no son muy profundas y pueden ser o no perforadas pero las últimas permiten que aumente la eficiencia del proceso (Casp y Abril, 2003, p. 356; Mujumdar, 1995, p. 700). En la parte superior se dispone del ventilador, el calentador está constituido por un haz de tubos por cuyo interior circula generalmente vapor de agua o gases de combustión, un conducto de salida para la evacuación del aire húmedo y una abertura para la entrada del aire fresco (Casp y Abril, 2003, p. 356). El calor del medio se transmite al producto por convección en la superficie del mismo (Ibarz et al., 2000, p. 96; Singh y Heldman, 2001, p. 564).

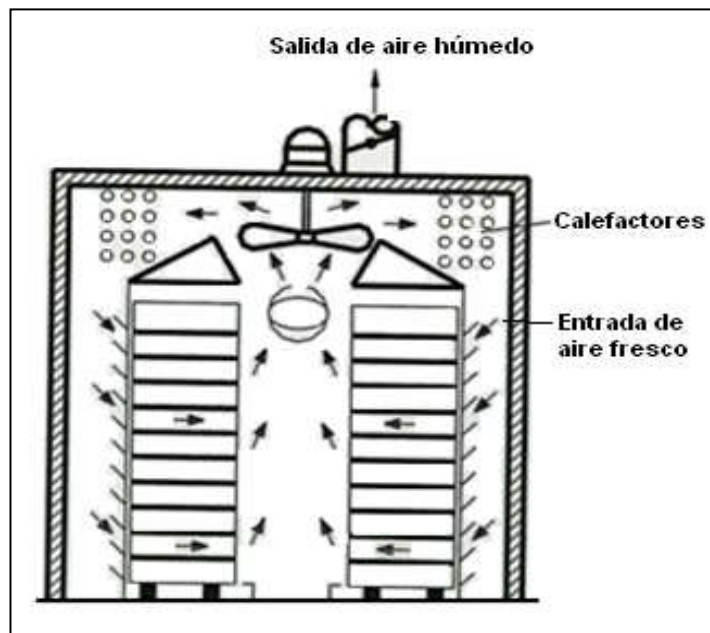


Figura 1. 18. Secador de bandejas
(Casp y Abril, 2003, p. 356)

Los secadores de bandejas son ampliamente utilizados a nivel de laboratorio, a pequeña escala y en plantas piloto, debido a la posibilidad de controlar las condiciones de secado como lo son la temperatura (60-70 °C) y velocidad de aire (2 a 8 m/s) (Casp y Abril, 2003, p. 356; Barta, 2006, p. 87). Son muy útiles para deshidratar productos como espinacas, ajo, cebollas, frutas, carne, etc. cuyos componentes bioactivos no son sensibles a temperaturas relativamente altas (Casp y Abril, 2003, p. 356), pero tienen la principal desventaja de no tener un proceso de deshidratación homogéneo. Su operación es costosa por la mano de obra requerida para la carga y descarga de producto y por la baja capacidad de producción, sin embargo, se obtienen productos de buena calidad (Casp y Abril, 2003, p. 356; Singh y Heldman, 2001, p. 564).

1.3.3.3 Otros métodos de deshidratación

Entre estos métodos de secado se encuentra la liofilización, la cual es una técnica que consiste en deshidratar un producto congelado (Casp y Abril, 2003, p. 387; Singh y Heldman, 2001, p. 409), de tal manera que el agua del mismo pasa del estado sólido a vapor sin tener que pasar por el estado líquido, este proceso se

conoce como sublimación, lo cual es posible solamente a condiciones del punto triple del agua las cuales son a 610 Pa y 0,01 °C (Mujumdar, 1995 p. 654; Casp y Abril, 2003, p. 387). El equipo consta básicamente de una cámara de vacío, sistema de refrigeración, condensador y bomba de vacío, algunos equipos tiene un sistema de calentamiento de placas para acelerar el proceso de secado (Mujumdar, 1995, p. 655; Casp y Abril, 2003, p. 398).

El proceso de liofilización se desarrolla en etapas como lo son la pre-congelación, sublimación y la desorción que se muestran en la Figura 1.19.

- *Pre-congelación*: esta etapa tiene lugar hasta que el material a deshidratarse esté completamente congelado lo cual se da a una temperatura inferior a 0 °C (Casp y Abril, 2003, p. 387). La congelación permite la formación de cristales pequeños de agua, con esto se logra que la estructura de los alimentos liofilizados sea porosa lo cual favorece la sublimación del agua (Singh y Heldman, 2001, p. 409). El secado de alimentos con estructura celular sólida como por ejemplo liofilización de frutas enteras con cáscara, es más largo que el secado de alimentos líquidos; ya que no presentan canales por los cuales se pueda difundir fácilmente el agua (Casp y Abril, 2003, p. 391).

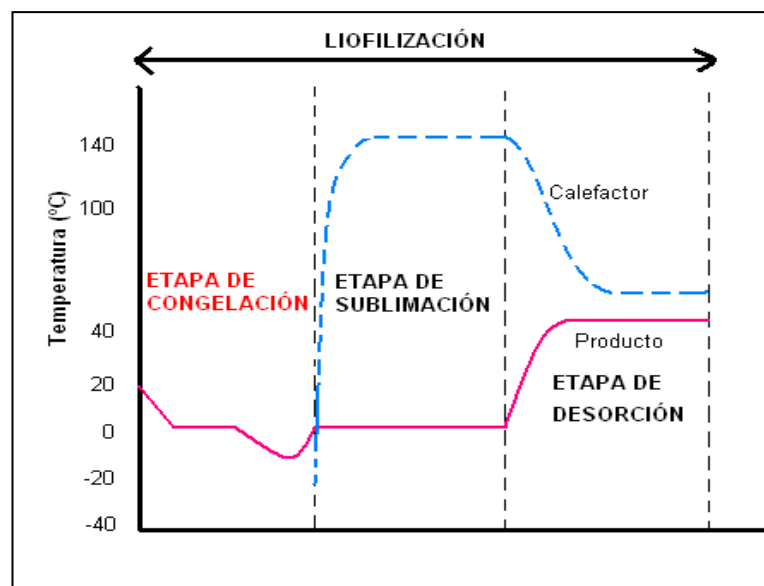


Figura 1. 19. Etapas durante el proceso de liofilización (Casp y Abril, 2003, p. 390)

- *Sublimación:* esta etapa se da a presiones bajas (130-260 Pa) y es necesario entregar al alimento el calor latente de sublimación (2 840 KJ/ kg de hielo sublimado) para lo cual existe un suministro de calor dentro de la cámara de secado que generalmente se da por radiación (Casp y Abril, 2003, p. 392; Ibarz et al., 2000, p. 117).
- *Desorción:* se da un proceso de secado por evaporación del agua al vacío que generalmente es el agua ligada del alimento que ya no se puede eliminar por sublimación. En esta etapa según la naturaleza del material, se eleva la temperatura del mismo en un rango de 20 a 60 °C (Casp y Abril, 2003, p. 394).

Entre las ventajas de la liofilización se tiene que no hay alteración de los compuestos termolábiles como las antocianinas, vitamina C, etc., porque la temperatura de trabajo es muy baja (Joshi et al., 2009, p. 456; Singh y Heldman, 2001, p. 409); se minimiza la movilización de sólidos solubles en el interior del material, por lo tanto, no hay agua libre y también no hay desarrollo de microorganismos; el producto es ligero y poroso, por lo tanto, se puede rehidratar el producto con facilidad; la retención de aromas o compuestos volátiles es alta (Casp y Abril, 2003, p. 386; Ibarz, 2000, p. 117).

El proceso de liofilización tiene limitaciones como la inversión inicial para la adquisición de equipamiento es alrededor de tres veces el de los otros métodos mencionados; elevados costes de energía y procesamiento; la técnica es lenta y larga (Casp y Abril, 2003, p. 386; Ibarz et al., 2000, p. 117). Por este motivo la liofilización se justifica cuando el producto obtenido es de elevado precio (Singh y Heldman, 2001, p. 409), se usa principalmente en la producción de té, café instantáneo, frutas exóticas, vegetales, sopas, champiñones y jugos (Casp y Abril, 2003, p. 386).

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1 MATERIALES



Figura 2. 1. Arbusto y fruta de mortiño (*Vaccinium floribundum* Kunth) recinto Morocho, Reserva Ecológica Cotacachi – Cayapas, Imbabura, Ecuador

En el presente trabajo se utilizó mortiño (*Vaccinium floribundum* Kunth) fresco y de madurez organoléptica como se observa en la Figura 2.1, es decir, que haya alcanzado el sabor y aroma adecuado para el consumo. Se adquirió en la comunidad del Pedregal ubicado en Machachi en el cantón Mejía, la fruta se trasladó desde este sector hasta el Departamento de Ciencia de Alimentos y Biotecnología (DECAB) de la Escuela Politécnica Nacional, en cajones de madera de dimensiones 30 x 40 cm aproximadamente con alrededor de 15 kg de mortiño.

Debido a la baja disponibilidad del fruto en el mercado por temporada de cosecha (julio-agosto y octubre-noviembre), se realizaron varias compras las mismas que fueron de entre 10 kg y 30 kg.

El proceso de lavado y almacenamiento se muestra en la Figura 2.2. Cada lote adquirido se desinfectó con agua clorada de 100 ppm, en tanques de acero inoxidable. Posteriormente las frutas desinfectadas se lavaron con la ayuda de un lavador de frutas rotatorio continuo de varillas marca The Sinclair Scott Co.

El mortíño lavado se escurrió en mallas de plástico porosas de dimensiones 0,60 m x 1,20 m. Finalmente, las frutas fueron envasadas en fundas de polietileno en porciones de aproximadamente 3 kg y almacenadas en una cámara de refrigeración a 5 °C por no más de una semana antes de ser deshidratadas.

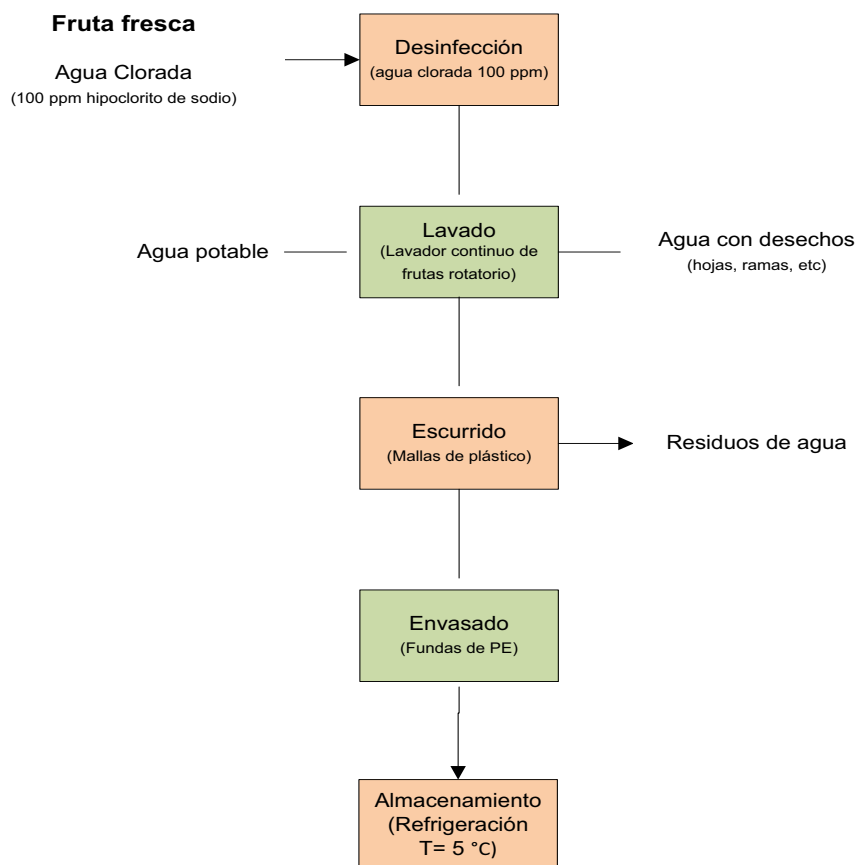


Figura 2. 2. Proceso de lavado y almacenamiento de la fruta

Los reactivos y equipos que se utilizaron en este estudio se presentan a continuación.

2.1.1 REACTIVOS

- Acetona, 99,6 %, J. T Baker
- Ácido ascórbico, 99,5 %, Dr. Ehrenstorfer GmbH
- Ácido bórico, 99,5 %, BDH

- Ácido cítrico, 99,5 %, Sigma
- Ácido clorhídrico, grado técnico de pureza, Mallinckrodt Chemical
- Alcohol etílico, grado HPLC de pureza, Baker
- Acetato de sodio anhidro, 99 %, Merck
- Ácido galacturónico, 100 %, Sigma-Aldrich
- Ácido L-ascórbico, 99,5 %, Sigma
- Ácido L(+)-tartárico, 99,5 %, Sigma
- Ácido L(-)-málico, 99,5 %, Sigma
- Ácido meta fosfórico, grado analítico de pureza, Merck
- Ácido nítrico, grado técnico 65,9 % de pureza
- Ácido sulfúrico, 99 %, Sigma-Aldrich
- Ácido gálico, 100 %, Sigma-Aldrich
- Bromuro de N-Alil, N,N,N-trimetil amonio, 99 %, Baker
- Carbonato de potasio anhidro, 98,95 %, Riedel
- Carbonato de sodio decahidratado, 100 %, Merck
- 9-cis- β -caroteno, 97 %, Dr. Ehrenstorfer GmbH
- 13-cis- β -caroteno, 97 %, Dr. Ehrenstorfer GmbH
- 15-cis- β -caroteno, 97 %, Dr. Ehrenstorfer GmbH
- Cloruro de potasio, 99,5 %, Merck
- Cloruro de sodio, 99,5 %, Merck
- D(+)-Galactosa, 99,5 %, Sigma
- D(+)-Glucosa, 99,5 %, Sigma
- D-fructosa, 100 %, Sigma
- 2,6 Dimetilfenol, 99 %, Merck
- Enzima AG y Termamyl 120 L®, grado analítico de pureza, Novozymes
- Enzima Pancreatin N° 76190®, grado analítico de pureza, Fluka
- Enzima Pepsin 2 000 FIP®, grado analítico de pureza, Merck
- Folin-Ciocaltu's fenol, 2 N, Sigma-Aldrich
- Fosfato ácido de potasio, 99,5 %, Baker
- Homocisteína, 95 %, Merck
- L-xylosa, 99 %, Sigma
- Metanol, grado HPLC de pureza, Mallinckrodt Chemical

- Oleato de etilo, 98 %, Merck
- Sacarosa, 99,5 %, Sigma
- Sulfato de zinc heptahidratado, 99,5 %, Analar

2.1.2 EQUIPOS

- Centrifuga Multispeed, IEC CL31R
- Baño termostático, Precision Scientific, modelo 25
- Agitador Vórtex, modelo UM-300
- Licuadora, Osterizer
- Espectrofotómetro UV-Vis, SHIMADZU, modelo 160-A
- pH-metro, WTW, modelo pH3-30i con electrodo SenTix 41
- Balanza analítica, Mettler Toledo, modelo AG204, 210 g, 0,0001 g
- Agitador magnético, Variomag, modelo Hp15
- Estufa, Memmert
- Liofilizador, Stokes, modelo 902-001-8
- Lavador de frutas rotatorio, The Sinclair Scott Co.
- Estufa con variación de velocidad de aire, Freas, modelo 625-A.
- Secador solar híbrido (pre-diseñado) con controlador de temperatura
- Lavador de frutas rotatorio continuo de varillas, The Sinclair Scott Co.
- Equipo de absorción atómica, PERKIN ELMER, modelo 3300.
- Equipo de cromatografía líquida de alta resolución, Hewlett packard, modelo 1050.

2.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LA MATERIA PRIMA Y DEL PRODUCTO TERMINADO

Para la caracterización físico-química de la materia prima, de cada lote comprado se liofilizaron aproximadamente 2 kg de mortiño fresco, con la ayuda de un liofilizador marca Stokes.

2.2.1 MÉTODOS DE CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LA MATERIA PRIMA

En la fruta fresca previamente desinfectada y lavada se determinó: pH, cenizas, humedad y acidez titulable.

En la materia prima liofilizada se determinó: cantidad de polifenoles solubles totales, antocianinas totales, proteínas, extracto etéreo, ácidos galacturónicos, minerales, fibra dietética total, contenido de azúcares, vitamina C y contenido de carotenoides.

- **pH**

Para determinar el pH se licuó la fruta fresca y se filtró la pulpa con la ayuda de un colador, se sumergió el electrodo en el jugo y se tomó la lectura de pH según se describe en el método AOAC 981.12, (42.1.04) (2007, Cap. 42, pp. 2-3). Se realizó este procedimiento tres veces de un lote.

- **Cenizas**

Este parámetro se determinó mediante el procedimiento descrito en el método AOAC 940.26 (2007, Cap. 37, pp. 7-9). Se realizó una evaporación en baño termostático seguidamente se calcinaron las muestras a 550 °C por dos horas, se enfriaron las muestras en un desecador y se tomó el peso.

- **Humedad**

Se realizó el procedimiento descrito en el método AOAC 920.151, (37.1.12) (2007, Cap. 37, p. 4). Se secaron las muestras en estufa marca Memmert a 70 °C hasta peso constante.

- **Acidez titulable**

La acidez titulable se determinó según el método AOAC 942.15 (2007, Cap. 37, p. 14), (B) (37.1.37). Se licuó la fruta fresca, la pulpa se filtró en un colador. Se tomó una alícuota de 5 mL de la pulpa y se aforó con agua destilada hasta 50 mL en un matraz. Se valoró la solución anterior con NaOH 0,1 N hasta alcanzar pH 8,2, para lo cual se incorporó al sistema de titulación un pHmetro ORION modelo 21 OA el cual se calibró previamente con las soluciones buffer de pH 4.0 y pH 7.0. El resultado se reportó como porcentaje de ácido cítrico.

- **Proteínas**

Se cuantificó el contenido de las proteínas mediante el método AOAC 920.152, (37.1.35). (2007, Cap. 37, p. 10). Se realizó una digestión de la muestra a 420 °C por 1 h, luego una neutralización con NaOH al 40%, seguidamente una destilación en un equipo Kjeltec y al final una titulación con HCl 0,1 N. Para el cálculo se usó como factor 6,25.

- **Extracto etéreo**

Se cuantificó el contenido de grasa por medio del método AOAC 920.85 (32.1.12) (2007, Cap. 37, p.27). La muestra liofilizada se colocó en el equipo de extracción Velt Ser 148, se calentó a 100 °C por 1 h, seguidamente se extrajo la grasa presente en la muestra con éter etílico en un equipo Goldfi, en donde se realizó 1 h de extracción, seguido por 1 h de lavado y 20 min de evaporación del solvente.

- **Ácidos galacturónicos**

A partir de la materia insoluble en alcohol (MIA), se determinó el porcentaje de lignina de acuerdo al método descrito por Theander y Graham (1986, pp. 330-

333). Finalmente, el porcentaje de ácidos galacturónicos se cuantificó según Theander et al., (1991, pp. 1-4). Se detalla los pasos seguidos para el ensayo en el Anexo III.

- **Minerales**

Se cuantificó la concentración de minerales presentes en el mortuño liofilizado según Elmer (1994, pp. 200-209), el mismo que consiste en la digestión de la muestra en microondas y luego lectura directa de Ca, Na, K, Mg, Cu, Zn y Fe por espectrofotometría de absorción atómica.

- **Fibra dietética total**

Se determinó la fibra dietética total de acuerdo al método enzimático gravimétrico descrito por Asp et al., (1983, pp. 476-482). El método consiste en una digestión del almidón y la proteína en fragmentos pequeños mediante la aplicación de las enzimas Pepsin 2000 FIP®, Pancreatin N° 76190® AG y Termamyl 120 L®. La fibra dietética insoluble se separa mediante filtración. Para precipitar la fibra soluble se añade etanol, el precipitado es recuperado mediante una segunda filtración.

- **Contenido de azúcares**

El contenido de azúcares se cuantificó mediante Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC) según el método Pérez et al., (1997, pp. 3 545- 3 549). Se utilizó la columna Aminex HPX-87H, flujo de alimentación de 0,5 mL/min a 114 bar de presión y 30°C. Se utilizó como detector el índice de refracción. Como fase móvil se utilizó H₂SO₄ 0,02 N. Para la curva de calibración se usaron estándares de sacarosa, D(+)-glucosa, D(+)-galactosa, D-fructosa, L-xylosa y L-ramnosa con concentraciones entre 2 y 20 mg/mL.

Para preparar la muestra se pesaron aproximadamente 3 g de muestra liofilizada en un matraz de 25 mL, se añadió la fase móvil y se agitó con agitador magnético por 15 min, se aforó a 25 mL, se centrifugó por 8 min a 1 610 xg y 5 °C, se filtró el sobrenadante por una membrana de 0,45 µm y se inyectó en el HPLC.

- **Vitamina C**

La vitamina C se determinó por HPLC, según Macrae (1988, p. 172-179). Se empleó una columna LiChrospher 100 RP18 5 µm 250 x 4 mm, flujo de alimentación de 1 mL/min a 230 bar a temperatura ambiente (20 – 25 °C), el detector utilizado fue UV-visible. Se usó como fase móvil una solución de KHPO₄ y bromuro de N-cetil, N,N,N-trimetil amonio y estándares de ácido ascórbico certificado.

Para preparar la muestra se pesaron aproximadamente 5 g de muestra liofilizada en un matraz de 50 mL, se añadió 30 mL de ácido meta-fosfórico al 3 % y 5 mL de homocisteína al 0,2 %, se agitó por 15 min, se aforó a 50 mL con agua destilada y se centrifugó a 3 622 xg y 4 °C, se filtró la solución por una membrana de 0,45 µm y se inyectó en el HPLC.

- **Contenido de β-caroteno**

Se utilizó la técnica de HPLC para determinar la cantidad de carotenoides en el mortiño según el método de Petterson y Johnsson (1990, pp. 23 - 41).

Se pesaron 10 g de mortiño liofilizado, se añadió 20 mL de acetona y 20 mL de etanol, se agitó por 5 min, se filtró en papel filtro y se repitió el procedimiento hasta que el filtrado fue incoloro. Se filtró la solución en una membrana de 0,45 µm y se inyectó en el HPLC. Se usó la columna YMC carotenoid column de 250 x 4,8 mm. Se utilizó como fase móvil una solución desgasificada de metanol, ter-butil metil éter y agua en una proporción 56:40:4. Se realizó la curva de

calibración con estándares de 9-cis- β -caroteno, 13- cis- β -caroteno y 15- cis- β -caroteno.

- **Ácidos orgánicos**

Se cuantificaron los ácidos orgánicos presentes en el mortuño liofilizado por HPLC según el método descrito por Pérez et al., (1997, pp. 3 545- 3 549).

Se utilizó la columna Aminex HPX-87H, flujo de alimentación de 0,5 mL/min a una presión de 59 bar y 30 °C. Se utilizó el detector UV-Visible a 210 nm, BW4; REF 580 nm BW20, PkWidth 0,1 min y para ácido ascórbico el detector UV a 244 nm, BW4; REF 580 nm BW20, PkWidth 0,1 min. Como fase móvil se utilizó H₂SO₄ 0,02 N, se usaron estándares de ácido cítrico, ácido L(+)-tartárico, ácido L(-)-málico y ácido L-ascórbico.

Se pesaron aproximadamente 3 g de muestra liofilizada en un matraz de 50 mL, se añadió 30 mL H₂SO₄ 0,02 N, ácido metafosfórico 0,05 % y homocisteína 0,02 %, se agitó en el baño ultrasónico por 15 min. Posteriormente se aforó con H₂SO₄ 0,02 N, ácido metafosfórico 0,05 % y homocisteína 0,02 % hasta 50 mL. Se transfirió a un tubo y se centrifugó por 8 min a 1 610 xg y 5 °C. La solución se filtró en una membrana de 0,45 μ m y se inyectó en el equipo de HPLC.

- **Contenido de polifenoles solubles totales**

Para la cuantificación se utilizó el método propuesto por Slinkard y Singleton (1997, pp. 38-55) en el que tiene lugar una reacción redox entre los polifenoles presentes en un extracto cetónico o el ácido gálico y el reactivo Folin-Ciocaltu's.

Se midió la absorbancia del producto coloreado mediante espectrofotometría a 760 nm. Para la curva de calibración se utilizaron patrones de ácido gálico entre 10 y 100 ppm. Se adjunta el procedimiento detallado en el Anexo I.

- **Contenido de antocianinas totales**

Se cuantificó el contenido de antocianinas totales en el liofilizado correspondiente al mortiño fresco en cada muestra. Se consideró este valor como el 100% para el cálculo del porcentaje de retención de antocianinas en el producto deshidratado en la estufa, en el secador solar híbrido y en el liofilizado con el pre-tratamiento de baño de inmersión.

Se cuantificaron las antocianinas totales mediante el método descrito por Giusti y Wrolstad (2001, pp. 1-13). Se homogenizaron las muestras con soluciones buffer de pH 1,0 y pH 4,5 y se midió la absorbancia de cada una a 510 nm y 700 nm. Se adjunta el procedimiento detallado en el Anexo II.

2.2.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL PRODUCTO TERMINADO

En el mortiño deshidratado se cuantificaron los polifenoles solubles, antocianinas totales, humedad, minerales, fibra dietética total, perfil de azúcares, vitamina C, y ácidos orgánicos según los métodos detallados anteriormente.

Para convertir los valores de base seca a base húmeda (peso fresco), se utilizó el porcentaje de humedad en el mortiño fresco y en su correspondiente deshidratado con el objetivo de poder comparar los resultados de caracterización entre procesos (liofilización y deshidratación en estufa y en secador solar híbrido).

2.2.3 ANÁLISIS SENSORIAL

Se realizó el análisis sensorial con el objetivo de establecer las diferencias existentes entre el producto deshidratado en estufa sin pre-tratamientos (SPT), con el mortiño deshidratado en estufa con pre-tratamientos (CPT) y con los frutos deshidratados en el secador solar híbrido con pre-tratamientos CPT.

Se eligieron como parámetros el color, sabor, textura y sabores extraños que el panelista calificó en la escala continua del 1 al 10 según la característica como se indica en la Tabla 2.1. Las tres muestras se codificaron con tres dígitos al azar. El formato para el análisis sensorial se presenta en el Anexo VI.

Tabla 2. 1. Características de cada parámetro según la escala establecida

Parámetro	Escala	
	10	1
Color	Negro	Marrón
Sabor	Intenso sabor a mortiño	Débil sabor a mortiño
Textura	Suave	Duro
Sabores extraños	Ninguno	Algunos

Para el ensayo, se entregaron tres muestras codificadas a 22 panelistas semientrenados los cuales evaluaron los parámetros establecidos.

Con los resultados obtenidos, se realizó el análisis de varianza de rango múltiple con un 95 % de confianza, mediante el programa STATGRAPHICS CENTURION.

2.3 EFECTO DE LA TEMPERATURA Y FLUJO DE AIRE EN UN SECADOR DE BANDEJAS EN EL PROCESO DE SECADO

Se cuantificó el contenido de polifenoles solubles totales en el liofilizado correspondiente al mortiño fresco en cada muestra.

Este valor se consideró como el 100% para el cálculo del porcentaje de retención de estos compuestos fenólicos en el producto deshidratado en la estufa y en el secador solar híbrido, ya que según bibliografía en el proceso de liofilización se conserva en el producto los componentes bioactivos porque se deshidrata a baja temperatura (Casp y Abril, 2003, p. 386; Singh y Heldman, 2001, p. 409).

2.3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Para cada ensayo se utilizaron aproximadamente 3 kg de mortiño. Se cargaron los frutos en una estufa marca Freas, modelo 625-A, provista de 4 bandejas de aluminio perforadas de dimensiones 45 x 42,5 cm. Se distribuyó uniformemente 750 g de fruta en cada bandeja sin que se forme una doble capa de mortiño y se ajustó en el equipo las condiciones de temperatura y velocidad de aire correspondientes al ensayo.

El muestreo se realizó dentro de la cámara de secado cada 2 horas de tal manera que se recolectaron alrededor de 20 g de muestra de las 4 bandejas. Esto se realizó con el fin de determinar la humedad del producto con el tiempo, graficar las curvas de secado y cuantificar los compuestos fenólicos. Se almacenó cada muestra en envases de polietileno para su posterior análisis. Se deshidrató hasta peso constante. Se envasó el producto deshidratado en fundas de polipropileno y estas en fundas oscuras, se almacenaron en refrigeración (4 °C) para su posterior caracterización.

2.3.2 DISEÑO EXPERIMENTAL

Para determinar el efecto de la temperatura y flujo de aire en el proceso de secado (tiempo de secado y porcentaje de retención de polifenoles solubles y antocianinas), se utilizó un diseño factorial 2^2 . Se seleccionaron la temperatura y flujo de aire como variables del proceso, para la temperatura se tomaron valores de 40 y 50 °C. Este es el rango en el que las antocianinas se degradan en menor cantidad (Macheix et al., 1990, p. 314; Routray y Orsat, 2011, p. 306).

Para el flujo de aire se seleccionaron valores de 0,24 y 0,40 m³/s en la estufa, con la finalidad de conservar las antocianinas presentes en el mortiño ya que la estabilidad de las antocianinas depende del ambiente fisicoquímico y del contenido de oxígeno del medio (Macheix et al., 1990, p. 295). Los valores de flujo de aire seleccionados corresponden a niveles bajos en la estufa que se utilizó en

el presente trabajo. Se les asignó un valor codificado a los valores numéricos de las variables, como se muestra en la Tabla 2.2.

Tabla 2. 2. Valores codificados para temperatura y flujo de aire

Valor codificado	Temperatura (°C)	Flujo de aire (m³/s)
-1	40	0,24
1	50	0,40

En la Tabla 2.3 se presentan las condiciones correspondientes para cada ensayo, para verificar la reproducibilidad de los resultados se realizó una réplica para cada condición establecida.

Tabla 2. 3. Combinaciones de temperatura y flujo de aire para cada prueba de deshidratación

Valor codificado	Temperatura (°C)	Flujo de aire (m³/s)
(-1;-1)	40	0,24
(-1;1)	40	0,40
(1;-1)	50	0,24
(1;1)	50	0,40

Se realizó el análisis estadístico con la ayuda del programa STATGRAPHICS CENTURION para determinar la influencia de las variables (temperatura y velocidad de aire) sobre el contenido de polifenoles solubles, contenido de antocianinas y tiempo de secado con un nivel de confianza del 95 %.

2.4 EFECTO DEL PRE-TRATAMIENTO DEL BAÑO DE INMERSIÓN SOBRE EL PROCESO DE SECADO

Una vez establecidas las mejores condiciones de temperatura y flujo de aire se aplicó el pre-tratamiento del baño de inmersión para determinar su efecto en el proceso.

2.4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Se colocó una porción de mortiño de 3,5 kg en 2 L del baño de inmersión de acuerdo al tratamiento correspondiente. Cumplido este tiempo se escurrió la fruta hasta que no hubo presencia de líquido. Se cargó en la estufa de igual manera como se lo realizó en las pruebas para establecer las condiciones adecuadas de temperatura y flujo de aire. Se fijaron en la estufa los parámetros de temperatura y flujo de aire los mismos que fueron establecidos al deshidratar la fruta sin pre-tratamiento. Se tomaron muestras cada 2 horas para determinar la humedad y contenido de compuestos fenólicos, se envasó el producto deshidratado en fundas de polipropileno y éstas en fundas oscuras y fueron almacenadas en refrigeración para su posterior caracterización.

2.4.2 DISEÑO EXPERIMENTAL

Para esta parte del ensayo se utilizó un diseño factorial 2^2 con puntos axiales. Se seleccionaron la concentración del baño de inmersión (solución acuosa de oleato de etilo y carbonato de potasio) y el tiempo de inmersión en el baño, como variables del proceso. En la Figura 2.3 se presentan los pares ordenados correspondientes a los ensayos.

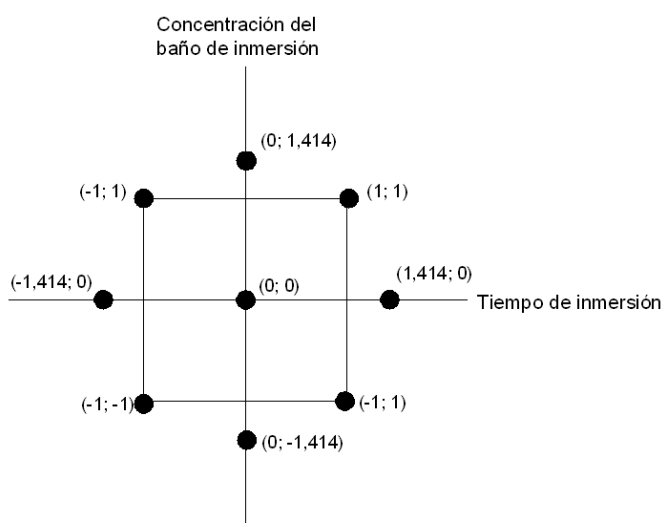


Figura 2.3. Modelo experimental 2^2 con puntos axiales

De acuerdo a Christensen y Peacock (2000, p. 213) se estableció la composición del baño de inmersión entre 2,5 % K_2CO_3 (P/P) – 2 % de oleato de etilo (V/V) y 0,6 % K_2CO_3 (P/P) – 0,5 % de oleato de etilo (V/V) para un determinado volumen de solución. El tiempo de exposición al mismo entre 2 y 5 min. A los valores numéricos de las variables (concentración del baño y tiempo de inmersión) se les asignó un valor codificado como se muestra en la Tabla 2.4.

Tabla 2. 4. Valores codificados para la concentración del baño y tiempo de inmersión

Valor codificado	Concentración de K_2CO_3 - Concentración de oleato de etilo (P/P)-(V/V)	Tiempo de inmersión (min)
1,414	2,50-2,00	5,0
1	2,22-1,78	4,6
0	1,55-1,25	3,5
-1	0,88-0,72	2,4
-1,414	0,60-0,50	2,0

Se muestran las condiciones para los 9 ensayos realizados en la Tabla 2.5. Para determinar si los resultados son reproducibles, el punto (0;0) se repitió tres veces.

Tabla 2. 5. Condiciones de concentración del baño y tiempo de inmersión para cada prueba de deshidratación

Valor codificado	Concentración de K_2CO_3 - Concentración de oleato de etilo (P/P)-(V/V)	Tiempo de inmersión (min)
(1;1)	2,22-1,78	4,6
(1;-1)	2,22-1,78	2,4
(-1;-1)	0,88-0,72	2,4
(-1;1)	0,88-0,72	4,6
(0;0)	1,55-1,25	3,5
(0;1,414)	1,55-1,25	5,0
(1,414;0)	2,50-2,00	3,5
(0;-1,414)	1,55-1,25	2,0
(-1,414;0)	0,60-0,50	3,5

Se realizó el análisis estadístico con un nivel de confianza del 95 % con la ayuda del programa STATGRAPHICS CENTURION para determinar la influencia de las variables estudiadas sobre el contenido de polifenoles solubles, contenido de antocianinas y tiempo de secado. Para seleccionar los mejores parámetros (concentración del baño y tiempo de inmersión) se consideraron las condiciones en las que el producto deshidratado conserve el mayor porcentaje de retención de antocianinas en relación al liofilizado y también el menor tiempo de secado.

2.4.3 EFECTO DEL PRE-TRATAMIENTO DEL BAÑO DE INMERSIÓN SOBRE EL CONTENIDO DE ANTOCIANINAS EN EL MORTIÑO LIOFILIZADO

Para estudiar el efecto del baño de inmersión sobre la concentración de antocianinas en el mortío, se congeló a -18 °C la fruta fresca con el pre-tratamiento de cada ensayo realizado (aproximadamente 0,5 kg) para posteriormente liofilizar. Se determinó la humedad y se cuantificaron las antocianinas de la fruta liofilizada a las condiciones establecidas en la Tabla 2.4.

2.5 EFECTO DEL PRE-TRATAMIENTO CON DIÓXIDO DE AZUFRE SOBRE EL PROCESO DE SECADO

Una vez establecidas las mejores condiciones de concentración del baño de pre-tratamiento y tiempo de inmersión, se aplicó la sulfuración a los frutos de mortío fresco, para determinar su efecto en la concentración de componentes bioactivos (antocianinas y polifenoles solubles).

2.5.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

A 3 kg de mortío fresco se adicionó 2 L de una solución de oleato de etilo y carbonato de potasio según los parámetros de concentración y tiempo seleccionados en el ensayo anterior. Una vez escurridas las frutas se pesaron

porciones de 750 g aproximadamente en recipientes perforados de aluminio y se los colocó dentro de una cámara de acero inoxidable de 60 cm de base y 50 cm de altura, en la que se quemó la cantidad de azufre correspondiente de acuerdo a los ensayos establecidos según el diseño experimental planteado. Cumplido el tiempo de tratamiento, se retiró la fruta de la cámara e inmediatamente se cargó en la estufa, se fijó la temperatura y velocidad del aire en el equipo. Una vez culminado el proceso de deshidratación, se guardó el producto en fundas de polipropileno y se almacenó en refrigeración (4 °C) para su posterior análisis de humedad y cuantificación de polifenoles solubles y antocianinas.

2.5.2 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó un diseño factorial 2^2 para determinar el efecto del pre-tratamiento de sulfuración en el proceso de secado.

Se seleccionaron la concentración de dióxido de azufre y tiempo de sulfuración como variables del proceso, para la concentración de SO_2 se tomaron valores de 1 000 y 2 000 ppm (mg de SO_2 /kg de fruta fresca) y tiempo de sulfuración de 1 y 2 horas, según información bibliográfica (Mujumdar, 1995, p. 647; Christensen y Peacock, 2000, p. 214). A los valores numéricos de las variables, se les asignó un valor codificado como se muestra en la Tabla 2.6.

Tabla 2. 6. Valores codificados para concentración de SO_2 y tiempo de sulfuración de mortiño

Valor codificado	Dióxido de azufre (ppm)	Tiempo (h)
-1	1 000	1
1	2 000	2

Se presentan las condiciones correspondientes para cada ensayo en la Tabla 2.7 y se realizó una repetición para cada condición establecida con el fin de verificar la reproducibilidad de los resultados.

Tabla 2. 7. Condiciones de concentración de SO₂ y tiempo de sulfuración para cada prueba de deshidratación

Valor codificado	Dióxido de Azufre (ppm)	Tiempo (h)
(-1;-1)	1 000	1
(-1;1)	1 000	2
(1;-1)	2 000	1
(1;1)	2 000	2

Mediante el programa STATGRAPHICS CENTURION se realizó el análisis estadístico para evaluar la influencia de la concentración de dióxido de azufre y tiempo de sulfuración sobre el contenido de polifenoles solubles y contenido de antocianinas.

2.6 DESHIDRATACIÓN DE MORTIÑO EN UN SECADOR SOLAR HÍBRIDO

Aproximadamente 3 kg de mortiño con los pre-tratamientos de baño de inmersión y sulfuración fueron deshidratados en un secador solar híbrido que consta de un colector solar de dimensiones 180 X 70 cm, cámara de secado de dimensiones 60 x 70 x 100 cm, un controlador automático para la temperatura, una resistencia eléctrica para el calentamiento del aire y dos bandejas de plástico porosas de dimensiones 40 x 60 cm.

Para lo cual se aplicó a la fruta la concentración del baño y tiempo de exposición al mismo, sulfuración y tiempo, que fueron determinados en los ensayos previos según el porcentaje de retención de polifenoles solubles y antocianinas.

Se fijó en el equipo la temperatura de 50 °C por limitaciones del controlador. Se proporcionó el aire para el secado con un ventilador que se adaptó al equipo. Se guardó el producto en fundas de polipropileno selladas y se almacenó en refrigeración para su posterior análisis de humedad y cuantificación de polifenoles solubles y antocianinas.

2.7 ENSAYOS DE ESTABILIDAD

El mortino deshidratado a las mejores condiciones de temperatura, flujo de aire y parámetros de pre-tratamientos, se sometió a ensayos de estabilidad para lo cual se almacenó la fruta seca durante 2 meses en congelación (-17 °C), refrigeración (4 °C) y al ambiente (25 °C) a 90 % HR. Se envasó el producto en una película multicapa laminada y metalizada con las características adecuadas de transparencia, permeabilidad al oxígeno y al vapor de agua, que requiere el mortino deshidratado para la conservación de los componentes bioactivos (polifenoles y antocianinas) y porcentaje de humedad, estos valores se muestran en su ficha técnica en el Anexo IV. Se prepararon 7 porciones con aproximadamente 25 g de fruta deshidratada. Se rotuló cada porción como M₁, M₂, M₃, M₄, M₆, M₈ de acuerdo al tiempo de almacenamiento (semanas) y se conservaron a las condiciones correspondientes. Para las condiciones de 25 °C y 90 % de HR se guardaron las muestras en una cámara cerrada con una solución saturada de ZnSO₄. Se evaluó visualmente el color del mortino seco y se cuantificó la cantidad de antocianinas, polifenoles solubles y humedad cada semana durante el primer mes y cada dos semanas durante el segundo mes.

Se determinó el tiempo de vida útil del mortino deshidratado con base en los parámetros cinéticos como lo son la constante de velocidad (k), factor de frecuencia (k') y energía de activación (E), establecidos mediante el modelo matemático planteado por Arrhenius (Schmidl y Labuza, 2000, pp. 31-35). Se consideró que en este tiempo la concentración de antocianinas en el producto se reduce al 50 % en relación al contenido inicial, ya que son los componentes bioactivos de interés en este estudio. EL procedimiento detallado del cálculo se adjunta en el Anexo V.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LA MATERIA PRIMA Y DEL PRODUCTO TERMINADO

Los valores de la caracterización de la fruta liofilizada presentados en la Tabla 3.1 concuerdan con los encontrados en bibliografía. Vasco et al., (2009) reporta la concentración de polifenoles solubles de 882 ± 38 mg/100 g PF (p. 8275), concentración de antocianinas como cianidina-3-O- glucósido de 345 mg/100 g PF (p. 8277). Los valores de antocianinas del presente trabajo son el promedio de la caracterización de 10 lotes diferentes de mortiño provenientes del sector del Pedregal en Machachi. En la caracterización de la fruta de mortiño Vasco et al., (2009, p. 8 275), reporta también la humedad 81 %, proteínas 0,7 g/100 g PF, cenizas 0,4 g/100 g PF, fibra dietética total 7,6 g/100 g PF. Además, el contenido de vitamina C (7 mg/100 g PF) según bibliografía (Vasco et al., 2009, p. 8 275) es 18 % mayor que el reportado en el presente trabajo (1,27 mg/100 g PF), lo que puede justificarse por el tiempo y forma de almacenamiento post-cosecha del mortiño fresco o, puede deberse la misma fruta, cuyos valores de caracterización dependen del grado de madurez y lugar de crecimiento (Szajdek y Borowska, 2008, p. 148). Los resultados de la caracterización del producto deshidratado en secador de bandejas y en secador solar híbrido, se muestran en la Tabla 3.2. La cantidad de antocianinas y polifenoles solubles reportada para los dos tipos de deshidratado, en la estufa y en el secador solar híbrido, es mayor que en el liofilizado que se indica en la Tabla 3.1. Esto se debe a que pertenecen a diferentes lotes, el producto final se lo procesó con mortiño comprado en Cotacachi Provincia de Imbabura, debido a la disponibilidad de la fruta en el mercado.

Se realizó el análisis de varianza con la ayuda del programa STATGRAPHICS CENTURION, para establecer la diferencia de la concentración de antocianinas y polifenoles solubles totales en el producto deshidratado mediante las técnicas de liofilización, estufa y secador solar híbrido.

Tabla 3. 1. Caracterización química de la fruta fresca[#]

Parámetro	Unidades	Valor
Componentes próximos		
Humedad ²	g/100 g PF	83,47 ± 3,02
Proteínas ^{3*}	g/100 g PF	0,60 - 0,64
Cenizas ^{3*}	g/100 g PF	0,33 - 0,34
Fibra dietética total ^{***x}	g/100 g PF	2,39
Extracto etéreo ^{3*}	g/100g PF	0,79 ± 0,04
pH ⁴		2,61 ± 0,06
Acidez titulable ⁴	g ácido cítrico/100 g PF	7,72 ± 0,08
Ácidos Galacturónicos ⁴	g/100 g PF	0,52 ± 0,04
Azúcares solubles^{3***x}		
Fructosa	g/100 g PF	4,55 ± 0,06
Glucosa	g/100 g PF	2,96 ± 0,04
Ácidos Orgánicos^{3***x}		
Ácido cítrico	mg/100 g PF	1 185,99 ± 74,53
Ácido málico	mg/100 g PF	451,52 ± 14,96
Minerales^{3**x}		
Ca	mg/100 g PF	26,74 ± 9,37
K	mg/100 g PF	58,49 ± 6,74
Mg	mg/100 g PF	15,13 ± 1,73
Cu	mg/100 g PF	0,06 ± 0,01
Zn	mg/100 g PF	0,84 ± 0,13
Fe	mg/100 g PF	0,49 ± 0,08
Na	mg/100 g PF	1,66 ± 0,05
Componentes antioxidantes		
Vitamina C ^{3***x}	mg/100 g PF	1,27 ± 0,02
β-caroteno ^{3***x}	mg/100 g PF	0,13 ± 0,00
Polifenoles solubles ^{1*}	mg/100 g PF	729,49 ± 112,85
Antocianinas ^{2*}	mg/100 g PF	268,67 ± 33,65

¹Media ± DE (n=9), ²Media ± DE (n=10), ³Media ± DE (n=2), ⁴Media ± DE (n=3)

Para la conversión de peso seco a peso fresco se utilizó el porcentaje de humedad en el mortiño fresco y en el liofilizado. [#] Concentración en peso fresco de la fruta. *El contenido de humedad en el mortiño liofilizado fue 5,86 g/100g. **El contenido de humedad en el mortiño liofilizado fue 5,21 g/100g. *** El contenido de humedad en el mortiño liofilizado fue 1,72 g/100g. +Hay un resultado único debido al procedimiento. x Se determinó con mortiño procedente de Cotacachi. PF= Peso fresco de la fruta

Tabla 3. 2. Caracterización físico- química de la fruta deshidratada

Parámetro	Unidades	Fruta deshidratada en estufa	Fruta deshidratada en secador solar híbrido
Componentes próximos			
Humedad ¹	g/100 g PF	5,01 ± 0,71	5,66 ± 0,13
Fibra dietética total*	g/100 g PF	3,83	4,38
Azúcares solubles²			
Fructosa	mg/100 g PF	4,12 ± 0,13	3,83 ± 0,21
Glucosa	mg/100 g PF	2,97 ± 0,11	2,73 ± 0,13
Ácidos Orgánicos²			
Ácido cítrico	mg/100 g PF	1 113,79 ± 38,58	949,57 ± 79,06
Ácido málico	mg/100 g PF	436,45 ± 31,45	417,10 ± 9,80
Minerales²			
Ca	mg/100 g PF	27,53 ± 3,14	26,64 ± 0,41
K	mg/100 g PF	62,30 ± 1,12	52,03 ± 4,83
Mg	mg/100 g PF	17,90 ± 0,64	16,99 ± 0,89
Cu	mg/100 g PF	0,01 ± 0,00	0,02 ± 0,00
Zn	mg/100 g PF	0,20 ± 0,00	0,18 ± 0,01
Fe	mg/100 g PF	0,40 ± 0,10	0,26 ± 0,04
Na	mg/100 g PF	1,74 ± 0,17	1,69 ± 0,14
Componentes antioxidantes			
Vitamina C ²	mg/100 g PF	0,96 ± 0,01	1,19 ± 0,04
Polifenoles solubles ¹	mg/100 g PF	960,72 ± 8,69	960,69 ± 33,74
Antocianinas ¹	mg/100 g PF	439,56 ± 10,93	396,21 ± 6,25

¹Media ± DE (n=3), ²Media ± DE (n=2)

*Hay un resultado único debido al procedimiento. Para la conversión de peso seco a peso fresco se utilizó el porcentaje de humedad en el mortiño fresco y en el deshidratado. PF= peso fresco

A continuación se presenta el análisis estadístico de antocianinas, polifenoles solubles, vitamina C y concentración de potasio, para estudiar la diferencia entre los procesos de deshidratación de mortiño mediante las técnicas de liofilización, estufa y secador solar híbrido.

3.1.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE ANTOCIANINAS EN EL MORTIÑO DESHIDRATADO POR LIOFILIZACIÓN, ESTUFA Y SECADOR SOLAR HÍBRIDO

En la Tabla 3.3 se muestra el análisis de varianza de antocianinas en el mortío deshidratado por liofilización, estufa y secador solar híbrido. Se observa que hay diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) en la concentración de antocianinas totales en el producto final mediante las técnicas mencionadas. Puede justificarse esta diferencia dado que, la liofilización permite obtener un producto con características nutricionales iguales al original (Casp y Abril, 2003, p. 390), mientras que en el secado con gases calientes se pierden considerablemente los componentes bioactivos como los compuestos fenólicos de ciertas frutas y vegetales (Casp y Abril, 2003, p. 356; Joshi et al., 2009, p. 456).

Tabla 3. 3. Análisis ANOVA para antocianinas y polifenoles solubles en el producto deshidratado

Fuente	Suma de cuadrados	Df	Cuadrados principales	F-Radio	P-Valor
Entre grupos	4 573,41	2	2 286,7	26,93	0,001
Dentro de grupos	509,57	6	84,93		
Total (Corr.)	5 082,97	8			

En la Figura 3.1 se muestran los valores medios de la concentración de antocianinas en el producto terminado. Se observa que la concentración es estadísticamente igual en el mortío deshidratado en el liofilizador y en la estufa puesto que sus intervalos se solapan. Estas dos técnicas difieren según el análisis de varianza del producto deshidratado en el secador solar híbrido ya que su intervalo de concentración de antocianinas no se superpone con ninguno de los otros intervalos. Esto muestra que las condiciones a las que se deshidrató el mortío en la estufa (temperatura y flujo de aire) y pre-tratamientos aplicados (solución acuosa de oleato de etilo-carbonato de potasio y sulfuración), permitieron obtener un producto deshidratado en estufa con la concentración de antocianinas estadísticamente igual al producto deshidratado por liofilización. Se realizaron estas comparaciones dado que, se conoce que en la deshidratación por liofilización se conservan los compuestos bioactivos en el producto, como por

ejemplo las antocianinas, porque se deshidratan a bajas temperaturas (-18 a 20 °C) (Casp y Abril, 2003, p. 390; Joshi et al., 2009, p. 456).

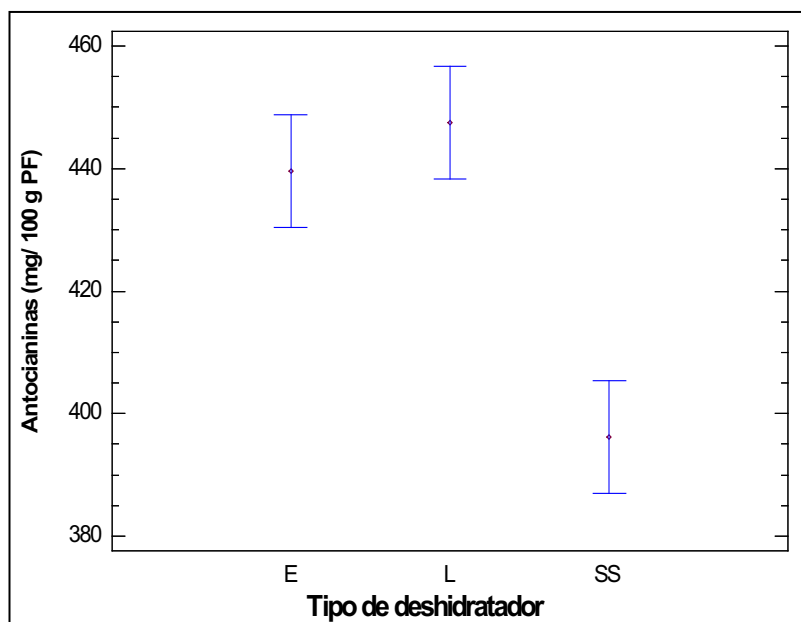


Figura 3. 1. Valores medios en el análisis de varianza de antocianinas L=liofilizador, E= Estufa, SS= Secador solar híbrido

3.1.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE POLIFENOLES SOLUBLES EN EL MORTIÑO DESHIDRATADO POR LIOFILIZACIÓN, ESTUFA Y SECADOR SOLAR HÍBRIDO

En la Tabla 3.4 se muestra el ANOVA para polifenoles solubles en el mortíño deshidratado por liofilización, estufa y secador solar híbrido. Como se puede observar, no hay diferencia estadísticamente significativa ($p > 0,05$) en la concentración de polifenoles solubles totales.

Tabla 3. 4. Análisis ANOVA para polifenoles solubles en el producto deshidratado

Fuente	Suma de cuadrados	Df	Cuadrados principales	F-Radio	P-Valor
Entre grupos	26,3	2	13,15	0,02	0,978
Dentro de grupos	8860,52	15	590,7		
Total (Corr.)	8886,81	17			

Se demuestra por lo tanto, que el proceso de deshidratación de mortiño a 40 °C, 0,24 m³/s de flujo de aire y pre-tratamientos, no tuvo efecto sobre la concentración de polifenoles solubles, ya que estos compuestos son estructuras más resistentes a la temperatura y oxígeno que las antocianinas (Joshi et al., 2009, p. 456).

3.1.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE CONCENTRACIÓN DE POTASIO EN EL MORTIÑO DESHIDRATADO POR LIOFILIZACIÓN, ESTUFA Y SECADOR SOLAR HÍBRIDO

Para visualizar la diferencia en la concentración de potasio en el mortiño deshidratado (producto terminado) mediante las técnicas de liofilización, estufa y secador solar híbrido, se presenta el análisis ANOVA en la Tabla 3.5. Se observa que no hay diferencia estadísticamente significativa ($p > 0,05$) en la concentración de potasio en el producto deshidratado mediante las tres técnicas empleadas.

Por lo tanto, se afirma que no existió migración de este mineral desde el baño de inmersión (solución acuosa de oleato de etilo y K₂CO₃) a la fruta, en comparación al mortiño liofilizado en el que no se aplicó ningún pre-tratamiento.

Tabla 3. 5. Análisis ANOVA para concentración de potasio en el producto deshidratado

Fuente	Suma de cuadrados	Df	Cuadrados principales	F-Radio	P-Valor
Entre grupos	107,81	2	53,91	1,15	0,425
Dentro de grupos	140,02	3	46,67		
Total (Corr.)	247,84	5			

3.1.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE VITAMINA C EN EL MORTIÑO DESHIDRATADO POR LIOFILIZACIÓN, ESTUFA Y SECADOR SOLAR HÍBRIDO

En la Tabla 3.6 se muestra el análisis de varianza de vitamina C en el mortiño deshidratado por liofilización, estufa y secador solar híbrido. Se evidencia que el

contenido de vitamina C en el mortiño deshidratado es estadísticamente diferente ($p < 0,05$) para los procesos aplicados.

Tabla 3. 6. Análisis ANOVA para concentración de vitamina C en el producto deshidratado

Fuente	Suma de cuadrados	Df	Cuadrados principales	F-Radio	P-Valor
Entre grupos	0,1036	2	0,0518	37	0,008
Dentro de grupos	0,0042	3	0,0014		
Total (Corr.)	0,1078	5			

En la Tabla 3.7 se muestran los valores medios de la concentración de vitamina C en el mortiño deshidratado por liofilización, secado en bandejas y en el secador solar híbrido como también los grupos homogéneos. Se observa que el mortiño deshidratado en la estufa es estadísticamente diferente a los frutos deshidratados en el secador solar híbrido y en el liofilizado, mientras tanto que estos últimos son iguales estadísticamente.

En la deshidratación en estufa se conservó una menor cantidad de vitamina C. La causa de este comportamiento podría deberse a que la temperatura y la presencia de oxígeno en el secador de bandejas oxida el ácido ascórbico, mientras que en la liofilización la deshidratación se realiza a bajas temperaturas y en ausencia de oxígeno (Joshi et al., 2009, p. 456; Singh y Heldman, 2001, p. 409). Sin embargo, el mortiño deshidratado en el secador solar híbrido conservó igual cantidad de vitamina C que el liofilizado.

Tabla 3. 7. Valores medios y grupos homogéneos para concentración de vitamina C en el producto deshidratado

Tipo de Deshidratador	Valor medio (mg/100 g PF)	Grupos homogéneos
SS	1,19	A
E	0,96	B
L	1,27	A

L=liofilizador, E= Estufa, SS= Secador solar híbrido, A iguales, B diferentes

3.2 EFECTO DE LA TEMPERATURA Y FLUJO DE AIRE EN EL SECADOR DE BANDEJAS EN EL PROCESO DE SECADO

Mediante el estudio del efecto de la temperatura y flujo de aire en el secador de bandejas sobre el tiempo de secado, contenido de antocianinas totales y polifenoles solubles totales, se establecieron las mejores condiciones en las que el mortiño deshidratado conservó el mayor porcentaje de retención de compuestos fenólicos en relación al mortiño liofilizado.

3.2.1 EFECTO DE LA TEMPERATURA Y FLUJO DE AIRE SOBRE EL TIEMPO DE SECADO

En la Figura 3.2 se muestran las curvas de deshidratación en base húmeda (kg H₂O/100 kg de fruta fresca) para las diferentes condiciones de temperatura y flujo de aire establecidas. Mediante estas curvas se determinaron los tiempos de secado a las diferentes condiciones establecidas en los que el producto alcanzó aproximadamente el 5 % de humedad, los que se presentan en la Tabla 3.8.

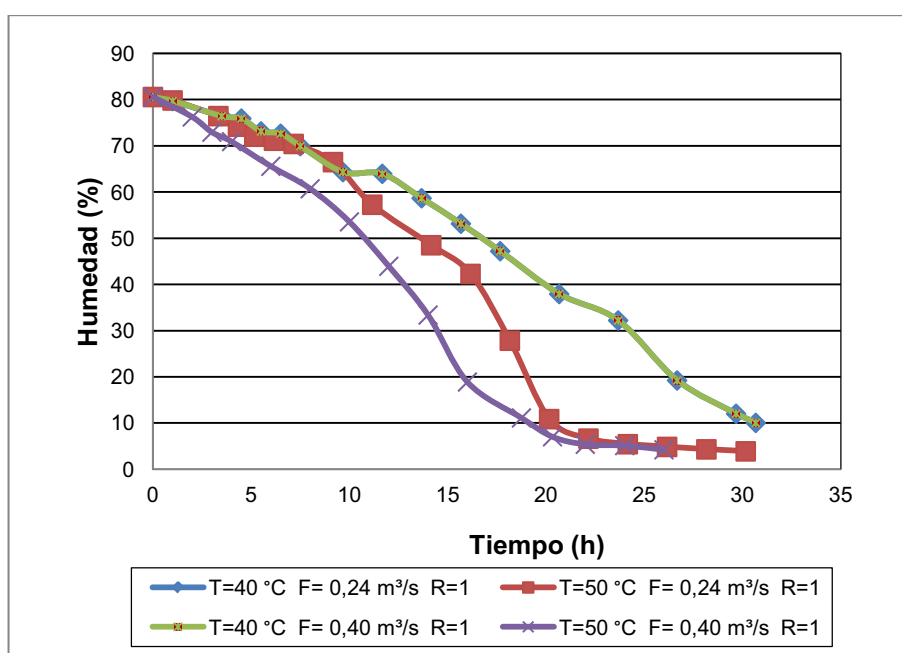


Figura 3. 2. Curvas de deshidratación en base húmeda para las diferentes condiciones de temperatura y flujo de aire R= repetición

Tabla 3. 8. Tiempos de deshidratación de mortiño a las condiciones establecidas de temperatura y flujo de aire

Temperatura (°C)	Flujo (m ³ /s)	Tiempo de secado Repetición 1 (h)	Tiempo de secado Repetición 2 (h)
40	0,24	30	30
50	0,24	24	20
40	0,40	28	31
50	0,40	24	24

En la Figura 3.3 se muestran las curvas de deshidratación en base seca (kg de H₂O/ Kg sólido seco) para las diferentes condiciones de temperatura y flujo de aire fijadas en la estufa. Se pueden observar los tres períodos de deshidratación, por ejemplo para la curva de 40 °C y 0,24 m³ de aire /s, el período de precalentamiento duró alrededor de 5 h, el período de velocidad constante aproximadamente 20 h y finalmente, el período de velocidad decreciente, 5 h.

Se conoce que el período de precalentamiento generalmente es corto con relación a todo el proceso de deshidratación (Pinho, 2006, p. 543). Sin embargo, se puede observar que este período en la deshidratación de mortiño fue prolongado, la causa podría ser que en el lavado de los frutos el agua no se eliminó totalmente dado que para este fin se utilizaron mallas porosas, mientras tanto que, a escala industrial se utilizan tamices vibratorios para eliminar el exceso de agua (Barta, 2006, p. 91).

Se puede observar también que el proceso de deshidratación de mortiño es extenso puesto que la difusión del vapor de agua se dificulta por la naturaleza de la corteza de los frutos, la cual no tienen suficientes capilares que permitan la salida del agua desde el interior hacia la superficie y por la presencia de ceras naturales. Generalmente, para deshidratar arándanos se requieren tiempos prolongados, debido a la cutícula cerosa de estos frutos, por lo que, la cera controla la velocidad de difusión de agua durante la deshidratación (Bhat et al., 2009, p. 441).

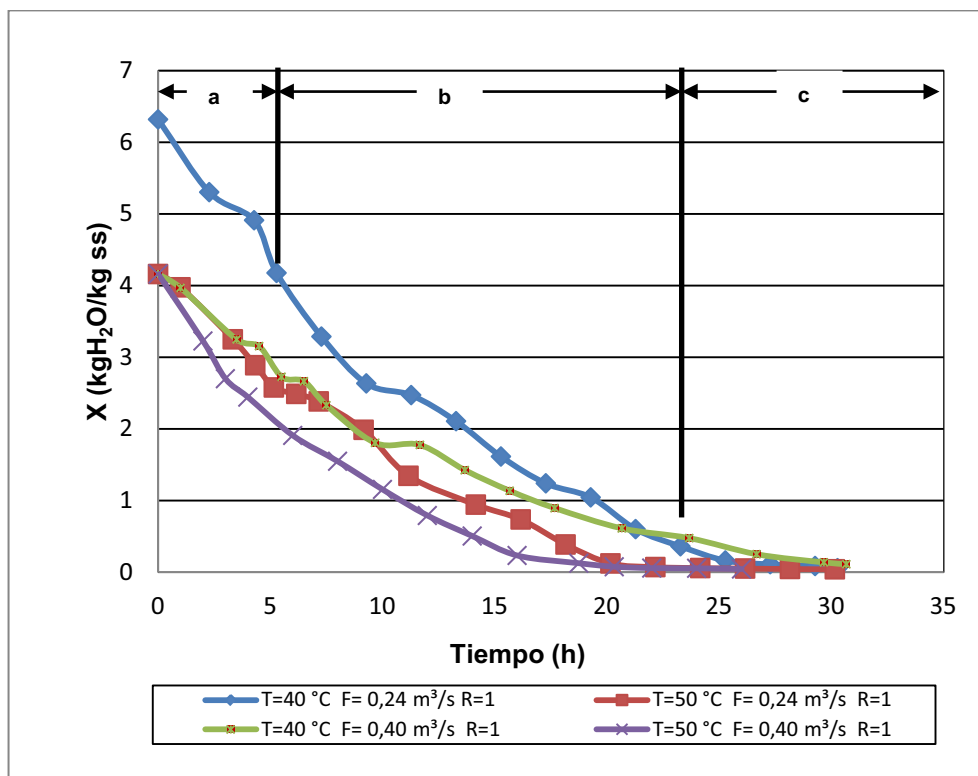


Figura 3.3. Curvas de deshidratación para las diferentes condiciones establecidas de secado en base seca

X: Humedad en base seca. Para la curva de secado $T=40\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $F=0,24\text{ m}^3/\text{s}$, período de precalentamiento (a), período de velocidad constante (b) y período de velocidad decreciente (c).

En la Figura 3.4 (a y b) se muestran las curvas de velocidad de secado. Como se puede observar no se evidencia claramente el período de velocidad constante, por lo que, no se fue posible determinar el valor real de la humedad crítica para cada condición de deshidratación.

Se observa también que las curvas de velocidad de secado de mortiño presentan diferentes velocidades decrecientes. Se podría justificar este fenómeno puesto que la cáscara de mortiño es una membrana semipermeable que no favorece la salida del agua desde el interior de la fruta (Bhat et al., 2009, p. 441). Se puede analizar que el factor limitante en la deshidratación de mortiño es la transferencia de masa ya que el agua contenida en el interior de la fruta se desplaza lentamente hacia la superficie de la misma y también, en todo el proceso el área efectiva de transferencia se reduce continuamente, esto ocasiona la disminución de la velocidad de secado (Casp y Abril, 2003, p. 337; Ibarz et al., 2000, p. 99; Bhat et al., 2009, p. 441).

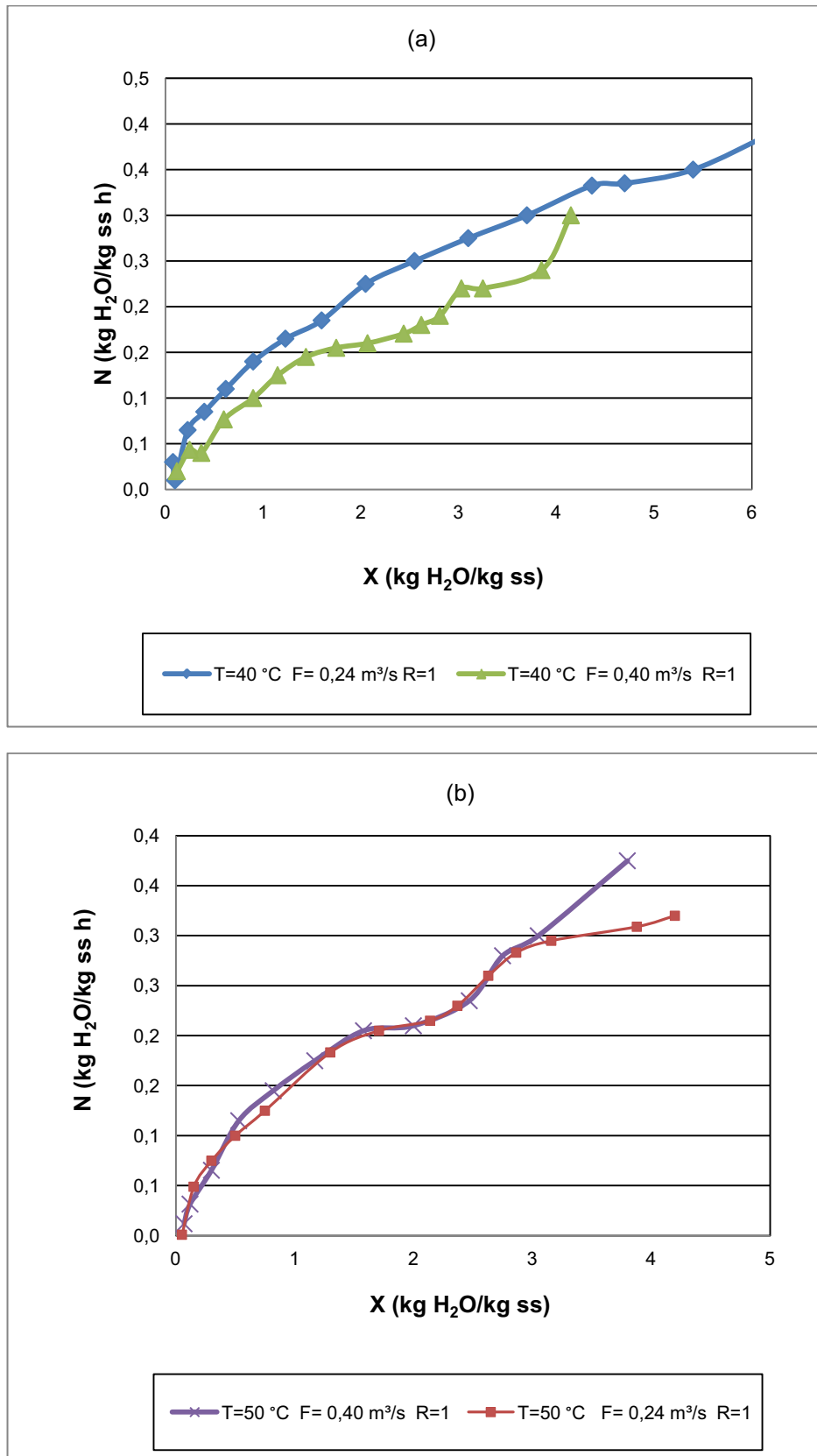


Figura 3. 4. Curvas de velocidad de secado para las diferentes condiciones de secado establecidas (a) y (b)

R: repetición

Para observar la influencia de las variables estudiadas (temperatura de secado y flujo de aire) sobre la respuesta (tiempo de secado), se realizó el análisis estadístico de los resultados según el diseño experimental planteado.

De acuerdo al ANOVA el proceso de deshidratación de los frutos de mortiño en una estufa según los parámetros de temperatura y flujo de aire fijados en una estufa, tiene influencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) sobre el tiempo de secado. En la carta de Pareto la cual se muestra en la Figura 3.5, se observa que la temperatura es la variable que tiene influencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) sobre el tiempo de secado. El flujo de aire en los niveles aplicados en el ensayo ($0,24$ y $0,40 \text{ m}^3/\text{s}$), no influye significativamente sobre el mismo.

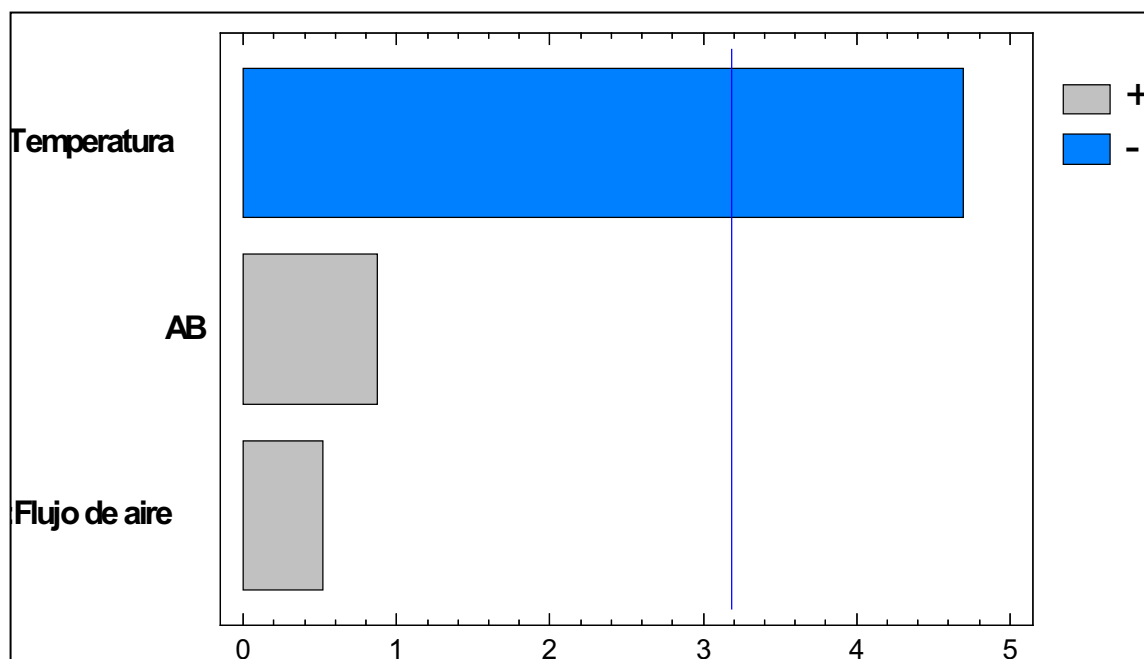


Figura 3. 5. Carta de Pareto para el estudio estandarizado del tiempo de secado

La Figura 3.6 muestra los principales efectos de la temperatura y flujo de aire sobre el tiempo de secado. Como se puede observar, existe una relación inversa entre la temperatura y el tiempo de secado. Esto significa que a menor temperatura de secado se alcanzó la humedad establecida (5 %) en mayor tiempo, puesto que la difusión de vapor de agua es directamente proporcional a la temperatura (Ibarz et al., 2000, p. 95). Se analiza que el efecto principal al aumentar la temperatura de 50 a 40 °C sobre el tiempo de secado es de 6 h.

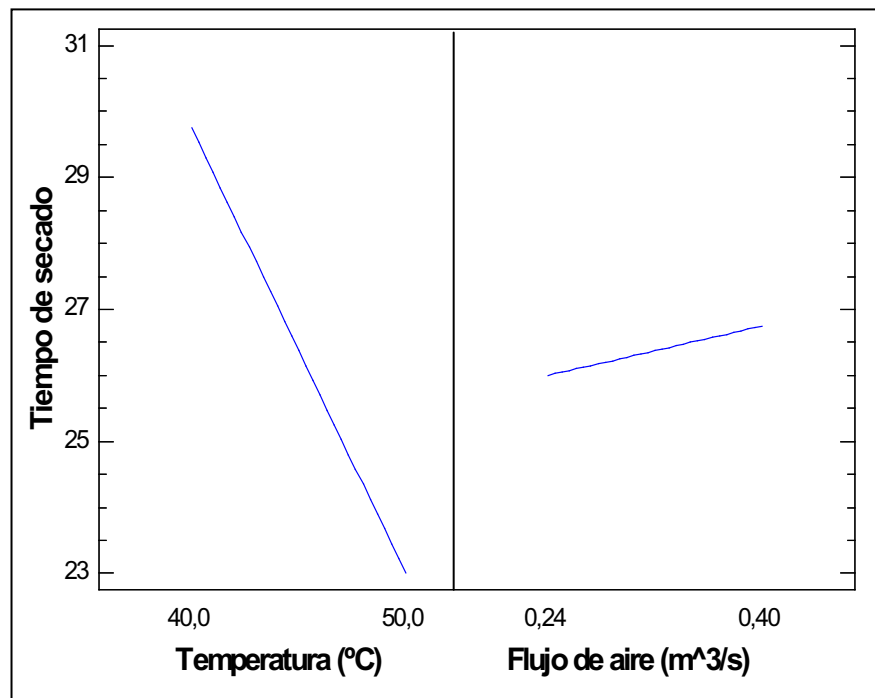


Figura 3. 6. Principales efectos de la temperatura y flujo de aire sobre el tiempo de secado

3.2.2 EFECTO DE LA TEMPERATURA Y FLUJO DE AIRE SOBRE EL PORCENTAJE DE RETENCIÓN DE ANTOCIANINAS EN EL PRODUCTO DESHIDRATADO

En la Tabla 3.9 se observa que hay mayor porcentaje de retención de antocianinas en el secado a condiciones relativamente bajas de temperatura y flujo de aire. Este comportamiento se debe a que las antocianinas se destruyen logarítmicamente con el incremento de la temperatura (Macheix et al., 1990, p. 314; Routray y Orsat, 2011, p. 306), además la presencia de oxígeno en el sistema favorece la degradación de las antocianinas debido al pardeamiento enzimático por efecto de la enzima polifenol oxidasa que tiene mayor actividad en la corteza de la frutas que en la pulpa en sí (Macheix et al., 1990, p. 295).

Se realizó el análisis estadístico del diseño experimental planteado, para observar la influencia estadística de la temperatura y flujo de aire sobre el porcentaje de retención de antocianinas. Se consideró como base para la comparación la cantidad de antocianinas en el mortuño liofilizado.

Tabla 3. 9. Contenido de antocianinas en el producto deshidratado y porcentaje de retención en relación al liofilizado

Temperatura (°C)	Flujo (m ³ /s)	Antocianinas Deshidratado Repetición 1 (mg/100 g PF)	Antocianinas Deshidratado Repetición 2 (mg/100 g PF)	Antocianinas Liofilizado Repetición 1 (mg/100 g PF)	Antocianinas Liofilizado Repetición 2 (mg/100 g PF)	Retención Repetición 1 (%)	Retención Repetición 2 (%)
40	0,24	150,4	102,6	277,8	226,1	54,2	45,4
50	0,24	112,5	114,6	287,4	287,4	39,1	39,9
40	0,40	106,4	97,1	307,7	277,8	34,6	35,0
50	0,40	98,2	105,3	287,4	287,4	34,2	36,6

PF= peso fresco

De acuerdo al ANOVA el proceso de deshidratación de los frutos de mortiño de acuerdo a las condiciones de temperatura y flujo de aire fijados en la estufa, tiene influencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) sobre el contenido de antocianinas.

En la Figura 3.7 se presenta la carta de Pareto correspondiente a este análisis, en la misma se visualiza que la variable flujo de aire tiene una influencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) sobre el término de respuesta.

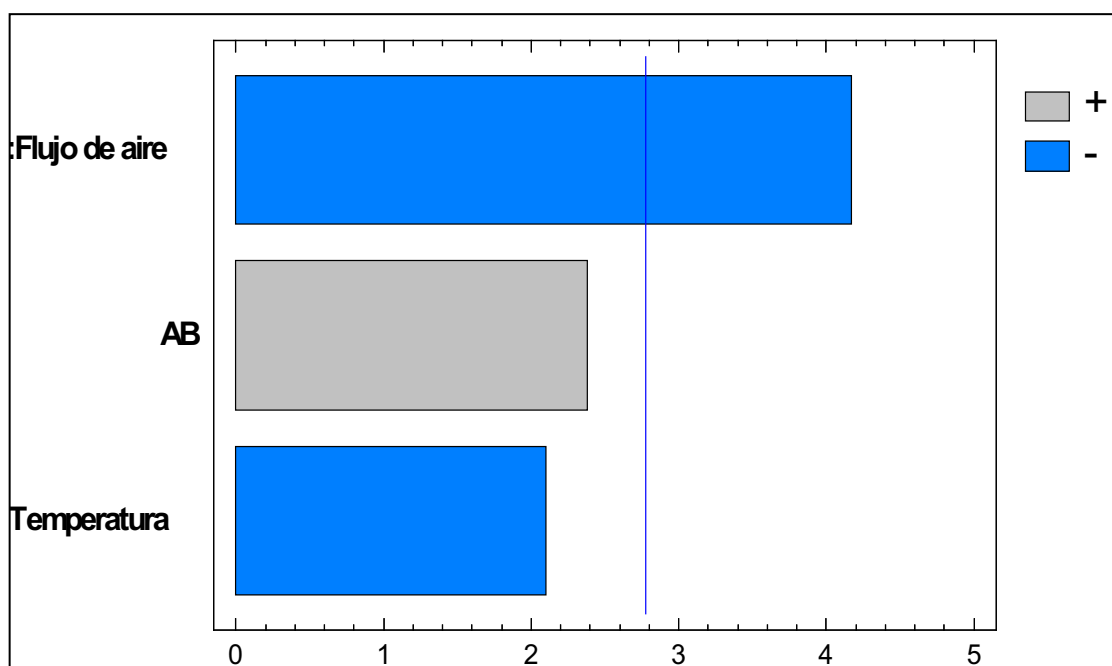


Figura 3.7. Carta de Pareto para el estudio estandarizado del porcentaje de retención de antocianinas

En la Figura 3.8 se presentan los efectos principales de la temperatura y flujo de aire sobre el porcentaje de retención de antocianinas en el mortiño deshidratado. Como se puede observar, existe una relación inversa entre el porcentaje de retención de antocianinas y el flujo de aire, de tal manera que, a menor temperatura y flujo de aire se tiene mayor porcentaje de retención de antocianinas.

Se evidencia también que, el principal efecto que se presenta al aumentar el flujo de aire de 0,24 a 0,40 m^3/s , es la disminución de un 9,5 % en la variable de respuesta es decir el porcentaje de retención de antocianinas.

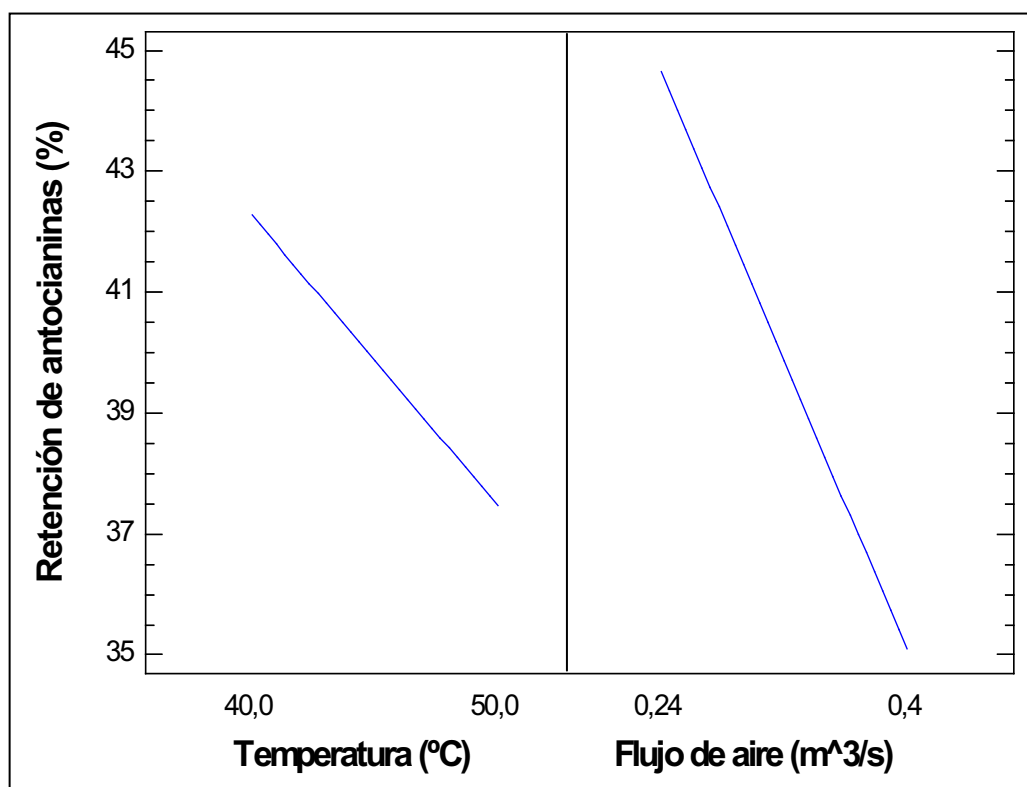


Figura 3. 8. Principales efectos de la temperatura y flujo de aire sobre el porcentaje de retención de antocianinas

3.2.3 EFECTO DE LA TEMPERATURA Y FLUJO DE AIRE SOBRE EL CONTENIDO DE POLIFENOLES SOLUBLES

En la Tabla 3.10 se presentan los porcentajes de retención de polifenoles solubles en el mortíño deshidratado. Se observa que este porcentaje es igual en todas las condiciones aplicadas en el proceso de secado.

Además, se analiza que estos valores son relativamente altos (cercaos al 100 %). Podría deberse a que en comparación a las antocianinas, los polifenoles son compuestos cuya estructura es más resistente a la temperatura y al oxígeno (Joshi et al., 2009, p. 456)

Para poder visualizar de mejor manera la influencia de las variables estudiadas (temperatura y flujo de aire) sobre la respuesta (contenido de polifenoles solubles) se realizó el análisis estadístico de los resultados según el diseño experimental planteado.

Tabla 3. 10. Contenido de Polifenoles en el producto deshidratado, porcentaje de retención en relación al liofilizado y tiempo de secado

Temperatura (°C)	Flujo (m ³ /s)	Polifenoles Deshidratado Repetición 1 (mg/100 g PF)	Polifenoles Deshidratado Repetición 2 (mg/100 g PF)	Polifenoles Liofilizado Repetición 1 (mg/100 g PF)	Polifenoles Liofilizado Repetición 2 (mg/100 g PF)	Retención Repetición 1 (%)	Retención Repetición 2 (%)
40	0,24	534,7	573,9	546,6	587,2	97,8	97,7
50	0,24	684,8	683,5	727,9	727,9	94,1	93,9
40	0,40	770,0	624,2	771,1	771,1	99,9	80,9
50	0,40	670,8	713,3	727,9	727,9	92,2	98,0

PF= peso fresco

En la Tabla 3.11 se presenta el análisis ANOVA para el porcentaje de retención de polifenoles solubles en el mortíño deshidratado en estufa. Como se puede observar, el flujo de aire, la temperatura y la interacción entre estas dos variables (AB), no tienen influencia estadísticamente significativa ($p > 0,05$) sobre el porcentaje de retención de polifenoles solubles.

Tabla 3. 11. Análisis ANOVA para el porcentaje de retención de polifenoles solubles en el mortíño deshidratado en estufa

Fuente	Suma de cuadrados	Df	Cuadrados principales	F-Radio	P-Valor
A:Temperatura	0,391	1	0,391	0,010	0,933
B:Flujo de aire	19,750	1	19,750	0,400	0,559
AB	35,828	1	35,828	0,730	0,440
Total error	195,866	4	48,966		
Total (corr.)	251,837	7			

Las mejores condiciones de temperatura y flujo de aire según el análisis estadístico se presentan en la Tabla 3.12. Se eligieron estadísticamente las condiciones de secado de 40 °C y flujo de aire de 0,24 m³/s en el secador de bandejas.

Estas condiciones son las mejores dado que permitieron obtener mortíño deshidratado en estufa con la mayor concentración de compuestos fenólicos con relación a los frutos liofilizados. El tiempo de secado se logró disminuir con los tratamientos posteriores, porque el objetivo principal del estudio fue obtener mayor porcentaje de retención de antocianinas y polifenoles solubles.

Tabla 3. 12. Mejores condiciones de temperatura y flujo de aire para la deshidratación de mortíño sin pre-tratamientos

Factor	Valor bajo	Valor alto	Mejores condiciones
Temperatura (°C)	40	50	40
Flujo de aire (m ³ /s)	0,24	0,40	0,24

3.3 EFECTO DEL PRE-TRATAMIENTO DEL BAÑO DE INMERSIÓN SOBRE EL PROCESO DE SECADO

Una vez establecidas las mejores condiciones de temperatura y flujo de aire en la estufa, se aplicó el pre-tratamiento del baño de inmersión (solución acuosa de carbonato de potasio y oleato de etilo), para determinar su efecto sobre el tiempo de secado y contenido de compuestos fenólicos en el mortuño deshidratado.

3.3.1 EFECTO DEL PRE-TRATAMIENTO DEL BAÑO DE INMERSIÓN SOBRE EL TIEMPO DE SECADO

En la Figura 3.9 (a y b) se muestran las curvas de deshidratación en base húmeda (kg de H₂O/100 kg de fruta fresca) para las diferentes concentraciones del baño de inmersión, según el diseño experimental planteado. De estas figuras se establecieron los tiempos de secado en el que el producto alcance aproximadamente el 6 % de humedad, estos valores se indican en la Tabla 3.13.

Tabla 3. 13. Tiempo de secado del mortuño para diferentes concentraciones del baño y tiempo de inmersión

Valor codificado	% K ₂ CO ₃ (P/P) -% oleato de etilo (V/V)	Tiempo de inmersión (min)	Tiempo de secado (h)
(1;1)	2,22-1,78	4,56	16
(1;-1)	2,22-1,78	2,44	16
(-1;-1)	0,88-0,72	2,44	18
(-1;1)	0,88-0,72	4,56	18
(0;0) ₁	1,55-1,25	3,50	17
(0;0) ₂	1,55-1,25	3,50	18
(0;0) ₃	1,55-1,25	3,50	19
(0;1,414)	1,55-1,25	5,00	16
(1,414;0)	2,50-2,00	3,50	13
(0;-1,414)	1,55-1,25	2,00	16
(-1,414;0)	0,60-0,50	3,50	17

1, 2 y 3 repeticiones del punto (0;0)

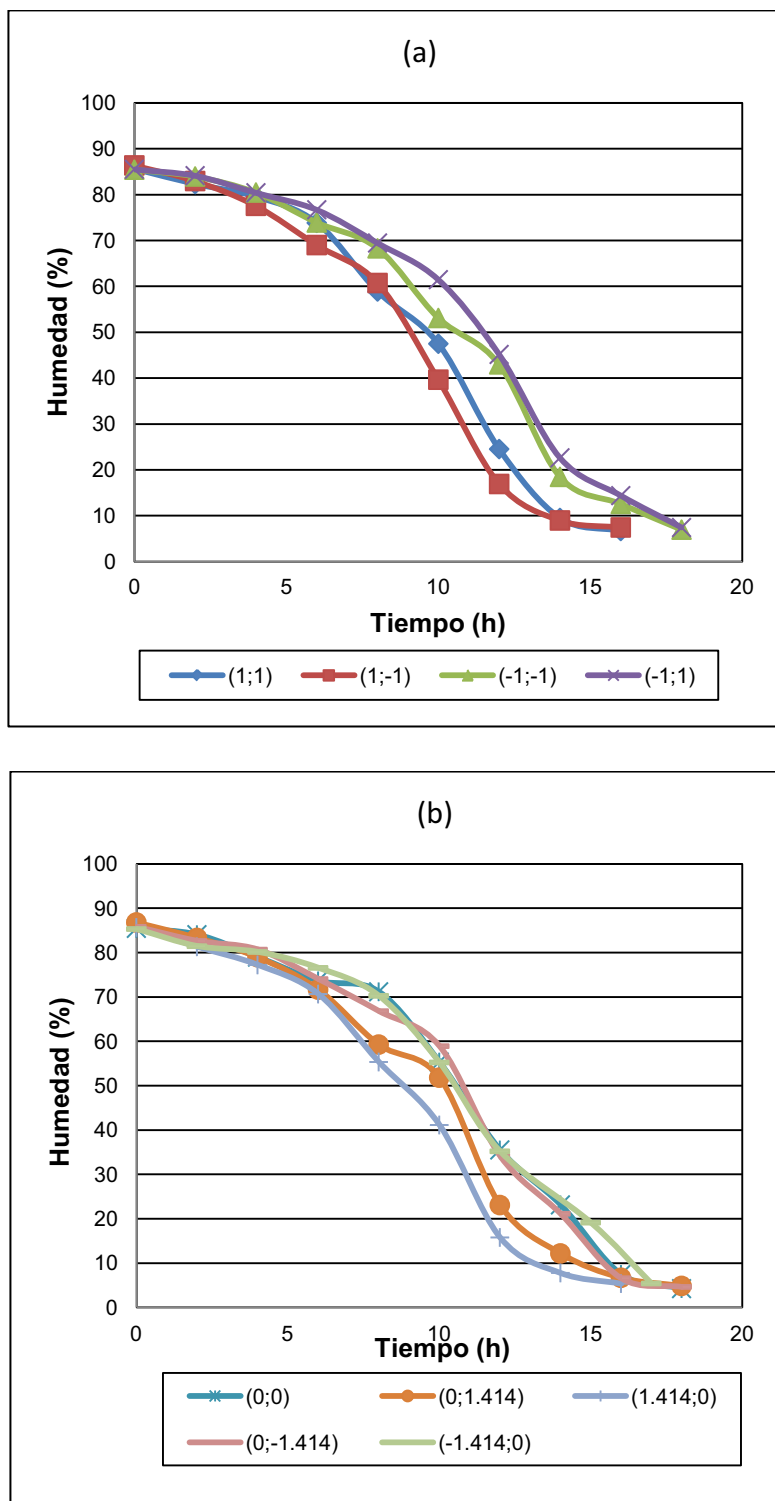


Figura 3. 9. Curvas de deshidratación de mortño a las diferentes condiciones de concentración de baño y tiempo de inmersión (a) y (b)

(1;1): 2,22 % de K_2CO_3 -1,78 % de OE; 4,56 min de inmersión, (1;-1): 2,22 % de K_2CO_3 -1,78 % de OE; 2,44 min de inmersión, (-1;-1): 0,88 % de K_2CO_3 -0,72 % de OE; 2,44 min de inmersión, (-1;1): 0,88 % de K_2CO_3 -0,72 % de OE; 4,56 min de inmersión, (0;0): 1,55 % de K_2CO_3 -1,25 % de OE; 3,50 min de inmersión, (0;1,414): 1,55 % de K_2CO_3 -1,25 % de OE; 5 min de inmersión, (1,414; 0): 2,50 % de K_2CO_3 -2,00 % de OE; 3,5 min de inmersión, (0;-1,414): 1,55 % de K_2CO_3 -1,25 % de OE; 2 min de inmersión, (-1,414; 0): 0,60 % de K_2CO_3 -0,50 % de OE; 3,5 min de inmersión. OE= Oleato de etilo

Las Figuras 3.10 y 3.11 muestran las curvas de secado en base seca (kg H₂O/ kg de sólido seco). Se pueden observar los tres períodos de deshidratación; por ejemplo, para la curva (-1;1) que corresponde a las condiciones de concentración del baño de inmersión de 0,88 % de K₂CO₃-0,72 % de oleato de etilo y 4,56 min de exposición al mismo, el período de precalentamiento duró alrededor de 2 h, el período de velocidad constante aproximadamente 12 h y el período de velocidad decreciente 4 h.

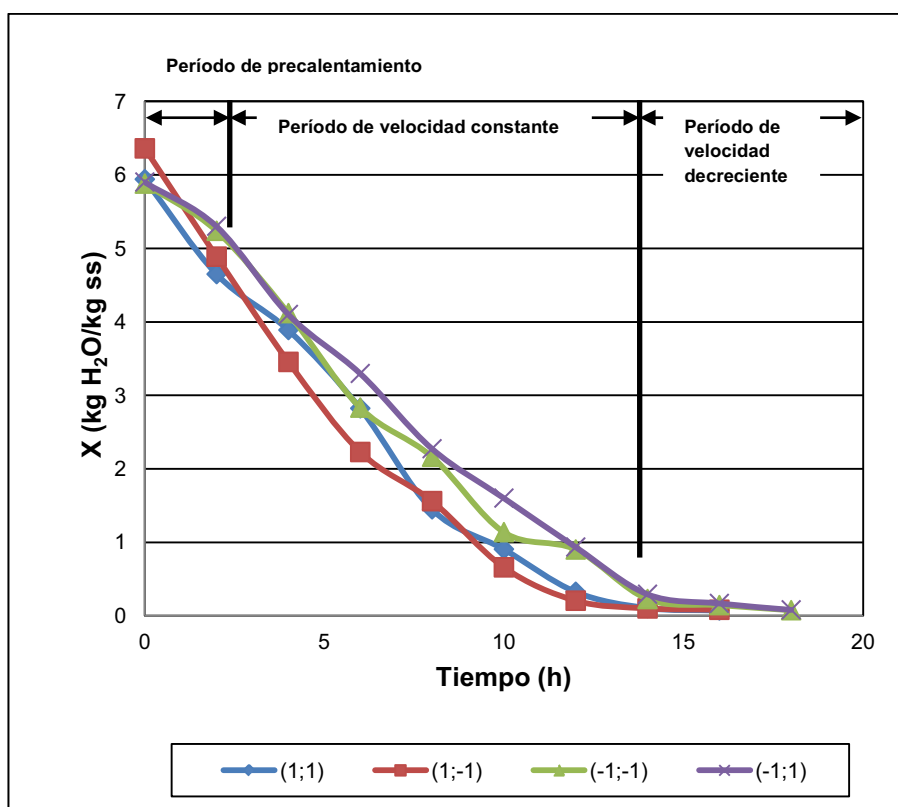


Figura 3. 10. Curvas de deshidratación para las diferentes condiciones establecidas de secado

(1;1): 2,22 % de K₂CO₃-1,78 % de OE; 4,56 min de inmersión, (1;-1): 2,22 % de K₂CO₃-1,78 % de OE; 2,44 min de inmersión, (-1;-1): 0,88 % de K₂CO₃-0,72 % de OE; 2,44 min de inmersión, (-1;1): 0,88 % de K₂CO₃-0,72 % de OE; 4,56 min de inmersión. OE= Oleato de etilo

Se evidencia que el tiempo en el que se llega a la humedad establecida (5 a 6 %) es alrededor del 50 % menos que la deshidratación de mortíño sin el pretratamiento de baño de inmersión. Este resultado demuestra el efecto positivo del baño acuoso de carbonato de potasio y oleato de etilo sobre el tiempo de secado. Esto se debe a que cada componente del baño tiene su propia función, el éster cambia la estructura de la cera presente en la corteza de las frutas y reduce su

tensión superficial y la sal permite la formación de una emulsión estable mediante el incremento del pH (Christensen y Peacock, 2000, p. 213). Al retirar la cera presente en la cáscara de los frutos de mortiño (Bhat et al., 2009, p. 441), se facilita la salida del vapor de agua desde el interior de la fruta hacia la superficie ya que se incrementa la capilaridad y consecuentemente aumenta la velocidad de secado (Casp y Abril, 2003, p. 335).

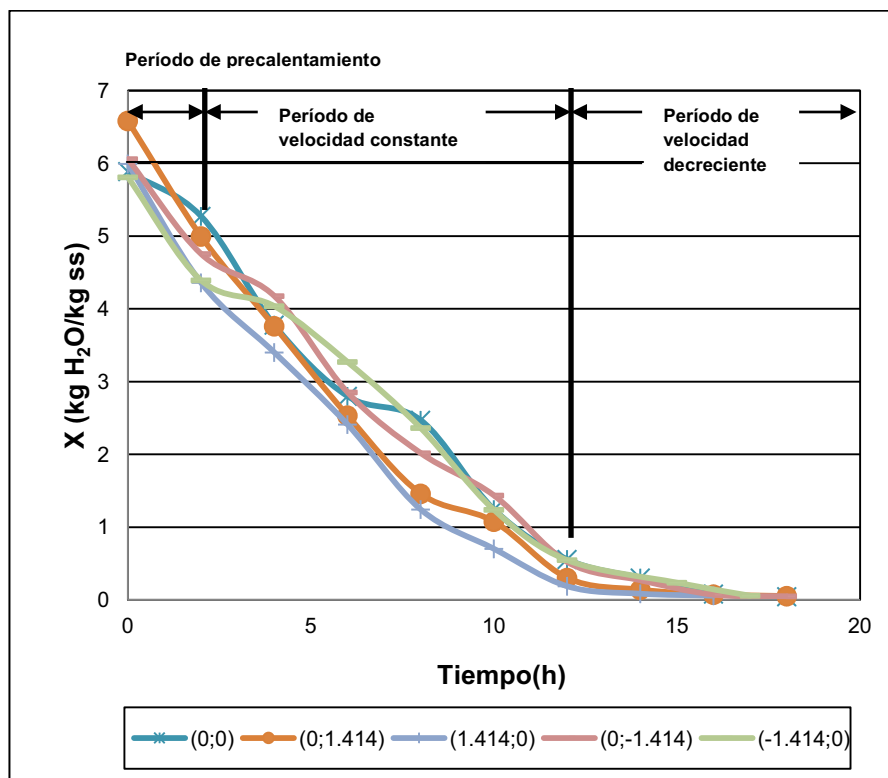


Figura 3. 11. Curvas de deshidratación para las diferentes condiciones establecidas de secado

(0;0): 1,55 % de K_2CO_3 -1,25 % de OE; 3,50 min de inmersión, (0;1,414): 1,55 % de K_2CO_3 -1,25 % de OE; 5 min de inmersión, (1,414; 0): 2,50 % de K_2CO_3 -2,00 % de OE; 3,5 min de inmersión, (0;-1,414): 1,55 % de K_2CO_3 -1,25 % de OE; 2 min de inmersión, (-1,414; 0): 0,60 % de K_2CO_3 -0,50 % de OE; 3,5 min de inmersión. OE= Oleato de etilo

Las curvas de velocidad de secado para las diferentes condiciones experimentales establecidas en el diseño experimental, se presentan en las Figuras 3.12 (a, b), 3.13 (a, b) y 3.14. Como se puede observar la humedad crítica cambia de acuerdo a la concentración de oleato de etilo y carbonato de potasio en el baño de inmersión. Puesto que no se determinaron con exactitud los valores de humedad crítica, para el análisis estadístico se consideró el tiempo de secado.

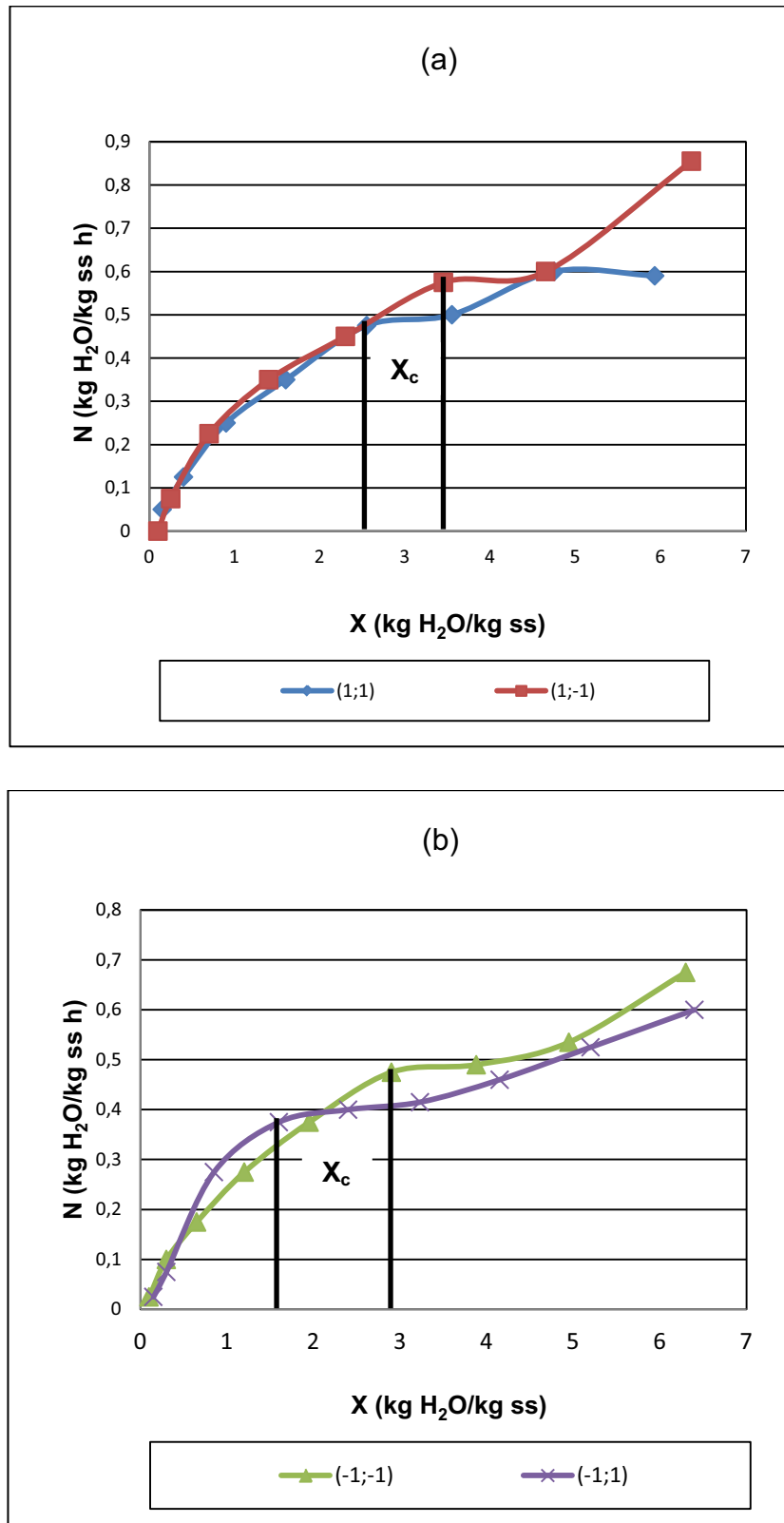


Figura 3. 12. Curvas de velocidad de secado para las diferentes condiciones experimentales establecidas (a), (b)
 (1;1): 2,22 % de K₂CO₃-1,78 % de OE; 4,56 min de inmersión, (1;-1): 2,22 % de K₂CO₃-1,78 % de OE; 2,44 min de inmersión, (-1;-1): 0,88 % de K₂CO₃-0,72 % de OE; 2,44 min de inmersión, (-1;1): 0,88 % de K₂CO₃-0,72 % de OE; 4,56 min de inmersión. OE= Oleato de etilo . X_c (humedad crítica)

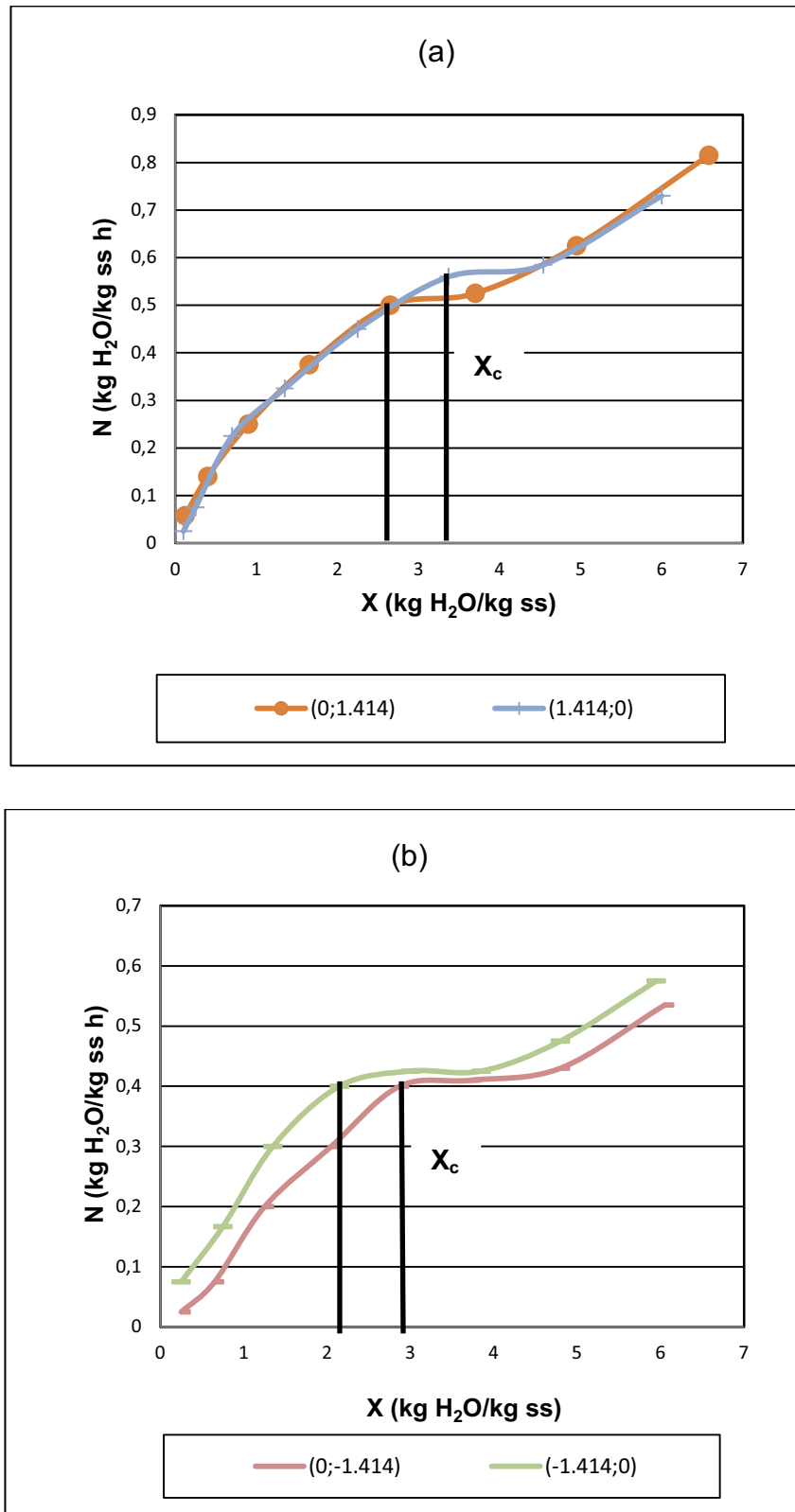


Figura 3. 13. Curvas de velocidad de secado para las diferentes condiciones experimentales establecidas (a), (b)

(0;1,414): 1,55 % de K₂CO₃-1,25 % de OE; 5 min de inmersión, (1,414; 0): 2,50 % de K₂CO₃-2,00 % de OE; 3,5 min de inmersión, (0;-1,414): 1,55 % de K₂CO₃-1,25 % de OE; 2 min de inmersión, (-1,414; 0): 0,60 % de K₂CO₃-0,50 % de OE; 3,5 min de inmersión. OE= Oleato de etilo. X_c (humedad crítica)

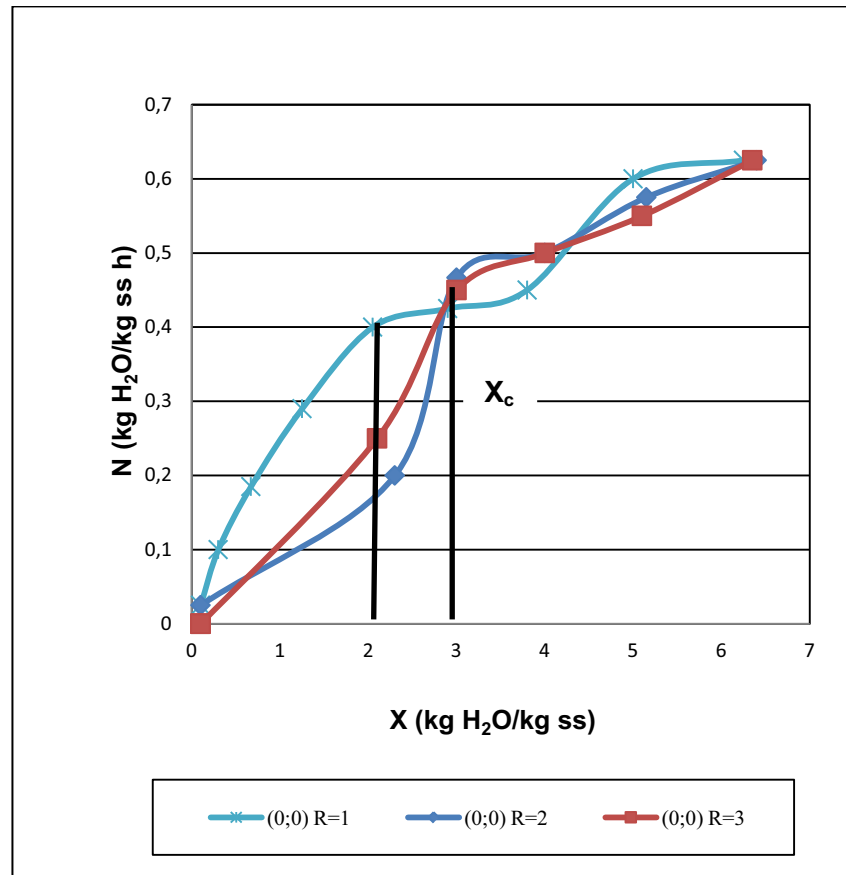


Figura 3. 14. Curvas de velocidad de secado para las diferentes condiciones experimentales establecidas
 (0;0): 1,55 % de K₂CO₃-1,25 % de OE; 3,50 min de inmersión, OE= Oleato de etilo, X_c (humedad crítica)
 R: repetición

Para determinar estadísticamente la influencia de las variables estudiadas (concentración del baño y tiempo de inmersión) sobre la respuesta (tiempo de secado), se realizó un análisis estadístico según el diseño experimental planteado.

De acuerdo al ANOVA el pre-tratamiento para la deshidratación de mortiño a las diferentes condiciones de concentración del baño de pre-tratamiento y tiempo de inmersión en el mismo, tiene influencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) sobre el tiempo de secado de los frutos de mortiño.

En la carta de Pareto que se presenta en la Figura 3.15 se observa que la concentración del baño es la variable que tiene influencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) sobre el tiempo de secado.

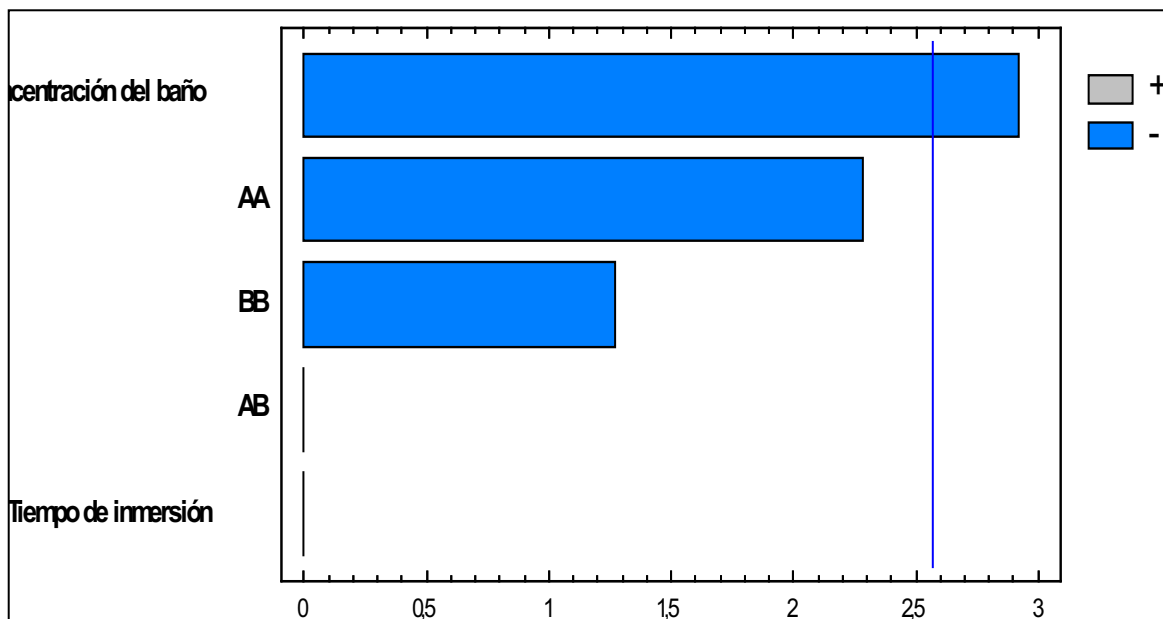


Figura 3. 15. Carta de Pareto para el estudio estandarizado de la concentración del baño y tiempo de inmersión sobre el tiempo de secado

En la superficie de respuesta que se muestra en la Figura 3.16 se evidencia una zona de máximo tiempo de secado. Dentro de la misma se encuentra el punto de coordenada (0;0) que corresponde a las condiciones de concentración del baño de 1,55 % de K_2CO_3 –1,25 % de oleato de etilo y 3,5 min de inmersión. Se analiza también que los menores tiempos de secado se tienen en las codificaciones cercanas al punto (1;1) que corresponde a las condiciones de concentración del baño de 2,22 % de K_2CO_3 –1,78 % de oleato de etilo y 4,56 min de inmersión.

La Figura 3.16 se puede proyectar en el plano xy con el objetivo de visualizar las regiones de menor y mayor tiempo de secado, de tal manera que se obtiene la gráfica de contornos para el análisis estadístico de la influencia de la concentración del baño y tiempo de inmersión sobre el tiempo de secado que se presenta en la Figura 3.17. Como se puede observar, los tiempos mínimos de secado se ubican en la región de la coordenada (1;1). Mientras que los máximos tiempos de secado se presentan en la región de coordenadas -0,85 (0,98 % de K_2CO_3 –1,70 % de oleato de etilo) y 0,2 (2,09 % de K_2CO_3 –1,67 % de oleato de etilo) para la concentración del baño de inmersión y entre los puntos de coordenadas 0,45 (3,9 min) y -0,4 (3,1 min) para el tiempo de inmersión.

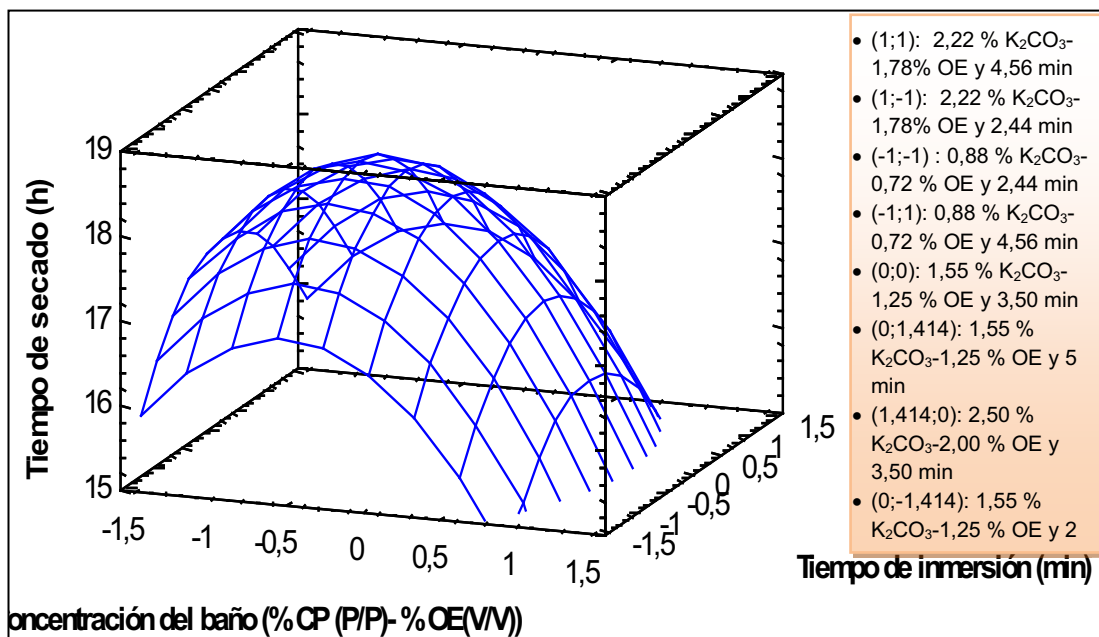


Figura 3. 16. Superficie de respuesta estimada para el estudio de la influencia de la concentración del baño y tiempo de inmersión sobre el tiempo de secado
 CP= Carbonato de potasio; OE= Oleato de etilo

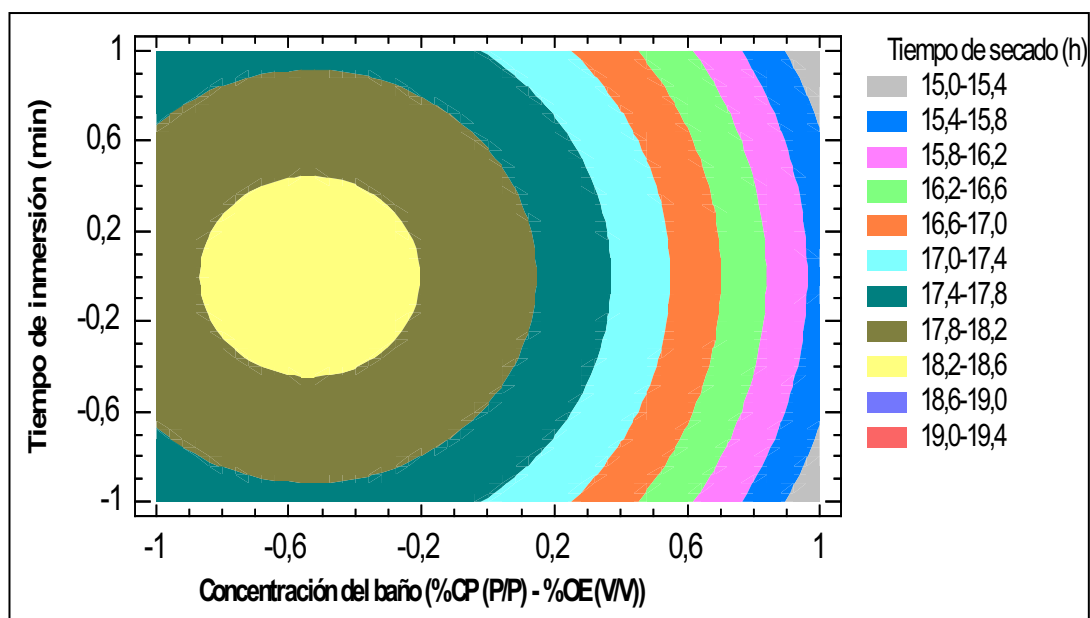


Figura 3. 17. Gráfico de contornos para la concentración del baño y tiempo de inmersión sobre el tiempo de secado

(1;1): 2,22 % de K_2CO_3 -1,78 % de OE; 4,56 min de inmersión, (1;-1): 2,22 % de K_2CO_3 -1,78 % de OE; 2,44 min de inmersión, (-1;-1): 0,88 % de K_2CO_3 -0,72 % de OE; 2,44 min de inmersión, (-1;1): 0,88 % de K_2CO_3 -0,72 % de OE; 4,56 min de inmersión, (0;0): 1,55 % de K_2CO_3 -1,25 % de OE; 3,50 min de inmersión, (0;1,414): 1,55 % de K_2CO_3 -1,25 % de OE; 5 min de inmersión, (1,414; 0): 2,50 % de K_2CO_3 -2,00 % de OE; 3,5 min de inmersión, (0;-1,414): 1,55 % de K_2CO_3 -1,25 % de OE; 2 min de inmersión, (-1,414; 0): 0,60 % de K_2CO_3 -0,50 % de OE; 3,5 min de inmersión. OE= Oleato de etilo; CP= Carbonato de Potasio

3.3.2 EFECTO DEL PRE-TRATAMIENTO DEL BAÑO DE INMERSIÓN SOBRE EL PORCENTAJE DE RETENCIÓN DE ANTOCIANINAS EN EL PRODUCTO LIOFILIZADO CON EL PRE-TRATAMIENTO

Los porcentajes de retención de antocianinas en la fruta liofilizada con el pre-tratamiento (solución de oleato de etilo-carbonato de potasio), se presentan en la Tabla 3.14. Se observan porcentajes menores al 100 % en la mayoría de las condiciones aplicadas. Esto se debe a que las antocianinas son más estables en medio ácido ($\text{pH} < 3$) que en medio neutro o alcalino, debido al cambio de estructuras en el equilibrio lo que depende del pH del medio (Pascual y Sánchez, 2008, p. 282; Pascual y Sánchez, 2008, p. 282; Torskangerpoll y Andersen, 2005, p. 428; Wrolstad, 2004, p. 420). El baño de pre-tratamiento tiene pH básico debido a la sal de potasio utilizada.

Tabla 3. 14. Contenido de antocianinas en el mortiño liofilizado con el pre-tratamiento de baño de inmersión

Valor codificado	Antocianinas mortiño liofilizado con tratamiento ($\text{mg}/100 \text{ g PF}^1$)	Retención de antocianinas mortiño liofilizado con tratamiento (%) ²
(1;1)	161,9	63,0
(1;-1)	158,4	61,6
(-1;-1)	124,6	48,4
(-1;1)	129,1	50,2
(0;0) ₁	256,2	99,2
(0;0) ₂	221,7	85,8
(0;0) ₃	223,0	86,3
(0;1,414)	115,0	44,7
(1,414;0)	140,8	54,8
(0;-1,414)	230,6	89,7
(-1,414;0)	124,8	48,5

PF¹ = peso fresco; (%)² = relación entre los mg de antocianinas en el mortiño liofilizado con pre-tratamiento y los mg de antocianinas en el mortiño liofilizado sin pre-tratamiento. Antocianinas en el mortiño liofilizado sin pre-tratamiento para los puntos (0;0) = 258 mg/100 g PF; Antocianinas en el mortiño liofilizado sin pre-tratamiento para los puntos restantes = 257,1 mg/100 g PF; 1, 2, 3 repeticiones.

Se realizó el análisis estadístico para analizar la influencia del pre-tratamiento en la estabilidad de las antocianinas del mortiño liofilizado.

De acuerdo al ANOVA el pre-tratamiento para la liofilización de mortiño a las diferentes condiciones de concentración del baño de pre-tratamiento y tiempo de inmersión en el mismo, tiene influencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) sobre el contenido de antocianinas en los frutos de mortiño liofilizados. En la Figura 3.18 se presenta la carta de Pareto correspondiente al análisis estadístico. Se observa que el término cuadrático de la concentración del baño de inmersión influye estadísticamente ($p < 0,05$) sobre el porcentaje de retención de antocianinas en el mortiño liofilizado con el pre-tratamiento. Se puede afirmar entonces que si las concentraciones del baño de inmersión utilizadas en este estudio se duplicaran, se tendría el doble de pérdida de antocianinas en el mortiño deshidratado.

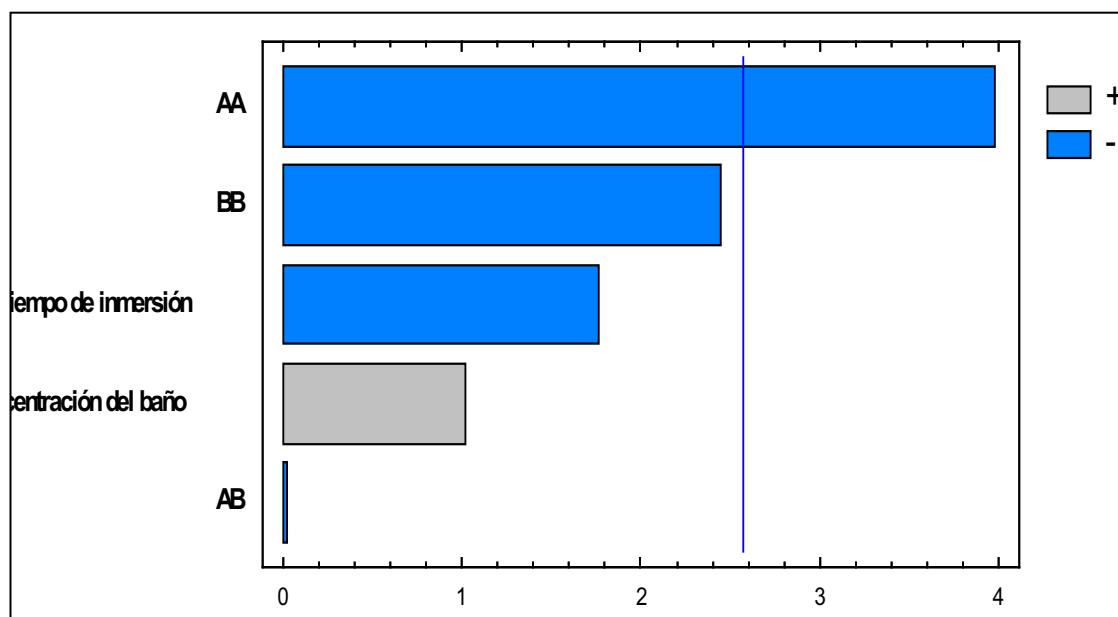


Figura 3. 18. Carta de Pareto para el estudio estandarizado de la concentración del baño y tiempo de inmersión sobre el porcentaje de retención de antocianinas

La superficie de respuesta estimada para el estudio de la influencia de la concentración del baño y tiempo de inmersión sobre el porcentaje de retención de antocianinas en el mortiño liofilizado se presenta en la Figura 3.19. Se puede observar una zona de máximo porcentaje de retención, en la cual se encuentra el

punto de coordenadas (0;0) que corresponde a las condiciones de concentración del baño de 1,55 % de K_2CO_3 –1,25 % de oleato de etilo y 3,5 min de inmersión, el mismo que es el punto central del diseño experimental planteado (modelo factorial 2^2 con puntos axiales).

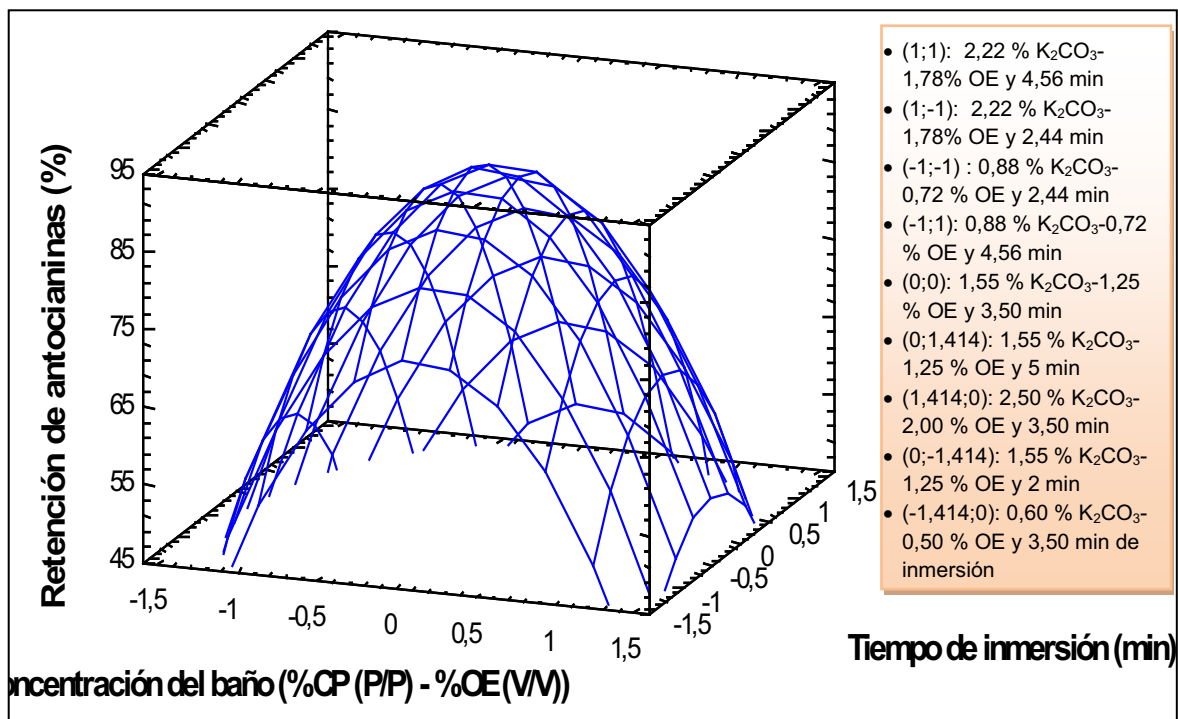


Figura 3. 19. Superficie de respuesta estimada para el estudio de la influencia de la concentración del baño y tiempo de inmersión sobre el porcentaje de retención de antocianinas

CP= Carbonato de potasio; OE= Oleato de etilo

Para visualizar las regiones de menor y mayor porcentaje de retención de antocianinas en el mortuño liofilizado, se presenta la gráfica de contornos en la Figura 3.20. Se evidencia que el máximo porcentaje de retención de antocianinas se ubica en la región correspondiente entre las coordenadas -0,2 (2,09 % de K_2CO_3 –1,67 % de oleato de etilo) y 0,4 (1,82 % de K_2CO_3 –1,46 % de oleato de etilo) para la concentración del baño, para el tiempo de secado entre las coordenadas -0,7 (4,3 min) y 0,1 (3,6 min).

Los mínimos porcentajes de retención de antocianinas se localizan en la región de coordenadas (-1;1) que corresponde a las condiciones de concentración del baño de 0,88 % de K_2CO_3 –0,72 % de oleato de etilo y 4,6 min de inmersión, también en

la región de coordenadas (1;1) que corresponde a las condiciones de concentración del baño de 2,22 % de K_2CO_3 -1,78 % de oleato de etilo y 4,6 min de inmersión.

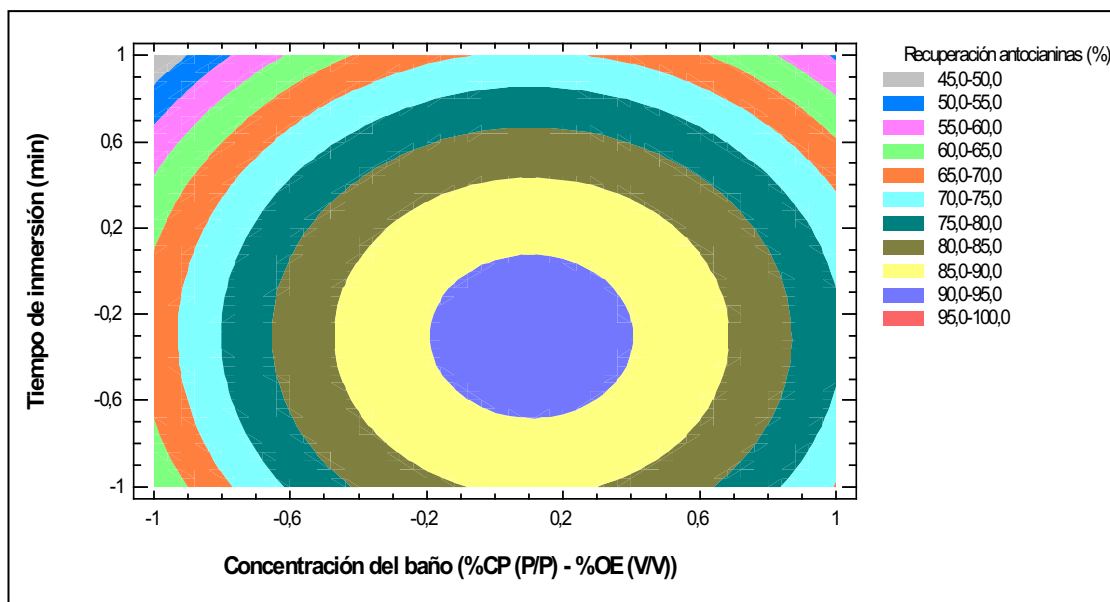


Figura 3. 20. Gráfico de contornos para la concentración del baño y tiempo de inmersión sobre el porcentaje de retención de antocianinas en el mortño liofilizado con el pre-tratamiento

(1;1): 2,22 % de K_2CO_3 -1,78 % de OE; 4,56 min de inmersión, (1;-1): 2,22 % de K_2CO_3 -1,78 % de OE; 2,44 min de inmersión, (-1;-1): 0,88 % de K_2CO_3 -0,72 % de OE; 2,44 min de inmersión, (-1;1): 0,88 % de K_2CO_3 -0,72 % de OE; 4,56 min de inmersión, (0;0): 1,55 % de K_2CO_3 -1,25 % de OE; 3,50 min de inmersión, (0;1,414): 1,55 % de K_2CO_3 -1,25 % de OE; 5 min de inmersión, (1,414; 0): 2,50 % de K_2CO_3 -2,00 % de OE; 3,5 min de inmersión, (0;-1,414): 1,55 % de K_2CO_3 -1,25 % de OE; 2 min de inmersión, (-1,414; 0): 0,60 % de K_2CO_3 -0,50 % de OE; 3,5 min de inmersión. OE= Oleato de etilo; CP= Carbonato de Potasio

En la Tabla 3.15 se muestran los valores codificados para la concentración del baño y tiempo de inmersión, correspondientes a las mejores condiciones estadísticas. En las cuales el mortño deshidratado por liofilización con el pre-tratamiento conservó el mayor porcentaje de retención de antocianinas.

Tabla 3. 15. Valores codificados de las mejores condiciones de la concentración del baño y tiempo de inmersión

Factor	Valor bajo	Valor alto	Mejor punto de coordenada	Mejor valor de la variable
Concentración del baño % (P/P) de K_2CO_3 - % de OE (V/V)	-1,414	1,414	0,108	1,62 – 1,31
Tiempo de inmersión (min)	-1,414	1,414	-0,303	3,17

Se observa que alrededor de las condiciones aplicadas correspondientes al valor codificado (0;0), se presenta el mayor porcentaje de retención de antocianinas en la fruta liofilizada. Es decir, a la concentración del baño de 1,55 % K_2CO_3 (P/P) – 1,25 % de oleato de etilo (V/V) y tiempo de inmersión de 3,5 minutos.

3.3.3 EFECTO DEL PRE-TRATAMIENTO DEL BAÑO DE INMERSIÓN SOBRE EL PORCENTAJE DE RETENCIÓN DE ANTOCIANINAS EN EL PRODUCTO DESHIDRATADO EN ESTUFA

Los resultados del porcentaje de retención de antocianinas en el producto se presentan en la Tabla 3.16. Estos porcentajes de retención son alrededor del 50 % para todas las condiciones experimentales de concentración del baño y tiempo de inmersión.

Tabla 3. 16. Contenido de antocianinas en el mortño deshidratado en estufa para cada concentración del baño y tiempo de inmersión en el mismo

Valor codificado	Antocianinas mortño deshidratado (mg/100 g PF ¹)	Retención de Antocianinas mortño deshidratado (%) ²
(1;1)	134,1	52,2
(1;-1)	136,0	52,9
(-1;-1)	114,2	44,4
(-1;1)	133,2	51,8
(0;0) ₁	131,6	50,9
(0;0) ₂	120,6	46,7
(0;0) ₃	118,9	46,0
(0;1,414)	101,0	39,3
(1,414;0)	109,1	42,4
(0;-1,414)	114,6	44,6
(-1,414;0)	130,5	50,8

PF¹ = peso fresco; (%)² = relación entre los mg de antocianinas en el mortño deshidratado con pre-tratamiento y los mg de antocianinas en el liofilizado sin pre-tratamiento; Antocianinas en el mortño liofilizado sin pre-tratamiento para los puntos (0;0) = 258 mg/100 g PF ;Antocianinas en el mortño liofilizado sin pre-tratamiento para los puntos restantes = 257,1 mg/100 g PF; 1, 2, 3 repeticiones.

Para analizar la influencia de las variables concentración del baño y tiempo de inmersión, sobre el porcentaje de retención de antocianinas en el mortño deshidratado en estufa, se realizó el análisis estadístico correspondiente al diseño experimental planteado (factorial 2^2 con puntos axiales).

En la Tabla 3.17 se presenta el análisis ANOVA para el porcentaje de retención de antocianinas en el mortño deshidratado en estufa. Como se puede observar ninguna de las variables estudiadas concentración del baño y tiempo de inmersión, influyen estadísticamente ($p > 0,05$) sobre la concentración de antocianinas en la fruta deshidratada.

Tabla 3. 17. Análisis ANOVA para el porcentaje de retención de antocianinas en el mortño deshidratado en estufa

Fuente	Suma de cuadrados	Df	Cuadrados principales	F-Radio	P-Valor
A:Concentración del baño	1,063	1	1,063	0,030	0,865
B:Tiempo de inmersión	0,075	1	0,075	0,000	0,964
AA	4,362	1	4,362	0,130	0,732
AB	16,524	1	16,524	0,500	0,512
BB	11,972	1	11,972	0,360	0,574
Total error	165,915	5	33,183		
Total (corr.)	206,114	10			

3.3.4 EFECTO DEL PRE-TRATAMIENTO DEL BAÑO DE INMERSIÓN SOBRE EL PORCENTAJE DE RETENCIÓN DE POLIFENOLES SOLUBLES EN EL PRODUCTO DESHIDRATADO

En la Tabla 3.18 se muestran los porcentajes de retención de polifenoles solubles en el mortño deshidratado en comparación al liofilizado. Se analiza que hay diferencia de los mismos según la concentración del baño de inmersión.

Esto indica que de alguna manera estos compuestos bioactivos se ven afectados por los componentes del baño de inmersión.

Tabla 3. 18. Contenido de polifenoles solubles en el mortiño deshidratado a las diferentes condiciones de concentración del baño y tiempo de sumersión

Valor codificado	Polifenoles Deshidratado (mg/100 g PF ¹)	Retención de polifenoles deshidratado (%) ²
(1;1)	512,7	73,2
(1;-1)	524,0	74,8
(-1;-1)	499,4	71,3
(-1;1)	510,0	72,8
(0;0) ₁	581,2	82,4
(0;0) ₂	574,6	81,4
(0;0) ₃	540,9	76,6
(0;1,414)	518,2	74,0
(1,414;0)	476,3	68,0
(0;-1,414)	541,5	77,3
(-1,414;0)	496,7	70,9

PF¹ = peso fresco; (%)² = relación entre los mg de polifenoles solubles en el mortiño deshidratado con pre-tratamiento y los mg de polifenoles solubles en el liofilizado sin pre-tratamiento Polifenoles solubles en el mortiño liofilizado para los puntos (0;0) = 705,7 mg/100 g PF ; Polifenoles solubles en el mortiño liofilizado para los puntos restantes = 700,7 mg/100 g PF; 1, 2, 3 repeticiones.

Para visualizar la dependencia de la variable de respuesta (porcentaje de retención de polifenoles solubles) con las variables estudiadas (concentración del baño y tiempo de inmersión), se realizó un análisis estadístico según el diseño experimental planteado.

De acuerdo al ANOVA el pre-tratamiento para la deshidratación de mortiño a las diferentes condiciones de concentración del baño de pre-tratamiento y tiempo de inmersión en el mismo, tiene influencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) sobre el contenido de polifenoles solubles en el mortiño deshidratado en estufa. En la Figura 3.21 se presenta la carta de Pareto, se analiza que la doble interacción de la concentración del baño de inmersión influye estadísticamente ($p < 0,05$) sobre la variable de respuesta. De acuerdo al modelo cuadrático al cual estadísticamente se ajustó el experimento analizado, se podría decir que, si las

concentraciones del baño de inmersión utilizadas en este estudio se duplicaran, se tendría el doble de pérdida de polifenoles solubles en el mortíño deshidratado.

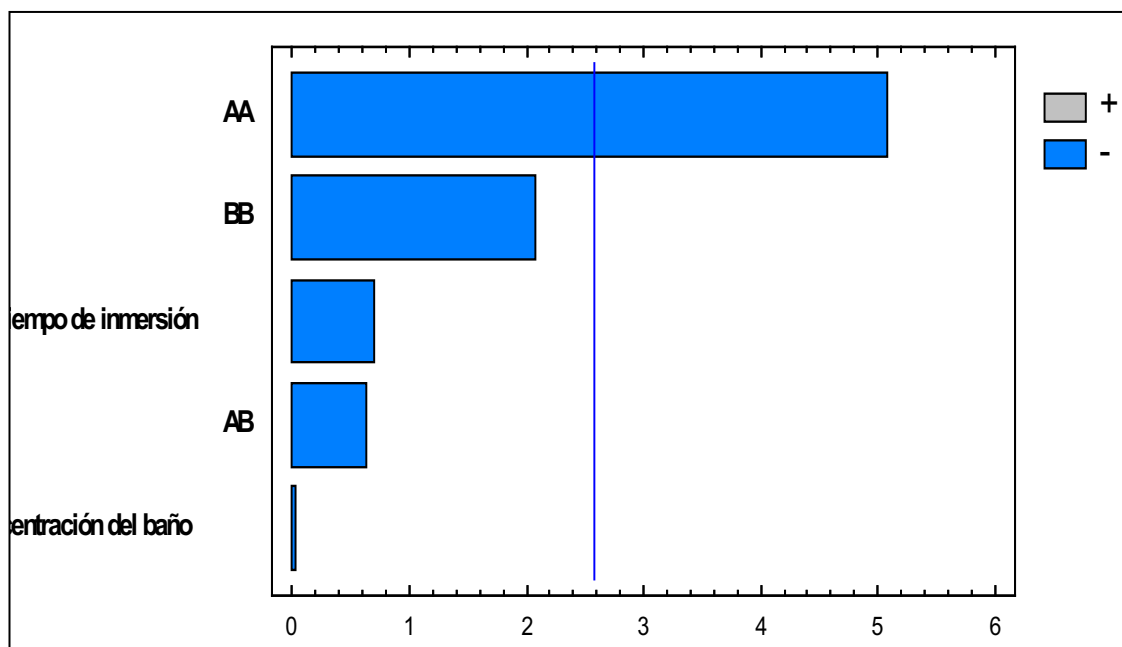


Figura 3. 21. Carta de Pareto para el estudio estandarizado de la concentración del baño y tiempo de inmersión sobre el porcentaje de retención de polifenoles solubles

En la Figura 3.22 se presenta la superficie estimada de respuesta, se puede observar una zona de máximo porcentaje de retención de polifenoles solubles. Dentro de esta zona se encuentra el punto de (0;0) es decir, el punto central del diseño experimental planteado (2^2 con puntos axiales) y corresponde a las condiciones de concentración del baño de 1,55 % de K_2CO_3 –1,25 % de oleato de etilo y 3,5 min de inmersión.

El gráfico de contornos para el análisis estadístico de la influencia de la concentración del baño y tiempo de inmersión sobre el porcentaje de retención de polifenoles solubles en el mortíño deshidratado en estufa se muestra en la Figura 3.23. Se evidencia que el máximo porcentaje de retención de polifenoles se ubica en la región correspondiente entre las coordenadas -0,2 (1,42 % de K_2CO_3 –1,36 % de oleato de etilo) y 0,2 (2,09 % de K_2CO_3 –1,67 % de oleato de etilo) para la concentración del baño, para el tiempo de secado entre las coordenadas -0,4 (3,1 min) y 0,2 (3,7 min).

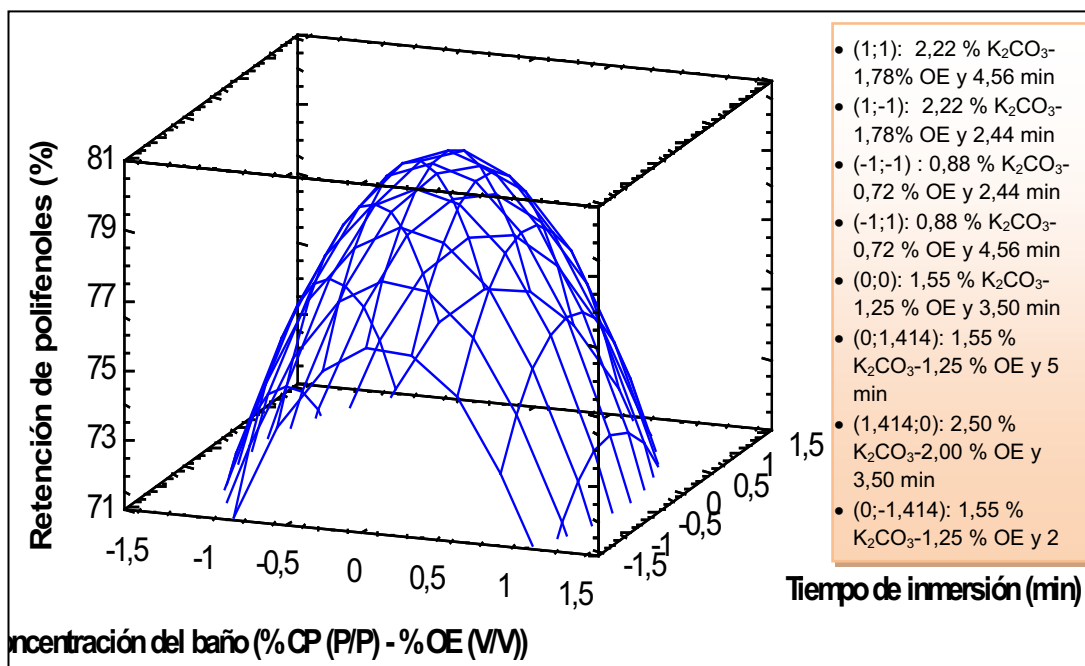


Figura 3. 22. Superficie de respuesta estimada para el estudio de la influencia de la concentración del baño y tiempo de inmersión sobre el porcentaje de retención de polifenoles solubles

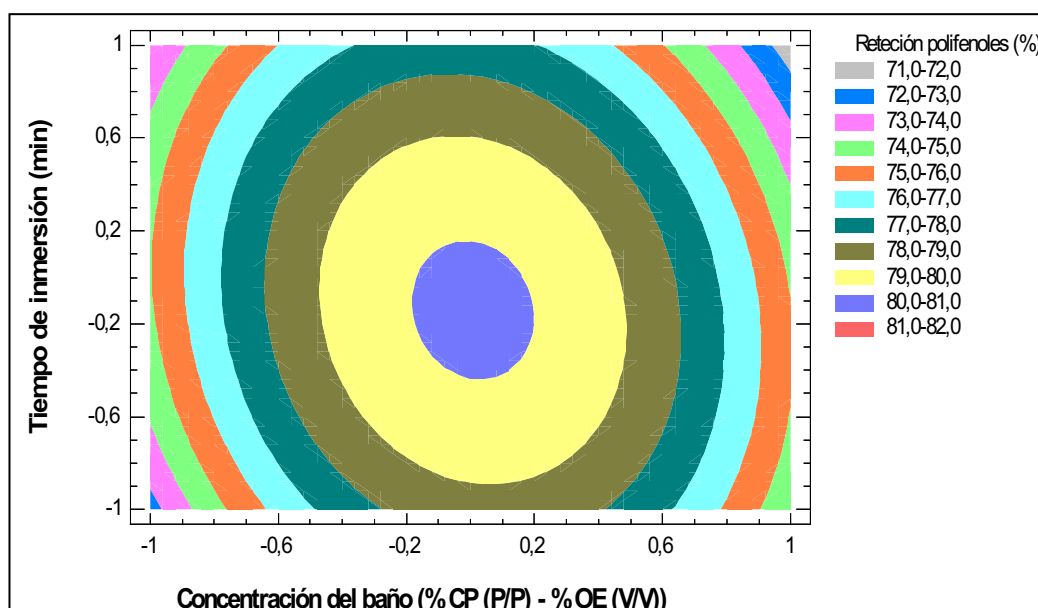


Figura 3. 23. Gráfico de contornos para la concentración del baño y tiempo de inmersión sobre el porcentaje de retención de polifenoles solubles en el mortuño deshidratado con el pre-tratamiento

(1;1): 2,22 % de K_2CO_3 -1,78 % de OE; 4,56 min de inmersión, (1;-1): 2,22 % de K_2CO_3 -1,78 % de OE; 2,44 min de inmersión, (-1;-1): 0,88 % de K_2CO_3 -0,72 % de OE; 2,44 min de inmersión, (-1;1): 0,88 % de K_2CO_3 -0,72 % de OE; 4,56 min de inmersión, (0;0): 1,55 % de K_2CO_3 -1,25 % de OE; 3,50 min de inmersión, (0;1,414): 1,55 % de K_2CO_3 -1,25 % de OE; 5 min de inmersión, (1,414; 0): 2,50 % de K_2CO_3 -2,00 % de OE; 3,5 min de inmersión, (0;-1,414): 1,55 % de K_2CO_3 -1,25 % de OE; 2 min de inmersión, (-1,414; 0): 0,60 % de K_2CO_3 -0,50 % de OE; 3,5 min de inmersión.

OE= Oleato de etilo;CP= Carbonato de Potasio

En la Tabla 3.19 se presentan los valores codificados de las mejores condiciones para determinar el porcentaje de retención de polifenoles solubles, se observa que estas se encuentran cercanas al punto (0;0) (1,55 % K_2CO_3 (P/P) – 1,25 % de oleato de etilo (V/V) y tiempo de inmersión de 3,5 min).

Tabla 3. 19. Valores codificados de las mejores condiciones de concentración del baño y tiempo de inmersión para la deshidratación de mortiño

Factor	Valor bajo	Valor alto	Mejor punto de coordenada	Mejor valor de la variable
Concentración del baño % (P/P) de K_2CO_3 - % de OE (V/V)	-1,414	1,414	0,009	1,56-1,25
Tiempo de inmersión (min)	-1,414	1,414	-0,142	3,3

Se eligieron las condiciones de baño y tiempo de inmersión correspondientes al punto (0;0). Es decir, concentración del baño de 1,55 % K_2CO_3 (P/P) – 1,25 % de oleato de etilo (V/V) y tiempo de inmersión de 3,5 min. Estas condiciones del baño de pre-tratamiento fueron las mejores para obtener el producto deshidratado con el mayor porcentaje de retención de polifenoles solubles y antocianinas, siendo este el objetivo del presente estudio. Sin embargo, se tiene que en el punto (0;0) el tiempo de secado es el tiempo máximo (18 h).

Los menores tiempos de secado se obtuvieron con las codificaciones cercanas al punto (1;1) que corresponde a las condiciones de concentración del baño de 2,22 % de K_2CO_3 –1,78 % de oleato de etilo y 4,6 min de inmersión, pero a estas condiciones se tuvo la máxima pérdida de antocianinas y polifenoles solubles.

3.4 EFECTO DEL PRE-TRATAMIENTO CON DIÓXIDO DE AZUFRE SOBRE EL PROCESO DE SECADO

Una vez establecida la mejor condición de la concentración del baño y el mejor tiempo de inmersión en el mismo, se aplicó el pre-tratamiento de sulfuración, para

determinar su efecto sobre el contenido polifenoles solubles y antocianinas totales en el mortiño deshidratado en estufa.

3.4.1 EFECTO DEL PRE-TRATAMIENTO DE SULFURACIÓN SOBRE EL PORCENTAJE DE RETENCIÓN DE ANTOCIANINAS

En la Tabla 3.20 se presenta el porcentaje de retención de antocianinas en el mortiño deshidratado. Se puede observar en comparación a los resultados mostrados en la Tabla 3.16, que los porcentajes de retención son aproximadamente el 45 % más altos.

Esto podría explicarse porque en el pre-tratamiento de sulfuración, el dióxido de azufre inactiva la enzima polifenoloxidasasa (causante de la oxidación de las antocianinas). La inhibición de esta enzima se da por la formación de complejos sulfo-quinonas (Macheix et al., 1990, p. 311; Clifford, 2000, p. 1065). Se conoce que las antocianinas son más abundantes en la corteza de las frutas (Szajdek y Borowska, 2009, p. 148) y en el proceso de deshidratación la cáscara del mortiño es la que está expuesta a los pre-tratamientos y al aire que circula en la estufa.

Tabla 3. 20. Contenido y porcentaje de retención de antocianinas en el producto deshidratado con los pre-tratamientos

Concentración de SO ₂ (ppm)	Tiempo de sulfuración (h)	Antocianinas Deshidratado Repetición 1 (mg/100 g PF)	Antocianinas Deshidratado Repetición 2 (mg/100 g PF)	Retención Repetición 1 (%)	Retención Repetición 2 (%)
1 000 ¹	1	142,8	132,1	63,2	47,7
2 000 ¹	1	210,8	275,5	93,3	99,5
1 000 ²	2	80,8	271,6	77,0	98,1
2 000 ²	2	104,1	273,8	99,2	98,9

¹ Antocianinas en el mortiño liofilizado sin pre-tratamientos repetición 1 = 226,1 (mg/100 g PF),

² Antocianinas en el mortiño liofilizado sin pre-tratamientos repetición 1 = 105,0 (mg/100 g PF)

Antocianinas en el mortiño liofilizado sin pre-tratamientos repetición 2 = 276,9 (mg/100 g PF)

Para poder analizar la influencia de las variables estudiadas (concentración de SO_2 y tiempo de sulfuración), se aplicó el diseño experimental planteado (modelo factorial 2^2) y el análisis estadístico correspondiente.

De acuerdo al análisis ANOVA el pre-tratamiento de sulfuración tiene influencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) sobre el contenido de antocianinas en el mortño deshidratado en estufa. En la Figura 3.24 se presenta la carta de Pareto correspondiente al análisis estadístico, se puede observar que la variable concentración de SO_2 tiene efecto estadísticamente significativo ($p < 0,05$) sobre el porcentaje de retención de antocianinas.

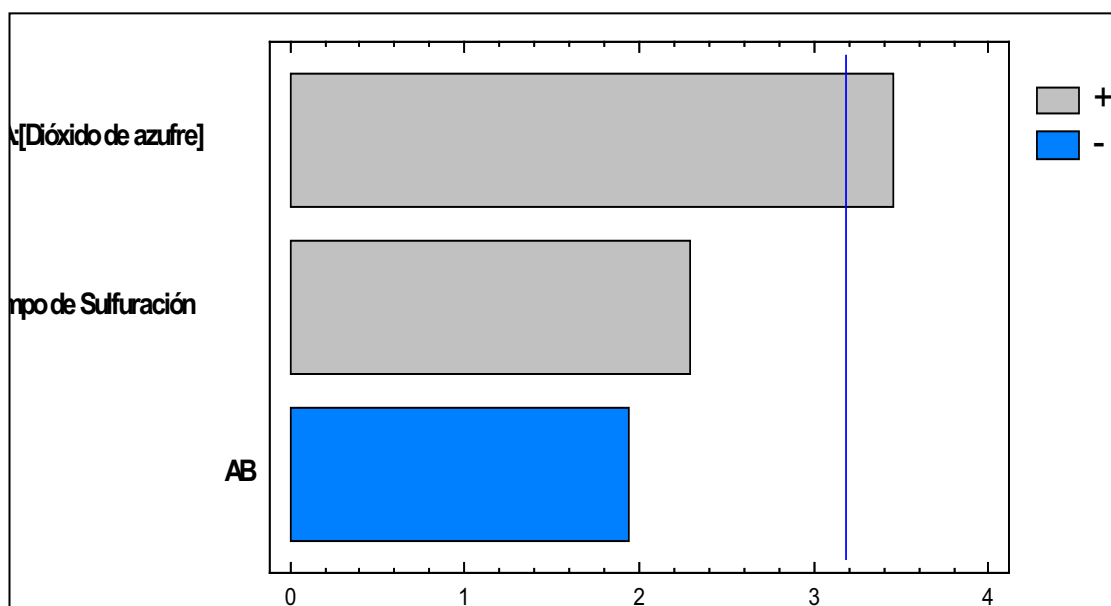


Figura 3. 24. Carta de Pareto para el estudio estandarizado de la concentración de SO_2 y tiempo de sulfuración sobre el porcentaje de retención de antocianinas

Se muestra el principal efecto de la concentración de SO_2 y tiempo de sulfuración en el porcentaje de retención de antocianinas en la Figura 3.25.

Se puede observar una relación directa entre las variables analizadas (concentración de SO_2 y tiempo de sulfuración) y el porcentaje de retención de antocianinas. Se observa también que el aumento de la concentración de dióxido de azufre de 1 000 ppm a 2 000 ppm permitió un incremento de 27 % en la concentración de antocianinas.

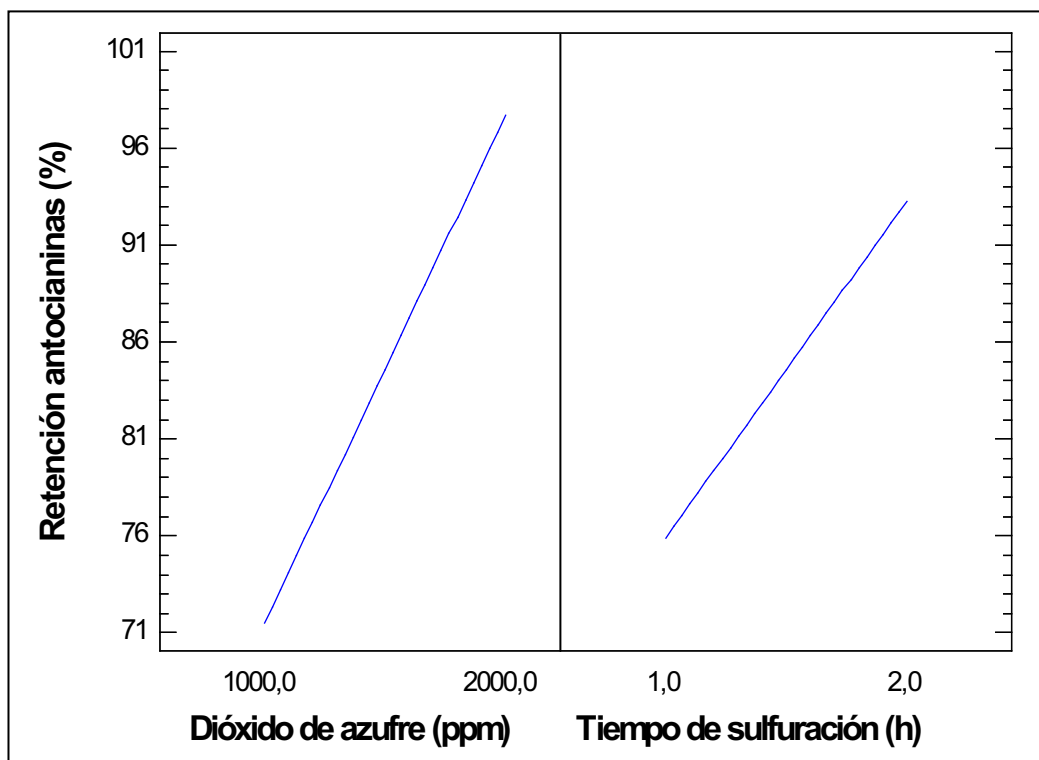


Figura 3. 25. Principales efectos de la concentración de SO_2 y tiempo de sulfuración sobre el porcentaje de retención de antocianinas

Los valores más altos de porcentaje de retención de antocianinas con relación al liofilizado sin pre-tratamientos, se alcanzaron a la concentración de SO_2 de 2 000 ppm y tiempo de sulfuración de 2 h.

3.4.2 EFECTO DEL PRE-TRATAMIENTO DE SULFURACIÓN SOBRE EL PORCENTAJE DE RETENCIÓN DE POLIFENOLES SOLUBLES

El contenido y el porcentaje de retención de polifenoles solubles en los frutos de mortiño deshidratados en relación al liofilizado se presentan en la Tabla 3.21. Se puede observar que estos porcentajes son cercanos al 100 % al igual que en los estudios realizados anteriormente.

Esto indica que la sulfuración siendo un pre-tratamiento a la deshidratación del mortiño en el secador de bandejas, no tiene ningún efecto en la conservación de los polifenoles solubles.

Tabla 3. 21. Contenido y porcentaje de retención de polifenoles en el producto deshidratado con los pre-tratamientos

Concentración de SO ₂ (ppm)	Tiempo de sulfuración (h)	Polifenoles Deshidratado Repetición 1 (mg/100 g PF)	Polifenoles Deshidratado Repetición 2 (mg/100 g PF)	Porcentaje de Retención Repetición 1 (%)	Porcentaje de Retención Repetición 2 (%)
1 000 ¹	1	746,3	852,4	92,0	99,4
2 000 ¹	1	790,2	845,2	97,4	98,6
1 000 ²	2	538,8	850,6	84,2	99,2
2 000 ²	2	632,2	840,6	98,8	98,1

¹ Polifenoles solubles en el mortño liofilizado sin pre-tratamientos repetición 1 = 811,2 (mg/100 g PF),

² Polifenoles solubles en el mortño liofilizado sin pre-tratamientos repetición 1 = 639,6 (mg/100 g PF), Polifenoles solubles en el mortño liofilizado sin pre-tratamientos réplica 2 = 857,2 (mg/100 g PF)

Para analizar la influencia estadística de la concentración de SO₂ y tiempo de sulfuración sobre la variable de respuesta (porcentaje de retención de polifenoles solubles) se ajustaron los resultados al diseño experimental establecido (diseño factorial 2²).

En la Tabla 3.22 se presenta el análisis ANOVA para el porcentaje de retención de polifenoles solubles en el mortño deshidratado en estufa. Como se puede observar la concentración de SO₂ y tiempo de sulfuración no influyen estadísticamente ($p > 0,05$) sobre la concentración de antocianinas en la fruta deshidratada.

Tabla 3. 22. Análisis ANOVA para el porcentaje de retención de polifenoles solubles en el mortño deshidratado en estufa

Fuente	Suma de cuadrados	Df	Cuadrados principales	F-Radio	P-Valor
A:Concentración de azufre	56,074	1	56,074	3,140	0,174
B:Tiempo de sulfuración	0,156	1	0,156	0,010	0,931
AB	0,057	1	0,057	0,000	0,958
blocks	26,791	1	26,791	1,500	0,308
Total error	53,652	3	17,884		
Total (corr.)	136,733	7			

De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis estadístico, se eligieron como los mejores valores de los parámetros para el pre-tratamiento de sulfuración a la concentración de SO₂ de 2 000 ppm y 2 h de exposición de la fruta al SO₂, producto de la combustión de azufre.

3.5 COMPARACIÓN ENTRE PROCESOS

En la Tabla 3.23 se presentan los resultados finales de la concentración de polifenoles solubles y antocianinas totales en el mortíño deshidratado y tiempo de secado, para cada uno de los procesos realizados en el presente estudio.

Como se puede observar en el producto deshidratado en estufa sin pre-tratamientos a 40 °C y 0,24 m³/s de flujo de aire, el porcentaje de retención de antocianinas con relación al liofilizado fue del 54,2 %. Mientras que, en el secado de mortíño con pre-tratamientos a las mismas condiciones se alcanzó el 98,2 % de retención de antocianinas. Esto se logró gracias al pre-tratamiento de sulfuración en el que se pudo haber desactivado la enzima polifenoloxidasas (Macheix et al., 1990, p. 311; Clifford, 2000, p. 1065). En el secador solar híbrido se obtuvo mortíño deshidratado con el 88,5 % de retención de antocianinas, este porcentaje corresponde al 9,9 % menos que el producto deshidratado en la estufa.

El porcentaje de retención de polifenoles solubles fue del 97,8 % en el secado sin pre-tratamientos, con los pre-tratamientos fue del 99,7 %, tanto en el secador de bandejas, como en el secador solar híbrido. Se comprueba que el proceso de deshidratación no afectó la concentración de polifenoles solubles, dado que estos compuestos son más resistentes a la temperatura y al oxígeno que las antocianinas (Joshi et al., 2009, p. 456).

Con el pre-tratamiento de baño de inmersión (oleato de etilo-carbonato de potasio) se lograron disminuir 12 horas de secado con relación al proceso en el que no se aplicó el pre-tratamiento hasta llegar a alrededor del 5 % de humedad.

Se alcanzó este resultado debido a que la emulsión estable de K_2CO_3 y el oleato de etilo, permitió aumentar la velocidad de secado, dado que cambia la estructura de la cera presente en la corteza de las frutas y se forman compuestos hidrofílicos, reducen la tensión superficial y mejoran la difusión del agua desde el interior de la fruta hacia la superficie de la misma (Christensen y Peacock, 2000, p. 213).

Tabla 3. 23. Resultados de comparación entre los procesos de deshidratación de mortiño con y sin la aplicación de pre-tratamientos

Característica	Deshidratado sin pre-tratamientos	Deshidratado en estufa con pre-tratamientos	Deshidratado en secador solar híbrido con pre-tratamientos
Antocianinas (mg/100 g PF)	150,4	439,6	396,2
Polifenoles (mg/100 g PF)	573,9	960,7	960,7
Tiempo de secado	30 h	18 h	5 días
Porcentaje de Retención Antocianinas (%)	54,2	98,2	88,5
Porcentaje de Retención Polifenoles (%)	97,8	99,7	99,7

Para visualizar de mejor manera las diferencias mencionadas entre procesos, se presentan en la Figura 3.26 los resultados comparativos de la concentración de antocianinas en el producto deshidratado sin pre-tratamientos, así como también el mortiño deshidratado con pre-tratamientos y con su respectivo liofilizado. Se evidencia que los pre-tratamientos permiten tener un producto cuya concentración de compuestos fenólicos es similar al mortiño liofilizado.

De igual manera en la Figura 3.27, se muestra la comparación gráfica de la concentración de polifenoles solubles en el producto deshidratado sin pre-tratamientos, así como también el mortiño deshidratado con pre-tratamientos y con su respectivo liofilizado, según el proceso aplicado para la deshidratación de mortiño. Se puede observar que los pre-tratamientos no influyen positiva ni negativamente en el proceso en comparación al liofilizado.

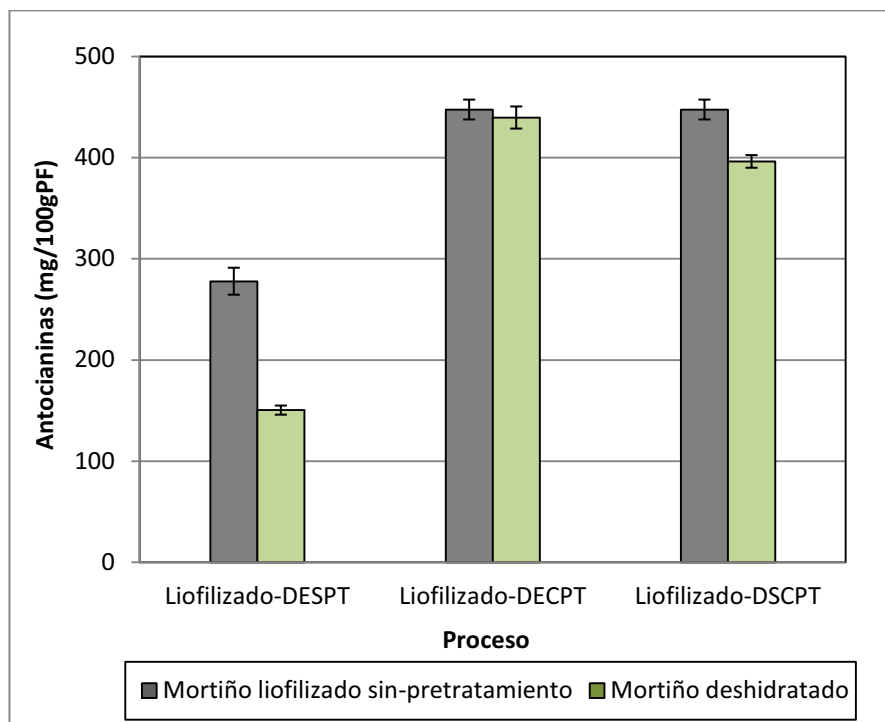


Figura 3. 26. Gráfico comparativo entre procesos de la concentración de antocianinas
DESPT= Deshidratado en estufa sin pre-tratamiento; DECPT= Deshidratado en estufa con pre-tratamiento;
DSCPT= Deshidratado en secador solar híbrido con pre-tratamiento

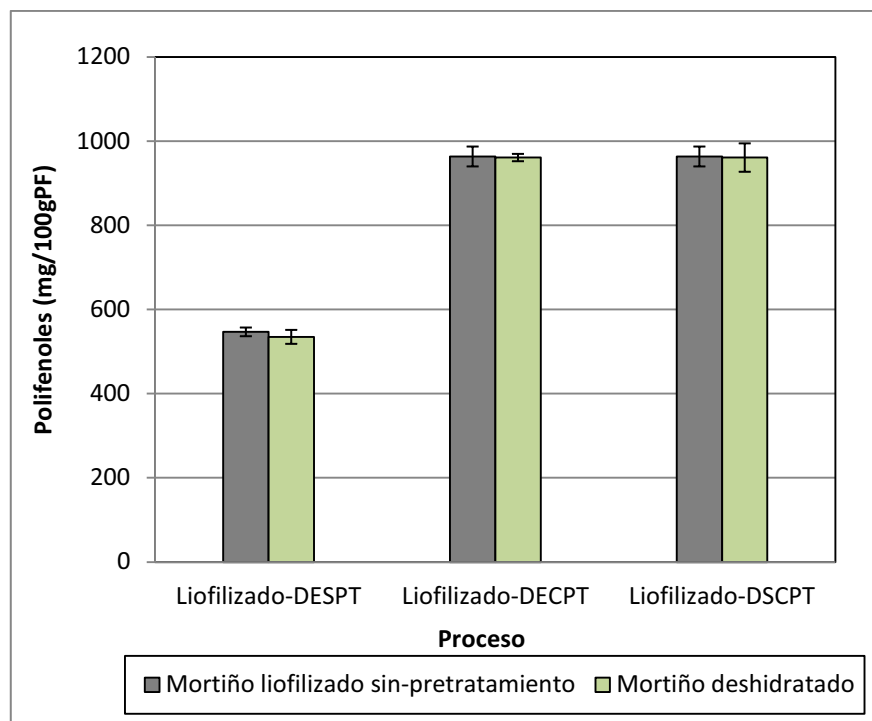


Figura 3. 27. Gráfico comparativo entre procesos de la concentración de polifenoles solubles
DESPT= Deshidratado en estufa sin pre-tratamiento; DECPT= Deshidratado en estufa con pre-tratamiento;
DSCPT= Deshidratado en secador solar híbrido con pre-tratamiento

En la Figura 3.28 se presentan las curvas finales de deshidratación de mortiño en el secador de bandejas con y sin pre-tratamientos. Debido a que la solución acuosa de carbonato de potasio y oleato de etilo acelera la velocidad de secado, el mortiño con pre-tratamientos se deshidrató en 18 horas mientras que la fruta que no se aplicó el pre-tratamiento se deshidrató en 30 horas.

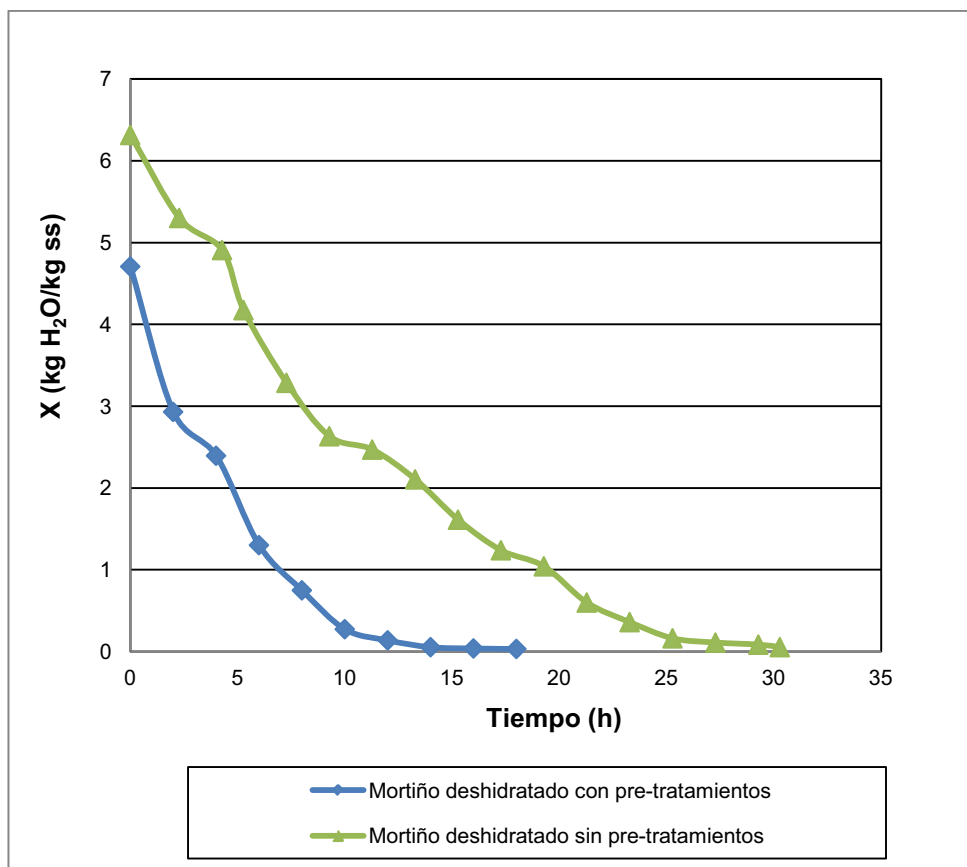


Figura 3. 28. Curvas de deshidratación de mortiño en secador de bandejas con y sin pre-tratamientos

3.6 ENSAYOS DE ESTABILIDAD

El mortiño deshidratado en estufa a las mejores condiciones seleccionadas, que fueron 40 °C y 0,24 m³/s de flujo de aire, con pre-tratamientos de baño de inmersión de 1,55 % K₂CO₃ (P/P) – 1,25 % de oleato de etilo (V/V) y 3,5 min de inmersión y pre-tratamiento de sulfuración de 2 000 ppm de SO₂ y 2 h de sulfuración, se sometió a ensayos de estabilidad.

3.6.1 ENSAYOS DE ESTABILIDAD DE POLIFENOLES SOLUBLES

El cambio en la concentración de polifenoles solubles con el tiempo de almacenamiento se presenta en la Figura 3.29. Como se observa tanto para las condiciones de almacenamiento de congelación a $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$, refrigeración de $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ y ambiente de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ y 90% HR, la concentración de polifenoles oscila entre 751 y 791 mg/100 g PF.

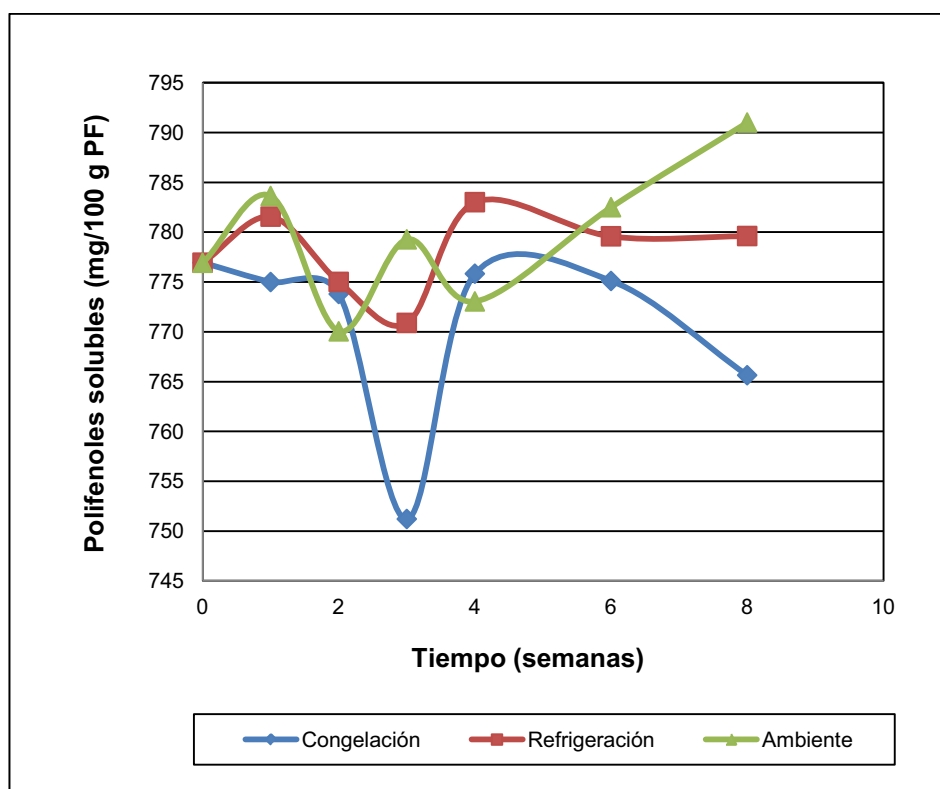


Figura 3. 29. Cambio en la concentración de polifenoles solubles con el tiempo en el mortño deshidratado y almacenado en congelación, refrigeración y ambiente

Debido a que no se evidencia disminución de la concentración de polifenoles en el tiempo de almacenamiento estudiado (2 meses), se puede decir que con relación a este parámetro el mortño deshidratado tiene una vida útil de al menos 2 meses.

Este valor se podría determinar si el análisis de estabilidad se realizara por un tiempo más prolongado. Se aplicó el análisis de varianza (ANOVA simple) para poder determinar la influencia estadística del tiempo de almacenamiento sobre la concentración de polifenoles.

En la Tabla 3.24 se presenta el análisis ANOVA para concentración de polifenoles solubles en el mortíño almacenado en congelación a -17 °C, refrigeración de 4 °C y ambiente de 25 °C y 90 % HR. Como se puede observar, a ninguna de las tres condiciones de almacenamiento existe influencia estadísticamente significativa, del tiempo de almacenamiento sobre la concentración de polifenoles solubles en el mortíño deshidratado en estufa.

Tabla 3. 24. Análisis ANOVA para concentración de polifenoles solubles en el mortíño almacenado en congelación, refrigeración y ambiente

Congelación					
Fuente	Suma de cuadrados	Df	Cuadrados principales	F-Radio	P-Valor
Entre grupos	506,5	6	84,42	0,88	0,52
Dentro de grupos	3 371,43	35	96,33		
Total (Corr.)	3 877,93	41			
Refrigeración					
Fuente	Suma de cuadrados	Df	Cuadrados principales	F-Radio	P-Valor
Entre grupos	464,3	6	77,38	0,95	0,47
Dentro de grupos	2 840,97	35	81,17		
Total (Corr.)	3 305,27	41			
Ambiente					
Fuente	Suma de cuadrados	Df	Cuadrados principales	F-Radio	P-Valor
Entre grupos	1 026,04	6	171,006	1,36	0,26
Dentro de grupos	4 411,73	35	126,049		
Total (Corr.)	5 437,76	41			

3.6.2 ENSAYOS DE ESTABILIDAD DE ANTOCIANINAS TOTALES

En la Figura 3.30 se muestra la variación de la concentración de antocianinas después de cada semana de almacenamiento durante 2 meses, a las diferentes

condiciones de temperatura y humedad establecidas. Se observa que las antocianinas se pierden con el tiempo, debido a que son los componentes bioactivos presentes en el mortiño más sensibles al tiempo y condiciones de almacenamiento (temperatura, humedad) (Macheix et al., 1990, p. 313).

Se realizó el estudio de estabilidad para determinar el tiempo de vida útil del producto deshidratado. Se consideró que el final de la vida útil del mortiño deshidratado, es cuando el producto aún conserva el 50 % del principio activo que son las antocianinas.

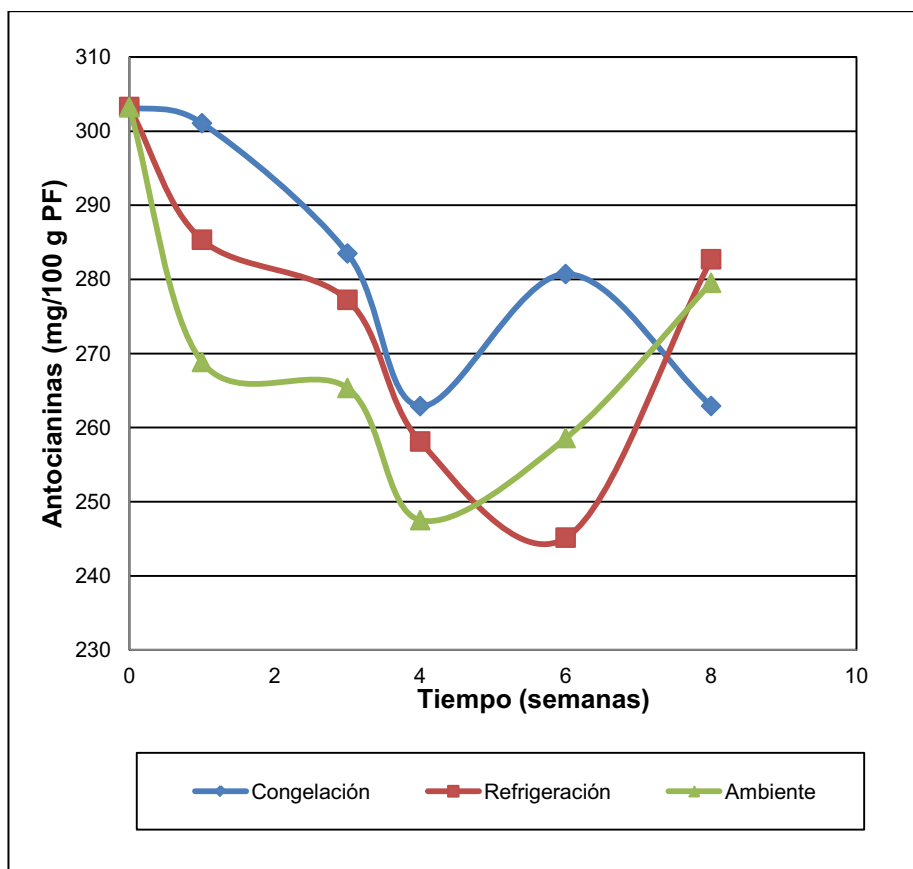


Figura 3. 30. Cambio en la concentración de antocianinas con el tiempo en el mortiño deshidratado y almacenado en congelación, refrigeración y ambiente

En la Tabla 3.25 se muestran los parámetros cinéticos de la estabilidad del mortiño deshidratado según el modelo planteado por Arrhenius (Schmidl y Labuza, 2000, pp. 31-35). Como se puede observar, la velocidad con la que se pierden las antocianinas, aumenta con la temperatura de almacenamiento según

los valores de la constante de velocidad (k) calculados. Según bibliografía, las antocianinas se degradan también en congelación, lo cual se verifica en este estudio (Macheix et al., 1990, p. 313).

El tiempo en el que la concentración de las antocianinas disminuiría a la mitad de su valor inicial sería de 4 meses y 11 días, siendo esta la vida útil del producto almacenado a 18 °C. Se evidencia que el tiempo de vida útil del mortiño deshidratado es corto con relación a otros frutos deshidratados, por ejemplo, en el mercado se ha observado que los arándanos rojos deshidratados tienen una vida útil de 12 meses.

Tabla 3. 25. Parámetros cinéticos de la estabilidad del mortiño deshidratado en estufa con pre-tratamientos

Parámetro	Valor
Constante de velocidad k (semana⁻¹)	
Congelación (-17 °C)	0,0343
Refrigeración (4 °C)	0,0345
Ambiente (25 °C y 90 % HR)	0,0419
Factor de frecuencia k' (semana⁻¹)	0,1440
Energía de activación E (KJ/mol)	31,200
Tiempo de vida útil del producto almacenado a 18 °C	4 meses y 11 días

3.6.3 PERMEABILIDAD DEL EMPAQUE AL VAPOR DE AGUA

El cambio de la humedad en el mortiño deshidratado con el tiempo de almacenamiento a las condiciones de congelación a -17 °C, refrigeración de 4 °C y ambiente de 25 °C y 90 % HR. se presenta en la Figura 3.31. Se observa que la humedad aumenta para las tres condiciones de almacenamiento estudiadas. Esto pudo deberse a que el sello del empaque no fue lo suficientemente hermético, por lo tanto, hubo paso de oxígeno al interior del empaque, también a las

características propias de permeabilidad del empaque (película multicapa laminada y metalizada) que se muestran en el Anexo IV.

Se realizó el estudio de estabilidad para determinar el tiempo de vida útil del producto deshidratado con relación a la humedad. Se consideró que al final de la vida útil del mortño deshidratado, el producto alcance el 8 % de humedad.

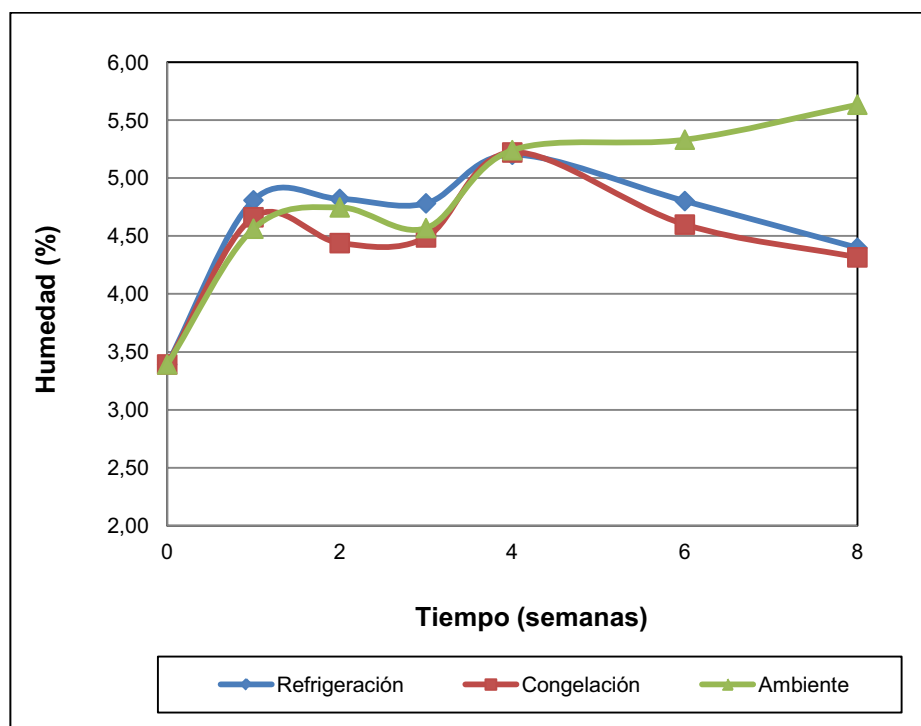


Figura 3. 31. Humedad Vs. tiempo en el mortño deshidratado almacenado en refrigeración

La humedad inicial (base húmeda) de la fruta seca fue de 3,4 % y a las 8 semanas de almacenamiento en refrigeración de 4 °C y congelación de -17 °C llegó a 4,3 %, mientras que a temperatura ambiente de 25 °C y 90 % HR, alcanzó a tener 5,6 % de contenido de agua.

En la Tabla 3.26 se muestran los parámetros cinéticos de la estabilidad del mortño deshidratado, según el modelo planteado por Arrhenius (Schmidl y Labuza, 2000, pp. 31-35). Como se puede observar, el tiempo de vida útil del mortño deshidratado en estufa con pre-tratamientos con referencia a la ganancia de humedad, es relativamente largo (14 años).

Se concluye entonces que, el empaque (película multicapa laminada y metalizada) es adecuado para el almacenamiento del mortño deshidratado. El parámetro a tomarse en consideración para la vida útil del mortño deshidratado, es el contenido de antocianinas totales, al ser estos los compuestos bioactivos más sensibles al tiempo de almacenamiento.

Tabla 3. 26. Parámetros cinéticos de la estabilidad del mortño deshidratado en estufa con pre-tratamientos

Parámetro	Valor
Constante de velocidad k (semana⁻¹)	
Congelación (-17 °C)	0,00391
Refrigeración (4 °C)	0,00366
Ambiente (25 °C y 90 % HR)	0,00336
Factor de frecuencia k' (semana⁻¹)	0,00140
Energía de activación E (KJ/mol)	10,04
Tiempo de vida útil del producto almacenado a 18 °C	14 años

3.6.4 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL COLOR

En el Atlas de los colores de Küppers (2002, p. 43) se determinó que el color inicial del mortño deshidratado en una estufa con pre-tratamientos fue N₉₉C₄₀M₅₀ (N = negro, M = magneta y C = Cyan), lo que significa que el producto deshidratado presentó un color negro pardeado. No se detectó ningún cambio del color del producto durante los 2 meses de almacenamiento.

3.7 ANÁLISIS SENSORIAL

Se realizó un análisis sensorial para determinar el efecto de los pre-tratamientos aplicados al mortño fresco previo a la deshidratación en el secador de bandejas, sobre el color, sabor, textura y presencia de sabores extraños en el mortño seco.

Se consideró como control para la comparación, la fruta deshidratada en estufa sin pre-tratamientos. Se analizaron estadísticamente los datos obtenidos para evaluar el efecto de estas variables sobre los atributos sensoriales.

3.7.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE COLOR

En la Tabla 3.27 se presenta el ANOVA para el análisis de color. Se analiza que los pre-tratamientos (baño de inmersión y sulfuración) no influyeron estadísticamente ($p > 0,05$) en el color del mortiño deshidratado, tanto en el secador solar híbrido como en la estufa.

Tabla 3. 27. Análisis ANOVA para el color del mortiño deshidratado

Fuente	Suma de cuadrados	Df	Cuadrados principales	F-Radio	P-Valor
Entre grupos	3,48	2	1,74	0,26	0,77
Dentro de grupos	415,22	63	6,59		
Total (Corr.)	418,70	65			

3.7.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE SABOR

En la Tabla 3.28 se presenta el análisis ANOVA para el estudio de la influencia de los pre-tratamientos (baño de inmersión y sulfuración) en el sabor del mortiño deshidratado. Se analiza que el sabor del mortiño deshidratado no se ve estadísticamente influenciado por los pre-tratamientos ($p > 0,05$).

Tabla 3. 28. Análisis ANOVA para el sabor de mortiño deshidratado

Fuente	Suma de cuadrados	Df	Cuadrados principales	F-Radio	P-Valor
Entre grupos	36,05	2	18,02	2,22	0,12
Dentro de grupos	512,3	63	8,13		
Total (Corr.)	548,37	65			

El análisis de múltiple rango para el sabor y los valores medios de la escala continua del 1 al 10, se muestran en la Tabla 3.29. Como se puede observar el sabor del mortiño deshidratado en estufa sin pre-tratamientos, es igual al sabor del mortiño deshidratado en el secador solar híbrido con pre-tratamientos. Sin embargo, este último no es igual al sabor del mortiño deshidratado en estufa con pre-tratamientos. Se evidencia que a las muestras de mortiño deshidratado en la estufa con pre-tratamientos, los panelistas las calificaron con un valor mayor que el dado a las muestras de mortiño deshidratado sin pre-tratamientos. Puede ser que el sabor del mortiño se conservó mejor en las primeras muestras debido a que en el secado en estufa con pre-tratamientos requirió de menos tiempo (12 horas menos) que el secado en estufa sin pre-tratamientos. Mientras que el secado solar presenta la menor calificación debido a que el tiempo de secado fue extenso (5 días) por factores climáticos como la lluvia.

Tabla 3. 29. Análisis de múltiple rango para el sabor de mortiño deshidratado

Muestra	Valor Medio de la escala	Grupos homogéneos
Deshidratado en estufa sin pre-tratamientos	5,07	AB
Deshidratado en estufa con pre-tratamientos	5,58	A
Deshidratado en el secador solar híbrido con pre-tratamientos	3,82	B

A y B estadísticamente iguales al valor de AB, A y B estadísticamente diferentes entre sí.

En general, el mortiño deshidratado tuvo una calificación media alrededor de 5 en la escala continua del 1 al 10. El sabor propio a fruta de mortiño se perdió debido al proceso de deshidratación. También se podría haber dado que los panelistas no pudieron degustar con facilidad las muestras porque el producto entregado para el análisis tenía una humedad muy baja (5 %) con relación a las pasas que son deshidratadas hasta valores de 10 a 12 % de humedad.

3.7.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE TEXTURA

En la Tabla 3.30 se presenta el ANOVA para el análisis de la textura del mortiño deshidratado. Se analiza que los pre-tratamientos de baño de inmersión y de

sulfuración no influyeron estadísticamente ($p>0,05$) en la textura del mortño deshidratado.

Tabla 3. 30. Análisis ANOVA para el análisis de textura en el mortño deshidratado

Fuente	Suma de cuadrados	Df	Cuadrados principales	F-Radio	P-Valor
Entre grupos	25,67	2	12,84	2,09	0,13
Dentro de grupos	386,15	63	6,13		
Total (Corr.)	411,83	65			

En general el mortño deshidratado tuvo textura dura por el endurecimiento de la corteza, que es típico en la deshidratación de frutas enteras como en la producción de pasas, este es un problema porque dificulta la apreciación del sabor y textura del producto (Barta, 2006, p. 85; Casp y Abril, 2003, p. 346).

3.7.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA PRESENCIA SABORES EXTRAÑOS

En la Tabla 3.28 se presenta el ANOVA para el análisis de la presencia de sabores extraños en el mortño deshidratado.

Se analiza que los pre-tratamientos no influyen estadísticamente ($p>0,05$) en la presencia de sabores extraños.

Tabla 3. 31. Análisis ANOVA para el análisis de varianza de sabores extraños

Fuente	Suma de cuadrados	Df	Cuadrados principales	F-Radio	P-Valor
Entre grupos	16,33	2	8,17	1,09	0,34
Dentro de grupos	471,52	63	7,48		
Total (Corr.)	487,86	65			

Los panelistas no detectaron la presencia significativa de los pre-tratamientos de baño de inmersión (solución acuosa de K_2CO_3 y oleato de etilo) y sulfuración, a pesar de que el oleato de etilo tiene olor y sabor característico.

En general la calificación dada al mortño deshidratado fue alrededor del 8 en la escala del 1 al 10 la cual es aceptable. Puede ser que los panelistas no estuvieron familiarizados con el sabor propio del mortño fresco, el mismo que es ácido y no es agradable para todos los paladares.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

1. En el secador de bandejas, la temperatura influyó estadísticamente sobre la velocidad de secado de la fruta de mortiño, se observó una relación inversa entre la temperatura y el tiempo de secado. El flujo de aire en los niveles estudiados no tuvo un efecto determinante en esta variable.
2. En la deshidratación de mortiño en estufa a 40 y 50 °C, la temperatura no tuvo una influencia estadísticamente significativa en el porcentaje de retención de antocianinas y polifenoles solubles. Sin embargo, el flujo de aire tuvo un efecto significativo sobre el porcentaje de retención de antocianinas y no influyó en el contenido de polifenoles solubles en el mortiño deshidratado. A menor flujo de aire en la estufa, el porcentaje de retención de antocianinas aumentó.
3. En la deshidratación de mortiño en estufa a 40 °C y flujo de aire de 0,24 m³/s, se obtuvo el máximo porcentaje de retención de compuestos fenólicos (54,2 % de antocianinas y 97,8 % de polifenoles solubles) con relación a los frutos liofilizados.
4. La inmersión de la fruta fresca por 3,5 min en el baño de pre-tratamiento de concentración 1,55 % K₂CO₃ (P/P) – 1,25 % de oleato de etilo (V/V), tuvo un efecto positivo dado que permitió disminuir 12 horas de deshidratación de mortiño en la estufa. Se determinó que a mayor concentración del baño, el tiempo de secado disminuyó. Sin embargo, las propiedades organolépticas como el sabor a fruta de mortiño, se perdieron con el aumento de la concentración de los componentes del baño.
5. El pre-tratamiento del baño de inmersión a los frutos de mortiño, no influyó estadísticamente sobre el porcentaje de retención de antocianinas en el

producto deshidratado en estufa. Por el contrario, se evidenció que estadísticamente sí tiene un efecto determinante sobre el porcentaje de retención de polifenoles solubles.

6. El pre-tratamiento de sulfuración tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre el porcentaje de retención de antocianinas. A mayor concentración de SO₂ y tiempo de sulfuración de la fruta de mortiño fresca, se lograron mayores porcentajes de retención. La sulfuración no tuvo ningún efecto sobre el porcentaje de retención de polifenoles solubles totales.
7. El pre-tratamiento de sulfuración a los frutos frescos con 2 000 ppm de concentración de SO₂ y 2 h de exposición al mismo, permitió aumentar el porcentaje de retención de antocianinas en el mortiño deshidratado en estufa del 54,2 % al 98,2 %. El mortiño deshidratado en el secador solar híbrido conservó el 88,5 % de antocianinas con relación al fruto liofilizado.
8. El mortiño deshidratado obtenido mediante la deshidratación en estufa y en el secador solar híbrido, conservó la mayor cantidad de fibra dietética, azúcares, vitamina C, antocianinas y polifenoles solubles con relación al contenido de estos compuestos en la fruta fresca liofilizada.
9. El mortiño deshidratado obtenido mediante la deshidratación en estufa y en el secador solar híbrido, tuvo una textura dura y no presentó ningún sabor extraño debido a los pre-tratamientos. En comparación con la fruta fresca, el producto conservó parcialmente su sabor natural a fruta de mortiño. El mortiño deshidratado presentó un color negro marrón.
10. De acuerdo al ensayo de estabilidad, el mortiño deshidratado tiene un tiempo de vida útil de 4 meses y 11 días, en este tiempo el contenido de antocianinas se reduce a la mitad de su valor inicial.

11. El envase de película multicapa laminada y metalizada utilizada para el análisis de estabilidad, permite que el producto deshidratado tenga una vida útil de 14 años si se considera el parámetro de humedad.

4.2 RECOMENDACIONES

1. Realizar un análisis económico que permita determinar la viabilidad económica del uso de pre-tratamientos en la deshidratación de mortiño. Con el objetivo de obtener un producto que conserve sus compuestos bioactivos con relación a la fruta fresca y sea también rentable económicamente.
2. Efectuar un estudio del efecto de otros pre-tratamientos como el uso de baños de inmersión NaOH en caliente, para observar su influencia en la velocidad de secado, contenido de compuestos fenólicos y en el sabor del producto deshidratado.
3. Realizar un estudio para determinar la cinética de la degradación de antocianinas durante el proceso de deshidratación de las frutas de mortiño.
4. Desarrollar un estudio de aceptabilidad del mortiño deshidratado, para determinar si el producto tendría mayor aceptabilidad si se lo comercializaría como pasa que tiene un contenido de humedad del 10 al 12 %.

BIBLIOGRAFÍA

1. AOAC. (2007). *Official Methods of Analysis of AOAC International*. (18va. Ed.). Maryland, USA.
2. Asp, N., Johansson, C., Hallmer, H., y Siljestroem, M. (1983). Rapid Enzymatic Assay of Insoluble and Soluble Dietary Fiber. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 31(3), pp. 476 - 482.
3. Barta, J. (2006). Fruit drying principles. En Barta, J., Cano, M., Gusek, T., Sidhu, J. y Sinha N. *Handbook of fruits and fruit processing*, (pp. 81-93). USA: Blacwell Publishing
4. Bhat, N., Desai, B. y Suleiman, M. (2006). Grapes and Raisins. En Barta, J., Cano, M., Gusek, T., Sidhu, J. y Sinha N. *Handbook of fruits and fruit processing*, (pp. 439-452). USA: Blacwell Publishing.
5. Bravo, L. (1988). Polyphenols: Chemistry, Dietary Sources, Metabolism, and Nutritional Significance. *Nutrition Reviews*, 56 (11), pp. 317-333
6. Casp, A. y Abril, J. (2003). *Proceso de conservación de alimentos*. (2da. Ed.). Madrid, España: Mundi-Prensa.
7. Charanjit, K. y Harish, C. (2001). Antioxidants in fruits and vegetables: the millennium's health Review. *International Journal of Food Science and Technology*, 36, pp. 703-725.
8. Christensen, L. y Peacock, L. (2000). *Raisin Production Manual*. California.
9. Clifford, M. (2000). Anthocyanins – nature, occurrence and dietary burden Review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80, pp. 1 063-1 072.

10. Dauchet, L., Amouyel, P., Hercberg, S. y Dallongeville, J. (2006). Fruit and Vegetable Consumption and Risk of Coronary Heart Disease: A Meta-Analysis of Cohort Studies. *The Journal of Nutrition*, 136, pp. 2588-2593.
11. DeFelice, S.L. (1995). The nutraceutical revolution: its impact on food industry. *Trends Food Sci Technol*, 6, pp. 59-61.
12. Dillard, C. y German, J. (2000). Phytochemicals: nutraceuticals and human health Review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80, pp. 1 744-1 756.
13. Elemer, P. (1994). *Analytical Methods for Atomic Absorption Spectrometry*. USA: The Corporation Perkin Elmer.
14. Girard, K. y Sinha, N. (2006). Cranberry, Blueberry, Currant and Gooseberry. En Barta, J., Cano, M., Gusek, T., Sidhu, J. y Sinha N. *Handbook of fruits and fruit processing*, (pp. 369-390). USA: Blacwell Publishing.
15. Giusti, M. y Wrolstad, R. (2001). Characterization and measurement with UV-visible spectroscopy. *Current protocols in food analytical chemistry*, John Wiley & Sons, Inc., pp. 1 - 13.
16. Heinonen, M. (2007). Antioxidant activity and antimicrobial effect of berry phenolics a Finnish perspective. *Journal of Nutritional Food*, 51, pp. 684-691.
17. Hounsome, N., Hounsome, B., Tomos, D. y Edwards-Jones, G. (2008). Plant metabolites and nutritional quality of vegetables. *Journal of Food Science*, 73(4), pp. 48-65.
18. Hümmer, W. y Schreier, P. (2008). Analysis of proanthocyanidins. *Molecular Nutrition & Food Research*, 52, pp. 1 381-1 398.

19. Ibarz, A., Barbosa, G., Garza, S. y Gimeno, V. (2000). *Métodos experimentales de la ingeniería alimentaria*. Zaragoza, España: Acribia S.A.
20. Johnson, I. (2005). Propiedades antitumorales de los antioxidantes. En Pokorny, J., Yanishlieva, N. y Gordon, M. *Antioxidantes de los alimentos Aplicaciones prácticas*, (pp. 97-111). Zaragoza, España: Acribia S.A.
21. Joshi, A., Rupasinghe, H. y Khanizadeh, S. (2009). Impact of drying processes on bioactive phenolics, vitamin C and antioxidant capacity of red-fleshed apple slices. *Journal of Food Processing and Preservation*, 35, pp. 453-457.
22. Krajayklang, M., Klieber, A. y Dry, P. (2001). Acceleration of the drying rates of paprika fruit with drying oil and cutting. *International Journal of Food Science and Technology*, 36, pp. 207-214.
23. Küppers, H. (2002). *Atlas de los colores.*, Barcelona, España: Blume.
24. Lacueva, C., Remon, A., Llorach, R., Sarda, M., Khan, N., Blanch, G., Ros, R., Ribalta, M. y Lamuela, R. (2010). Phenolic Compounds: Chemistry and Occurrence in Fruits and Vegetables. En De la Rosa, L., Álvarez E. y González, G. *Fruit and Vegetable Phytochemicals Chemistry, Nutritional Value, and Stability*, (pp. 54-56). Singapore, India. A John Wiley & Sons, Inc.
25. López, R., Quiñones, W. y Echeverri, F. (2007). Perfil cromatográfico de las antocianinas presentes en algunos frutos colombianos. *Scientia Et Technica*, 18 (33), p. 275-276.
26. Macheix, J., Fleuriet, A. y Billot, J. (1990). *Fruit phenolics*. Florida, United States: Boca Raton.

27. Macrae, R. (1988). *HPLC in food analysis*. (2da. Ed.). Gran Bretaña: Academic Press Inc.
28. Mujumdar, A. (1995). *Handbook of industrial drying*. (2da. ed.). New York, United States of América: Marcel Dekker.
29. Pascual, S. y Sánchez, M. (2008). Anthocyanins: from plant to health Review. *Phytochem*, 7, pp. 281-299.
30. Pérez, A., Olías, R., Espada, J., Olías, J. y Sanz, C. (1997). Rapid Determination of Sugars, Nonvolatile Acids and Ascorbic Acid in Strawberry and other Fruits, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45, pp. 3 545- 3 549.
31. Pérez, A. y Valdivieso, C. (2007). *Colección y caracterización morfológica in situ del mortiño*. Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Agropecuario. Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí, Ecuador, pp. 35-37.
32. Petterson, A. y Johnsson, L. (1990). Separation of Cis-Trans Isomers of alpha- and beta-Carotene by Adsorption HPLC and Identification with Diode Array Detection. *Journal of Micronutrients Analysis, USA*, 8, pp. 23 - 41.
33. Pinho, R. (2006). Pear drying. En Barta, J., Cano, M., Gusek, T., Sidhu, J. y Sinha N. *Handbook of fruits and fruit processing*, (pp. 533-551). USA: Blacwell Publishing.
34. Popenoe, H., King, S., León, J., Kalinowski, L. (1989). *Lost Crops of the Incas*. Washington, USA: National Academy Press.

35. Prothon, F., Ahrné, L. y Sjöholm, I., (2003). Mechanisms and Prevention of Plant Tissue Collapse during Dehydration. En Prothon, F. *Combined dehydration methods*, (p. 1-31). Uppsala, Suecia: SLU Alnarp.
36. Quideau, S., Deffieux, D., Douat, C. y Pouységu, L. (2011). Plant polyphenols: Chemical properties biological. *Angewandte Chemie*, 50, pp.586-621.
37. Rajamanickam, S. y Agarwal, R. (2008). Natural Products and Colon Cancer: Current Status and Future Prospects Review. *Drug Development Research*, 69, pp. 460-471.
38. Ramassamy, C. (2006). Emerging role of polyphenolic compounds in the treatment of neurodegenerative diseases: A review of their intracellular targets. *European Journal of Pharmacology*, 545, pp. 51-64.
39. Routray, W. y Orsat, V. (2011). Blueberries and Their Anthocyanins: Factors Affecting Biosynthesis and Properties. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 10, pp. 303-320.
40. Sanjinés, A., Øllgaard, B. y Balslev, H. (2006). Frutos comestibles. En Morales, M., Øllgaard, B., Kvist, L., Borchsenius, F. y Balslev, H. *Botánica Económica de los Andes Centrales*, (p. 229-346). La Paz, Bolivia.
41. Schmidl, M. y Labuza, T. (2000). *Essential of Functional Foods*, Estados Unidos de América: Aspen Publishers.
42. Singh, R. y Heldman, D. (2001). *Introduction to food engineering*. (3ra. ed.). Londres, Inglaterra: Elsevier.
43. Slinkard, K., y Singleton, V. (1977). Total phenol analysis: Automation and Comparison with Manual Methods. *Am.J.Enol. Vitic*, 28(1), pp. 38-55.

44. Szajdek, A. y Borowska, E. (2008). Bioactive Compounds and Health-Promoting Properties of Berry Fruits: A Review. *Plants Foods Human Nutrition*, 63, pp. 147-156.
45. Theander, A. y Graham, H. (1986). Studies on Dietary Fiber 3. Improved Procedures for Analysis of Dietary Fiber. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 34, pp. 330-333.
46. Theander, A., Aman, P., Westerlund, E., Andersson, R. y Graham, H. (1991). Rapid analysis and characterization of total dietary fiber. *The AOAC study on the Uppsala method for analysis of total dietary fiber*, (pp. 1-4). Uppsala, Suecia.
47. Torskangerpoll, K. y Andersen, Ø., 2005, "Colour stability of anthocyanins in aqueous solutions at various pH values", *Food Chemistry*, 89, pp. 427-440.
48. Tsao, R. y McCallum, J. (2010). Chemistry of Flavonoids. En De la Rosa, L., Álvarez E. y González, G. *Fruit and Vegetable Phytochemicals Chemistry, Nutritional Value, and Stability*, (pp. 131-138). Singapore, India: A Publication John Wiley & Sons, Inc.
49. Vasco, C., Ruales, J. y Kamal-Eldin, A. (2008). Total phenolic compounds and antioxidant capacities of major fruits from Ecuador. *Food Chemistry*, 111(4), pp. 816-823.
50. Vasco, C., Kaisu Riihinen, Ruales, J. y Kamal-Eldin, A. (2009). Chemical Composition and Phenolic Compound Profile of Mortiño (*Vaccinium floribundum* Kunth). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(18), pp. 8 274 - 8 281.
51. Virgili, F., Scaccini, C., Packer, L. y Rimbach, G. (2005). Enfermedades cardiovasculares y sustancias fenólicas nutricionales. En Pokorny, J.,

Yanishlieva, N. y Gordon, M. *Antioxidantes de los alimentos Aplicaciones prácticas*, (pp.87-93). Zaragoza, España: Acribia S.A.

52. Voragen, A., Heutink, R. y Pilnik, W. (1980). Solubilization of apple cell wall with polysaccharide degrading enzymes. *Journal of Applied Biochemistry*, pp. 452 - 458.
53. Wrolstad, R. (2004). Anthocyanin Pigments—Bioactivity and Coloring Properties. *Journal of Food Science*, 69(5), pp. 419-425.
54. Yahia, E. (2010). The contribution of fruit and vegetable consumption to human health. En De la Rosa, L., Álvarez E. y González, G. *Fruit and Vegetable Phytochemicals Chemistry, Nutritional Value, and Stability*, (pp. 3-52). Singapore, India: A Publication John Wiley & Sons, Inc.
55. Yanishlieva, N. (2005). Inhibición de la oxidación. En Pokorny, J., Yanishlieva, N. y Gordon, M. *Antioxidantes de los alimentos Aplicaciones prácticas*, (pp.43-49). Zaragoza, España: Acribia S.A.

ANEXOS

ANEXO I

MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DE POLIFENOLES SOLUBLES TOTALES ELIMINANDO VITAMINA C

Slinkard y Singleton (1977, pp. 38-55)

Para determinar los polifenoles solubles totales se siguen el siguiente procedimiento:

Preparación del extracto

- Pesar en envases ámbar o protegido por la luz, 0,2 g de muestra liofilizada o deshidratada previamente homogenizada y molida con la ayuda de una balanza analítica marca Mettler Toledo AG204 Max = 210 g; d = 0,1 mg. Registrar el peso exacto.
- Añadir 10 mL de solución extractora (acetona 70% v/v), tapar los envases o cubrir con papel parafilm.
- Llevar a agitación durante 10 min en un agitador magnético marca Variomag multipoint Hp15 a 500 rpm.
- Homogenizar la muestra en un vórtex UM-300.
- Agitar nuevamente durante 10 min en un agitador magnético.
- Filtrar la solución con papel filtro (Whatman 41).
- Lavar los residuos del envase con 2 mL de solución extractora, agitar durante 2 min en un agitador magnético.
- Filtrar en el mismo papel filtro, se recoge en el mismo recipiente y se anota el volumen, se pasa el filtrado a botellas ámbar.
- Este extracto se trata de dos maneras: A, B

A: Dilución del extracto cetónico

- Tomar una alícuota total de 500 μ L: 25 μ L del extracto con 475 μ L de agua destilada en un tubo de ensayo, esta relación puede variar lo cual depende de la muestra pero el volumen final siempre debe ser 500 μ L.

- Realizar en otro tubo de ensayo un blanco de acetona 70 % (V/V) diluida en la misma proporción que el extracto (25 μ L de acetona 70 % (V/V) con 475 μ L de agua destilada) y se procede a seguir el protocolo del Folin-Ciocaltu's descrito posteriormente.
- Encerar el espectrofotómetro marca SHIMADZU UV-160A con el blanco y realizar la lectura de la absorbancia a 760 nm.

B: Eliminación de Vitamina C y Azúcares reductores mediante cartuchos de separación OASIS HLB

En los cartuchos OASIS se separan la vitamina C y azúcares reductores para eliminar la interferencia de éstos en la cuantificación.

- Acondicionar los cartuchos OASIS antes de usar, para lo cual se debe realizar 3 lavados por gravedad: 1 lavado con 3 mL de metanol puro, seguido de 2 lavados con 3 mL de agua destilada.
- Reacondicionar los cartuchos OASIS después de usar, para lo cual se debe realizar 6 lavados por gravedad: 4 lavados con 3 mL de metanol puro. Seguido de dos lavados con 2 mL de agua destilada. El cartucho solo puede ser utilizado por 5 veces.

Separación de polifenoles y vitamina C

- Diluir el extracto cetónico, tomando una alícuota de 500 μ L de extracto con 3500 μ L de agua destilada, esta proporción puede variar dependiendo de la muestra pero el volumen final siempre debe ser 4 mL.
- Depositar 2 mL de esta solución en el cartucho OASIS (previamente acondicionado) y se recoge en una probeta el volumen que pasa por gravedad.
- Lavar con 2 mL de agua destilada para recuperar la vitamina C y azúcares que son solubles en agua, recoger el filtrado en la misma probeta y anotar el volumen recolectado.
- Del filtrado tomar una alícuota de 500 μ L, utilizar 500 μ L de agua destilada como blanco y se procede a seguir el protocolo del Folin-Ciocaltu's descrito posteriormente.

- Encerar el espectrofotómetro con el blanco y realizar la lectura de la absorbancia a 760 nm.

Proceso REDOX: protocolo del Folin-Ciocaltu's

Se debe realizar el mismo tratamiento a los blancos, a los estándares, los extractos cetónicos y los filtrados.

- Agregar a los tubos 500 µL de solución Folín, agitar en el vórtex y dejar en reposo por 2 min a temperatura ambiente.
- Añadir 2 mL de bicarbonato de sodio, agitar en el vórtex y colocar en el baño termostático a 50 °C por 15 min.
- Enfriar rápidamente el tubo en un baño de hielo, desde este momento se dispone de 30 min para realizar la lectura.
- En el espectrofotómetro, se lee la absorbancia de cada tubo a 760 nm, encerar el equipo con el blanco respectivo.

Cálculos:

Al graficar la concentración vs. absorbancia de los estándares se obtiene la curva de calibración y con la regresión lineal de la misma se interpolan los valores de absorbancia y se obtiene la concentración en las muestras analizadas.

De la regresión lineal $y = mx + b$

Donde:

y = absorbancia de los estándares

x = concentración (mg/L de ácido gálico)

b = intercepto en el eje Y

Por lo tanto:

$$CnA = \frac{(y - b) * V}{m * P}$$

[Al.1]

$$C_{nB} = \frac{(y - b) * V}{m * P} \quad [AI.2]$$

$$C_n = C_{nA} + C_{nB} \quad [AI.3]$$

Donde:

C_n = Concentración de polifenoles totales como equivalente de ácido gálico (mg/g muestra)

f_d = factor de dilución

V = volumen de extracto (L)

P = peso de la muestra (g)

Para transformar el valor obtenido a peso de fruta fresca se tiene:

$$C_n = \frac{\text{mg}}{\text{g muestra seca}} * \frac{100\text{g muestra seca}}{x \text{ g de sólidos}} * \frac{y \text{ g de sólidos}}{100 \text{ g fruta fresca}} \quad [AI.4]$$

ANEXO II

MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DE ANTOCIANINAS TOTALES

Giusti y Wrolstad (2001, pp. 1-13)

Este método permite determinar por medio de espectrofotometría UV- Visible a 510 nm y 700 nm, de una manera rápida y sencilla las antocianinas totales, puesto que estos compuestos bioactivos tienen diferentes estructuras dependiendo del pH del medio, de tal manera que catión flavilio predomina a pH bajo (pH 1,0) el cual es de color rojo y además es la estructura más estable de las antocianinas, a medida que disminuye la acidez de la solución estos iones cambian a pseudobases (pH 4,5) carbinol y chalconas que tienen otros colores como morado.

Para el fin se tiene el siguiente procedimiento:

Preparación de soluciones

Buffer pH 1,0

- Disolver 14,9 g de cloruro de potasio en 1 L de agua destilada (A).
- Para preparar la solución de HCl 0,2 N, diluir 16,58 mL de HCl fumante en 1 L de agua destilada (B).
- Agregar la solución B a la solución A lentamente, mezclar y medir el pH con la ayuda de un pH-metro marca WTW pH3-30i con electrodo SenTix 41, en cada momento hasta pH 1,0.
- Guardar la solución en una botella con tapa.

Buffer pH 4,5

- Disolver 136 g de acetato de sodio en 1L de agua destilada (C).
- Para preparar la solución de HCl 1 N, diluir 82,9 mL de HCl fumante en 1 L de agua destilada (D).
- Agregar la solución D a la solución C A lentamente, mezclar y medir el pH en cada momento hasta pH 4,5.

Extracción

- Moler y homogenizar la muestra deshidratada.
- Pesar 1,5 g de muestra en cada uno de los 6 tubos de centrifuga de 50 mL.
- Colocar 50 mL de buffer pH 1,0 en los tubos de centrifuga, 3 con buffer pH 1,0 y los otros 3 con buffer pH 4,5.
- Homogenizar la mezcla y licuar en una licuadora marca OSTERIZER Super Deluxe, a velocidad baja durante 4 min.
- Centrifugar con la ayuda de una centrifuga Thermo Scientific marca IEC CL31R Multispeed. Filtrar el sobrenadante para obtener una solución sin sedimentos, si esto se cumple entonces la absorbancia a 700 nm debe ser cercana a 0.
- Encerar el espectrofotómetro marca SHIMADZU UV-160A con el buffer correspondiente.
- Diluir el extracto de tal manera que la absorbancia de la solución pH 1,0 esté entre 0,3-0,7 UA a 510 nm, realizar la misma disolución a los extractos con buffer pH 4,5.
- Leer las disoluciones en el espectrofotómetro primero a 510 nm y luego a 700 nm.

Cálculos

$$C_n = \left(\frac{(A_1 - A_2) * \left(\frac{V_1}{1000}\right) * fd_1}{m_1} - \frac{(A_3 - A_4) * \left(\frac{V_1}{1000}\right) * fd_2}{m_2} \right) * \frac{PM * 1000}{\varepsilon} \quad [All.1]$$

Donde:

C_n = concentración de antocianinas mg/g para muestras sólidas.

A_1 = Absorbancia mediada a 510 nm, buffer pH 1,0 y m_1

A_2 = Absorbancia mediada a 700 nm, buffer pH 1,0 y m_1

A_3 = Absorbancia mediada a 510 nm, buffer pH 4,5 y m_2

A_4 = Absorbancia mediada a 700 nm, buffer pH 4,5 y m_2

m_1 y m_2 = masa de muestra de extracción.

V_1 y V_2 = volumen de la alícuota de cada buffer.

ϵ = Absortividad molar de la antocianina mayoritaria ($\epsilon = 26900$ L/mol.cm)

PM = peso molecular de la antocianina mayoritaria (cianidin-3-glucosídica) es las frutas (PM = 449,2 g/mol)

fd_1 y fd_2 = factor de dilución para cada muestra de buffer pH 1,0 y pH 4,5 respectivamente.

Nota: todos los análisis se hacen por triplicados. Se debe controlar que la diferencia porcentual $[(\text{rango}/\text{media}) \cdot 100]$ sea menor que el 10 %. Si no cumple, se repite el análisis.

ANEXO III

MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DE ÁCIDOS GALACTURÓNICOS (AGU)

Voragen et al. (1980, pp. 452-458)

Theander y Graham (1986, pp. 330-333)

Theander et al. (1991, pp. 1-4)

Para determinar el contenido de ácidos galacturónicos se siguieron los métodos propuestos por Voragen, Theander y Graham de la siguiente manera:

- Pesar con la ayuda de una balanza analítica marca Mettler Toledo AG204 Max = 210 g; d = 0,1 mg; 10 g de muestra liofilizada en un tubo de centrífuga.
- Centrifugar en una centrífuga modelo IEC CL31R Multispeed a 1 610 xg por 15 min y retirar el sobrenadante.
- Lavar el residuo sólido con etanol al 90 %
- Centrifugar por 10 min y retirar el sobrenadante.
- Repetir el proceso de lavado del residuo hasta que el sobrenadante quede claro.
- Secar el residuo en un erlenmeyer a 60 °C durante toda la noche en una estufa marca Memmert.
- Pesar en un erlenmeyer 125 mg de muestra seca.
- Añadir 5 mL de ácido sulfúrico al 72 % y mezclar bien de tal manera que el ácido cubra totalmente la muestra.
- Llevar a un baño termostático de precisión Modelo 25 a 35 °C por una hora con el fin de solubilizar la celulosa.
- Añadir 70 mL de agua destilada y mezclar un agitador magnético.
- Llevar los erlenmeyers tapados a un autoclave a 125 °C por una hora.
- Filtrar la solución con la ayuda de un crisol filtrante Gooch previamente tarado en un matraz aforado de 100 mL.
- Aforar con agua destilada a 100 mL el filtrado obtenido del análisis de lignina.
- Homogenizar la solución y tomar una alícuota de 250 µL en un tubo de ensayo.

- Añadir 250 μL de la solución de NaCl y H_3BO_3 (pesar 2 g de NaCl y 3 g de H_3BO_3 y aforar a 100 mL con agua destilada), agitar en un agitador tipo vórtex modelo UM-300.
- Adicionar lentamente 4 mL de ácido sulfúrico concentrado y agitar en el vórtex, tapar los tubos de ensayo con papel aluminio y llevarlos al baño termostático a 70 °C por 40 min.
- Enfriar los tubos a temperatura ambiente y luego adicionar 200 μL de la solución de dimetilfenol (pesar 0,1 g de dimetilfenol y aforar a 100 mL con ácido acético glacial).
- Agitar inmediatamente en el vórtex durante 2 min.
- Realizar la curva de calibración con soluciones de ácido galacturónico de concentraciones 20, 40, 80, 120, 160 y 240 $\mu\text{L}/\text{mL}$ para lo cual primeramente se debe preparar una solución madre de ácido galacturónico (pesar 24 mg de ácido galacturónico y aforar a 100 mL con agua destilada). Dar el mismo tratamiento de las muestras a las soluciones y al blanco.
- Medir la absorbancia a 450 nm en el espectrofotómetro marca SHIMADZU UV-160A contra un blanco de agua, este paso se lo puede realizar en un intervalo de 10 a 15 min después de la adición del dimetilfenol.
- El porcentaje de ácidos galacturónicos se calcula como porcentaje de ácido urónico presente en la muestra original, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{U.R} = \frac{W_u * F_u}{S} * 100 \quad [\text{AIII.1}]$$

Donde:

W_u : mg de ácido galacturónico por 100 mL de hidrolizado obtenido de la curva de calibración

F_u : Factor de recálculo de ácido galacturónico a residuos polisacáridos (0,91)

S : peso de la muestra original (mg)

ANEXO IV
FICHA TÉCNICA DE LA FUNDA METALIZADA



FICHA TÉCNICA	
	Código FTA02911

PET PEBD

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL: PET PEBD

Película multicapa laminada y metalizada, para contacto con alimentos que ofrece alta barrera a la humedad y muy buena protección al oxígeno. Gracias al sustrato en la capa externa ofrece una apariencia brillante al empaque, garantizando la calidad de la impresión atrapada.

APLICACIONES.-Se puede utilizar para empacar productos lácteos, sólidos y líquidos, alimentos deshidratados (polvos), cereales, condimentos y especias entre otros. Dependiendo de la aplicación y el producto a empacar se deben realizar pruebas de validación en cada caso.

COMPOSICIÓN: PET, adhesivo, BOPP Metalizado Alta Barrera, Capa sellante PEBD.

Tabla AIV. 1. Propiedades de la Película multicapa laminada y metalizada

Propiedades	Valores	Tolerancias	Unidades
Fuelle abierto	8.0	±0.5	cm
Gramaje	114.1	±10 %	g/m ²
Rendimiento	8.8	±10 %	
Fuerza de laminación	>200		gf / pulgada
Transmisión de vapor de Agua ASTM	0.15		g/m ³ /24 h/atm
Transmisión de oxígeno ASTM	24.4		m ³ /24 h/atm
Temperatura de sellado	160	±20	°C
Tiempo de sellado	1		s
Presión de sellado	8		bar
Fuerza de sellado	>1.5		kgf / pulg

RECOMENDACIONES

Se sugiere realizar pruebas industriales para la aplicación requerida y según las condiciones del proceso de cada cliente. El uso de cada empaque depende de la vida útil (rotación), tipo de llenado, sistema de conservación, presentación final.

Condiciones Técnicas para Empacado en Caliente

Esta estructura laminada al tener polietileno en su capa sellante no es recomendada para empacar producto a una temperatura mayor a 80 °C, ya que por encima de esta temperatura se inicia el punto de ablandamiento de dicho material. Igualmente después del empaque en caliente se recomienda hacer un choque térmico con agua a temperatura ambiente (preferiblemente menor a 15 °C). Cada producto, cliente, proceso de empaque es diferente, así que recomendamos que el cliente realice pruebas bajo sus condiciones particulares y valide el uso del material según su necesidad. Para empacar productos a una temperatura mayor a 80 °C, se recomienda utilizar como capa sellante PP.

Regulaciones para uso en alimentos

Las materias primas empleadas en la elaboración de este material (composición PEBD, biorientados), cumplen con las regulaciones de la FDA 21 CFR 177.1520, 21 CFR 177.1630 son aptos para usar en el empaque de alimentos para consumo humano; debido a sus características, se asegura que no se presenta ningún tipo de reacción secundaria en el producto empacado (olor, sabor, coloración).

Los adhesivos para laminación utilizados para la fabricación de este empaque están regulados por Federal Regulation title 21.175.105 adhesives, son aptos para destinarlos al empaque de alimentos para el consumo humano. Las tintas utilizadas en las impresiones, son aptas para usar en empaques que están en contacto con alimentos para consumo humano.

Condiciones de almacenamiento

Se recomienda almacenar el material a temperaturas entre 10-25 °C, con una humedad relativa entre 30-60 %. Teniendo en cuenta el manejo y las condiciones

ANEXO V

CÁLCULO DEL TIEMPO DE VIDA ÚTIL DEL MORTIÑO DESHIDRATADO



Figura AV. 1. Mortiño deshidratado en una estufa

Para determinar la vida útil del mortiño deshidratado, cuya fotografía se presenta en la Figura AV.1, se almacenaron durante 8 semanas 6 muestras de producto a tres condiciones:

- Refrigeración (4 °C)
- Congelación (-17 °C)
- Ambiente (25 °C y 90 % HR)

El parámetro de control es la concentración de antocianinas por ser los compuestos bioactivos más sensibles, se determinó cada semana en el primer mes y cada dos semanas en el segundo mes. Con los resultados de los análisis y aplicando la siguiente fórmula se calculan las velocidades de cambio de concentración a las diferentes temperaturas.

$$\text{Log}(A) = \text{Log}(A_0) - \frac{kt}{2,303}$$

[AV.1]

Donde:

A = concentración (valor) del factor al tiempo t

A_0 = concentración (valor) del factor al tiempo 0

t = tiempo (días)

k = constante de velocidad a la temperatura estudiada

Cálculo:

Tabla AV. 1. Concentración de antocianinas a condiciones de congelación (-17 °C)

Tiempo (semanas)	Antocianinas (mg/100 g PF)	Log[Antocianinas]
0	303,2	2,482
1	301,1	2,479
3	283,5	2,453
4	262,9	2,420
8	262,9	2,420

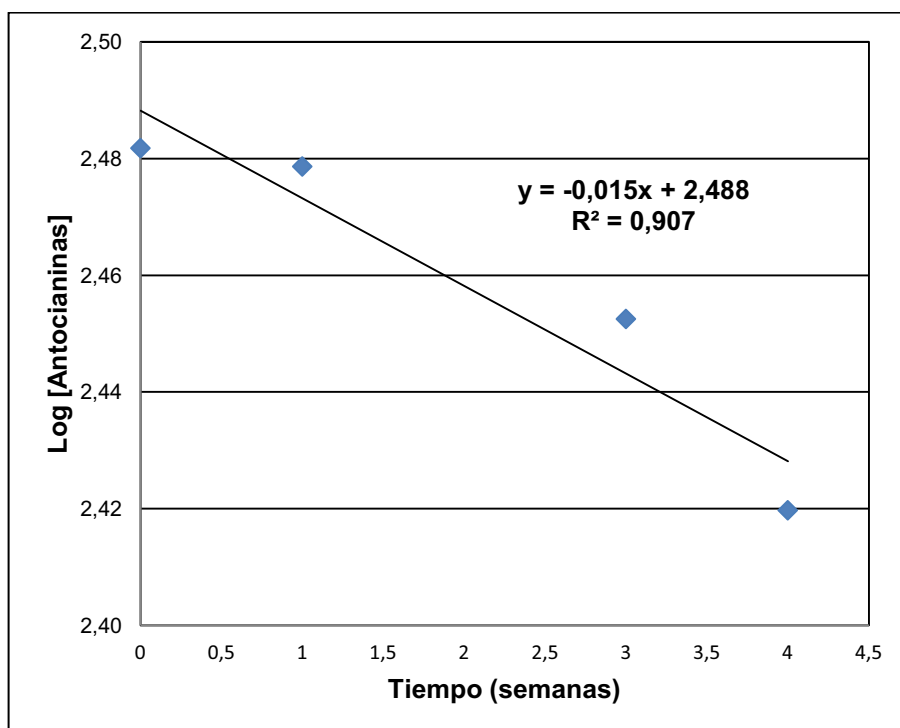
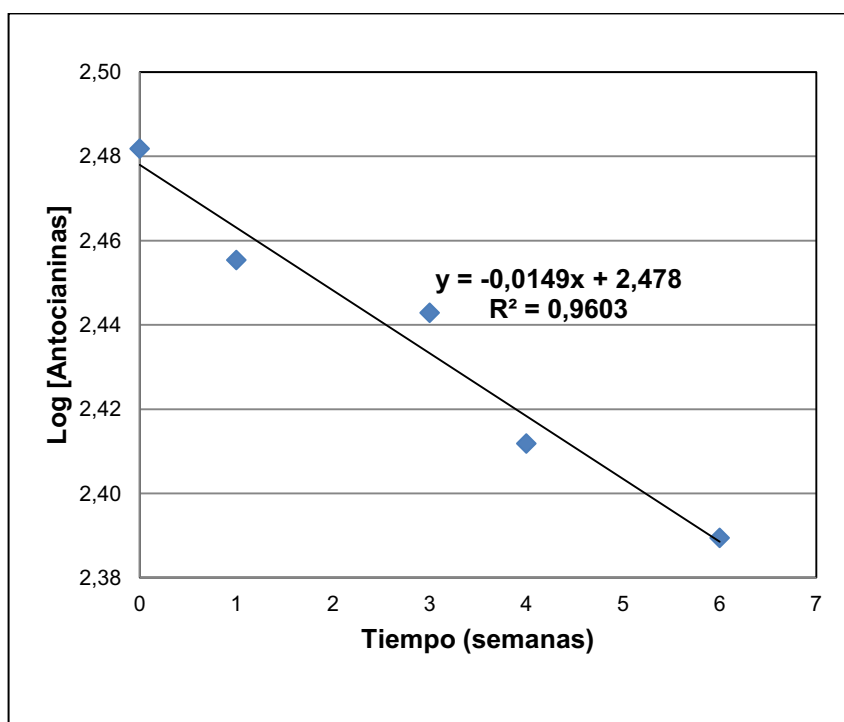


Figura AV. 2. Log de la concentración de antocianinas vs. Tiempo

Tabla AV. 2. Concentración de antocianinas a condiciones de refrigeración (4 °C)

Tiempo (semanas)	Antocianinas (mg/100 g PF)	Log[Antocianinas]
0	303,2	2,481
1	285,3	2,455
3	277,2	2,442
4	258,1	2,411
6	245,1	2,389

**Figura AV. 3.** Log de la concentración de antocianinas Vs. Tiempo**Tabla AV. 3.** Concentración de antocianinas a condiciones ambientales (25 °C y 90 % HR)

t (semanas)	Antocianinas (mg/100 g PF)	Log[Antocianinas]
0	303,2	2,482
1	268,8	2,430
3	265,3	2,424
4	247,5	2,394

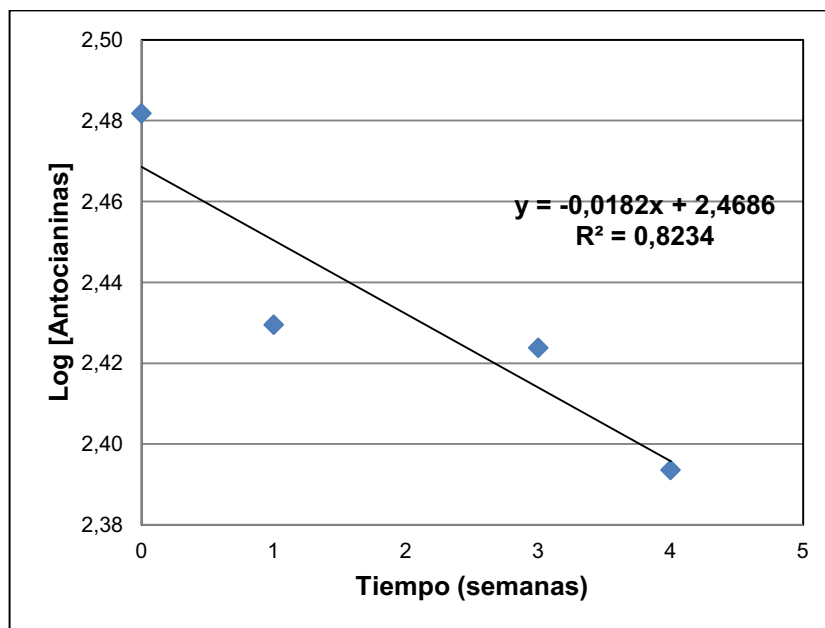


Figura AV. 4. Log de la concentración de antocianinas vs. Tiempo

De los gráficos Log [Antocianinas] vs. Tiempo correspondientes a cada condición de almacenamiento, la pendiente de cada una es igual a $-k/2,203$. Los valores de k se presentan en la Tabla 5.

Tabla AV. 4. Constantes de velocidad a las temperaturas estudiadas

Temperatura (k)	k (semana ⁻¹)	1/T	lnk
256	0,0343	0,0039	-3,373
273	0,0345	0,0037	-3,367
298	0,0419	0,0034	-3,172

Con los valores de k determinados mediante la ecuación de Arrhenius, se determina la energía de activación E y el factor de frecuencia k'

$$\text{Log}(k) = \text{Log}(k') - \frac{E}{RT}$$

[AV.2]

Donde:

k = constante de velocidad a la temperatura T

k' = factor de frecuencia

E = energía de activación

R = constante universal de los gases

T = temperatura absoluta

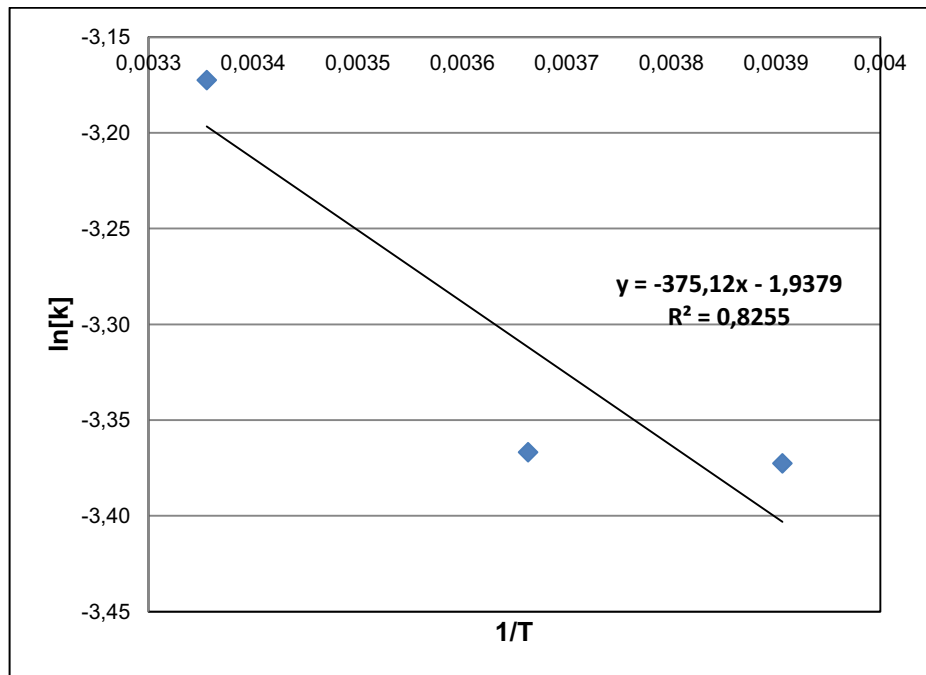


Figura AV. 5. Linealización para determinar el factor de frecuencia y la energía de activación

Factor de frecuencia $k' = 0,144 \text{ semana}^{-1}$

Energía de activación $E = 3,12 \text{ KJ/mol}$

Con base en el modelo, las condiciones iniciales y las críticas y el perfil de condiciones de tiempo y temperatura esperados se estima el tiempo aceptable de almacenamiento (TAA).

Se termina el tiempo en el que la concentración de componentes bioactivos (antocianinas) se reduce a la mitad en referencia a la concentración inicial a 18 °C. A continuación se presenta el ejemplo del cálculo.

$$\text{Log}(k) = \text{Log}(k') - \frac{E}{RT}$$

$$\text{Log}(k) = \text{Log}(0,144) - \frac{3,12 \frac{\text{KJ}}{\text{mol}}}{8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol K}} * (18 + 273)\text{K}}$$

$$k = 0,0396 \text{ semanas}^{-1}$$

$$\text{Log}(A) = \text{Log}(A_o) - \frac{kt}{2,303}$$

$$\text{Log}\left(\frac{303,2}{2}\right) = \text{Log}(303,2) - \frac{0,0396 \text{ semanas}^{-1} t}{2,303}$$

$$t = 4 \text{ meses y } 10,5 \text{ días}$$

ANEXO VI

FORMATO PARA EL ANÁLISIS SENSORIAL



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE LOS ALIMENTOS
Y BIOTECNOLOGÍA**

ANÁLISIS SENSORIAL DE MORTIÑO DESHIDRATADO

Nombre:.....Fecha:.....

Ud. Está recibiendomuestra(s) de mortino deshidratado. Por favor pruébelo y conteste las preguntas calificando la característica indicada con una escala de mayor a menor según sea su percepción organoléptica.

Analice la muestra y marque con una (X) en la línea para indicar la valoración que otorga en cada atributo.

	Negro	Marrón
COLOR	_____	
	Intenso sabor a fruta de mortino	Débil sabor a fruta de mortino
SABOR	_____	
	Suave	Duro
TEXTURA	_____	
	Ninguno	Algunos
SABORES EXTRAÑOS	_____	

Observaciones.....
.....
.....
.....

Gracias por su colaboración