

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA



OBTENCIÓN DE REBANADAS OSMODESHIDRATADAS DE PALTA
(Variedad Hass) PRODUCIDA EN EL DEPARTAMENTO DE TARIJA

Por:

ZULMA LOPEZ RIOS

Proyecto de grado modalidad Investigación Aplicada presentado a consideración
de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como
requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Química.

Septiembre de 2018

TARIJA-BOLIVIA

ADVERTENCIA

El tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo éstas responsabilidad de la autora.

DEDICATORIA

*Le agradezco a Dios ante todo, por darme la vida,
guiarme hacia un camino correcto y estar siempre a mi
lado.*

AGRADECIMIENTOS

A Dios, tu amor y tu bondad no tienen fin, me permitiste sonreír ante todos mis logros que son resultado de tu ayuda, y cuando caigo y me pones a prueba, aprendo de mis errores y me doy cuenta que los pones en frente mío para que mejore como ser humano, y crezca de diversas maneras.

Este trabajo ha sido una gran bendición en todo sentido y te lo agradezco padre, y no cesan mis ganas de decir que es gracias a ti que esta meta está cumplida.

Gracias por estar presente no solo en esta etapa tan importante de mi vida, sino en todo momento ofreciéndome lo mejor y buscando lo mejor para mi persona.

Gracias a todas las personas que fueron partícipe de este proceso, ya sea de manera directa o indirecta, gracias a todos ustedes por realizar su pequeño aporte, que el día de hoy se vería reflejado en la culminación de mi paso por la universidad.

Gracias a mis docentes, ing. Bernardo Echart Limachi, Ing. Juan Pablo Herbas y Ing. Erick Ramírez R. por su apoyo incondicional en este trabajo de investigación, por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento, así como también haberme tenido toda la paciencia del mundo para guiarme durante todo el desarrollo de la tesis; sin cuya colaboración este trabajo hubiera sido mucho más largo y complicado.

Muy especialmente doy gracias, de todo corazón, a mis tribunales por su paciencia, dedicación, motivación, criterio y aliento; ha sido un privilegio poder contar con su guía y ayuda.

ÍNDICE

	Página
Advertencia	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Resumen	iv

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES.....	1
OBJETIVOS	4
OBJETIVO GENERAL.....	4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
JUSTIFICACIÓN	5
ASPECTO DEL MERCADO	5
ASPECTO TECNOLÓGICO.....	6
ASPECTO ECONÓMICO Y SOCIAL	6
ASPECTO AMBIENTAL	7

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 ORIGEN DE LA PALTA	8
1.2 DESCRIPCIÓN TAXONÓMICA DE LA PALTA (<i>Persea americana miller</i>) ...	9
1.3 MORFOLOGÍA Y ESTRUCTURA DE LA PALTA	10
1.3.1 LA PLANTA DE PALTO	10
1.3.1.1 EL TALLO	11
1.3.1.2 LA FLOR	12
1.3.1.3 LAS HOJAS.....	13
1.3.1.4 LA RAIZ.....	13
1.3.1.5 EL FRUTO.....	14
1.3.1.6 LA SEMILLA	15

1.3.2 ESTRUCTURA DEL FRUTO DE LA PALTA	16
1.4 CARACTERÍSTICAS DEL PALTO.....	16
1.5 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA PALTA	18
1.6 BENEFICIOS.....	19
1.7 DISPONIBILIDAD DE LA MATERIA PRIMA (PALTA)	20
1.7.1 Producción Mundial.....	20
1.7.2 Producción de palta en Bolivia	23
1.8 USOS Y DERIVADOS DE LA PALTA	28
1.9 PALTA DESHIDRATADA.....	29
1.9.1 NECESIDAD DE DESHIDRATAR LA PALTA	31
1.9.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LA PALTA DESHIDRATADA	32
1.9.3 PROPIEDADES NUTRICIONALES DE LA PALTA DESHIDRATADA.....	33
1.9.4 PRESENCIA DE LA PALTA DESHIDRATADA EN ALIMENTOS.....	34
1.9.5 APLICACIONES.....	34
1.9.6 MERCADO (INTERNACIONAL Y NACIONAL) DE PALTA DESHIDRATADA	35
1.10 MÉTODOS Y TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE FRUTAS DESHIDRATADAS	37
1.10.1 DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA.....	37
1.10.2 DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE LOS ALIMENTOS.....	38
1.10.3 FENÓMENO QUE OCURRE AL DESHIDRATAR UN ALIMENTO.....	39
1.10.4 PROCESO DE OBTENCIÓN POR DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA (DO)	40
1.10.4.1 APLICACIONES DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA.....	42
1.10.4.2 RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA EN ALGUNAS FRUTAS	43
1.10.5 DESHIDRATACIÓN POR LIOFILIZACIÓN.....	45
1.10.6 SECADO.....	46
1.10.7 SECADO POR AIRE CALIENTE	46

1.10.8 PROCESO DE SECADO AL VACÍO	46
1.11 VENTAJAS Y DESVENTAJA DE LOS MÉTODOS DE OBTENCIÓN DE PALTA DESHIDRATADA.....	47
1.11.1 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS APLICADOS A LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA.....	49
1.12 SELECCIÓN DEL TIPO DE SOLUTOS.....	51
1.13 METODOLOGÍA A SER EMPLEADA EN EL ESTUDIO	51
1.14 SELECCIÓN DEL PROCESO TECNOLÓGICO DE OBTENCIÓN REBANADAS DESHIDRATADAS.....	51
1.14.1 PROCESO DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA A ESCALA DE LABORATORIO	52
1.14.1.1 PRINCIPALES ETAPAS EN LA PREPARACIÓN DE PRODUCTOS DESHIDRATADOS OSMÓTICAMENTE	52
1.14.1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE FRUTAS DESHIDRATADAS OSMÓTICAMENTE	54
1.14.1.2.1 MATERIA PRIMA.....	54
1.14.1.2.2 SELECCIÓN Y CLASIFICACIÓN	54
1.14.1.2.3 PELADO	54
1.14.1.2.4 CORTADO	54
1.14.1.2.5 ESCALDADO.....	54
1.14.1.2.6 INMERSIÓN EN EL JARABE	55
1.14.1.2.7 DESHIDRATACIÓN Y AGITACIÓN	55
1.14.1.2.8 SECADO.....	56
1.14.2 PRINCIPALES PARÁMETROS A EVALUAR DURANTE LA OBTENCIÓN DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA	56
1.14.2.1 CONCENTRACIÓN DEL AGENTE OSMÓTICO	56
1.14.2.2 RELACIÓN FRUTA: JARABE	57
1.14.2.3 AGITACIÓN.....	57
1.14.2.4 TIEMPOS DE PERMANENCIA	57
1.14.2.5 TEMPERATURA DE LA SOLUCIÓN OSMÓTICA	58

1.14.2.6 CONTACTO DE LAS FASES	58
1.14.2.7 EL FENÓMENO OSMÓTICO.....	58
1.14.3 ALGUNOS INCONVENIENTES QUE PUEDEN PRESENTARSE EN EL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA	60
1.14.3.1 CARACTERÍSTICAS SENSORIALES DEL PRODUCTO	60
1.14.3.1.1 PARDEAMIENTO NO ENZIMÁTICO	60
1.14.3.1.2 PARDEAMIENTO ENZIMÁTICO	61
1.14.3.1.2.1 PREVENCIÓN DEL PARDEAMIENTO ENZIMÁTICO	62
1.14.4 MANEJO DE LA SOLUCIÓN DESHIDRATANTE	63

CAPÍTULO II

PARTE EXPERIMENTAL

2.1 INTRODUCCIÓN	64
2.2 DESCRIPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA.....	64
2.3 RECURSOS MATERIALES DISPONIBLES Y EQUIPO.....	65
2.4 DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS, INSTRUMENTOS Y MATERIAL DE LABORATORIO UTILIZADOS EN LA OBTENCIÓN DE REBANADAS DASHIDRATADAS DE PULPA DE PALTA	66
2.4.1 EQUIPOS DE LABORATORIO.....	66
2.4.2 INSTRUMENTOS DE LABORATORIO.....	69
2.4.3 MATERIAL DE LABORATORIO	70
2.5 REACTIVOS QUÍMICOS.....	71
2.6 DISEÑO EXPERIMENTAL	72
2.6.1. PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS.....	73
2.7 DISEÑO FACTORIAL.....	73
2.7.1 VARIABLES Y NIVELES DEL DISEÑO FACTORIAL.....	74
a) CONCENTRACIÓN DEL AGENTE OSMÓTICO.....	74
b) TEMPERATURA.....	75
c) TIEMPO DE OBTENCIÓN	75

d) VARIABLE RESPUESTA.....	75
2.7.2 NIVELES	75
2.7.2.1 CONSTRUCCIÓN DEL DISEÑO FACTORIAL 2^k	76
2.7.2.2 NÚMERO DE COMBINACIONES DEL DISEÑO FACTORIAL.....	76
2.8. METODOLOGÍA A SER EMPLEADA EN EL ESTUDIO	78
2.9. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO EXPERIMENTAL DE OBTENCIÓN DE REBANADAS DESHIDRATADAS DE PULPA DE PALTA.....	78
2.8.1 PALTA (<i>Persea americana miller Hass</i>)	78
2.8.2 SOLUTOS UTILIZADOS	79
2.8.3 ENSAYOS DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA PARA ANALIZAR EL EFECTO DE LAS DISTINTAS VARIABLES SOBRE LA PÉRDIDA DE PESO DURANTE EL PROCESO.....	80
2.8.4 DESCRIPCIÓN DE EXPERIENCIAS DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA	80
2.9 DESCRIPCIÓN DE LAS ETAPAS DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE REBANADAS DESHIDRATADAS DE PALTA (<i>Variedad Hass</i>)	81
2.9.1 RECOLECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA	83
2.9.2 SELECCIÓN Y CLASIFICACIÓN	83
2.9.3 LIMPIEZA O LAVADO	83
2.9.4 PELADO Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.....	84
2.9.5 CORTADO	85
2.9.6 PESADO DE LAS MUESTRAS DE PALTA Y DE LOS SOLUTOS PARA PREPARAR LA SOLUCIONES	85
2.9.7 PESADO DE LA MUESTRA	86
2.9.8 ESCALDADO O INACTIVACIÓN DE ENZIMAS	87
2.9.9 PREPARACIÓN DEL JARABE O AGENTE OSMÓTICO	87
2.9.10 DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA CON AGITACIÓN (INMERSIÓN EN EL JARABE)	90
2.9.11 CONDICIONES DE OPERACIÓN	90
2.9.12 LAVADO.....	93

2.9.13 PESADO DE LAS REBANADAS OSMODESHIDRATADAS	93
2.9.14 SECADO EN UN SECADOR A VACÍO	94
2.9.15 DETERMINACIÓN DE HUMEDAD DE LAS REBANADAS DESHIDRATADAS DE PULPA DE PALTA	95
2.9.16 ENVASADO Y PRESENTACIÓN	98
2.9.17 ALMACENAMIENTO DEL PRODUCTO FINAL	99
2.9.18 METODOLOGÍA DE CÁLCULO	100
2.9.18.1 DETERMINACIÓN DE HUMEDAD DE LAS REBANADAS DE PULPA DE PALTA DESHIDRATADA OSMÓTICAMENTE.....	100
2.9.18.1.1 MEDICIÓN DE LA TRANSFERENCIA DE MASA.....	100
2.9.18.1.2 PÉRDIDA DE PESO (PP)	100
2.9.18.1.3 CONTENIDO DE SÓLIDOS TOTALES (ST)	101
2.9.18.1.4 PORCENTAJE DE HUMEDAD BASE HÚMEDA	101
2.9.18.1.5 PÉRDIDA DE AGUA (PA).....	101
2.9.18.1.6 GANANCIAS DE SÓLIDOS	102

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 ANÁLISIS DE LA MATERIA PRIMA Y PRODUCTO FINAL.....	104
3.1.1 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE LA MATERIA PRIMA.....	104
3.1.1.1 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE LA MATERIA PRIMA	105
3.2 ENSAYOS PRELIMINARES DE OBTENCIÓN DE REBANADAS DESHIDRATADAS DE PULPA DE PALTA (Persea americana Miller)	106
3.3 DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN, TEMPERATURA Y TIEMPO DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE REBANADAS DESHIDRATADAS DE PULPA DE PALTA.....	106
3.3.1 DISEÑO EXPERIMENTAL EN EL PROCESO DE OBTENCIÓN DE REBANADAS DESHIDRATADAS DE PULPA DE PALTA (Variedad hass)	107

3.3.1 INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS SOBRE EL RENDIMIENTO Y HUMEDAD	108
3.3.1.1 HUMEDAD	109
3.3.1.2 RENDIMIENTO	112
3.4 OBTENCIÓN DE LAS REBANADAS DESHIDRATADAS	114
3.5 CURVAS DE SECADO PARA UN EXPERIMENTO DE LA MATERIA PRIMA Y PRODUCTO FINAL EN DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA	115
3.5.1 DATOS OBTENIDOS DE UN EXPERIMENTO	116
3.6 ANÁLISIS DE LA GANANCIA DE SÓLIDOS EN EL PRODUCTO DURANTE EL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA	122
3.7 RESULTADOS DEL DISEÑO FACTORIAL	131
3.7.1 INFLUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN, TEMPERATURA Y TIEMPO EN LA DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DE REBANADAS DESHIDRATADAS	131
3.8 RESULTADO DE LA CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LAS REBANADAS DESHIDRATADAS OBTENIDAS A PARTIR DE PULPA DE PALTA (<i>Persea americana miller Hass</i>)	133
3.8.1 PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DEL PRODUCTO FINAL	133
3.9 COMPARACIÓN DEL ASPECTO DE LAS REBANADAS DE PALTA PARA DIFERENTES TIEMPOS DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA Y DISTINTAS CONCENTRACIONES DE SACAROSA-GLUCOSA LUEGO DE UNA SEMANAS EN CONDICIONES AMBIENTALES	134
3.10 BALANCE DE MATERIA EN LAS ETAPAS DEL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN	136
3.10.1 BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA EN EL PROCESO	138
3.10.1.1 BALANCE DE MATERIA EN LA ETAPA DE DESPEPADO	140
3.10.1.2 BALANCE DE MATERIA EN LA ETAPA DE CORTADO	140
3.10.1.3 BALANCE DE MATERIA EN LA ETAPA DE PESADO DE LAS REBANADAS DE PULPA DE PALTA	141

3.10.1.4 BALANCE DE MATERIA EN LA ETAPA DE PREPARACIÓN DEL AGENTE OSMÓTICO (JARABE)	142
3.10.1.5 BALANCE EN EL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA Y AGITACIÓN.....	143
3.10.2 BALANCE DE ENERGÍA PARA EL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE LA PALTA	145
3.10.3 BALANCE DE ENERGÍA EN EL AGITADOR MAGNÉTICO (PROCESO DE DESHIDRATACIÓN).....	148
3.11 DETERMINACIÓN DEL COSTO DE OBTENCIÓN DE REBANADAS DESHIDRATADAS DE PALTA A ESCALA LABORATORIO	150
3.11.1 Costos de la materia prima y reactivos	151
3.11.2 Costos de energía eléctrica.....	151

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES	152
4.2 RECOMENDACIONES	154
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	155

ÍNDICE DE TABLAS

	Páginas
Tabla 1: Principales países productores de palta en el mundo, 2013 en Toneladas Métricas (Tm).....	2
Tabla I-1: Taxonomía de la Palta	10
Tabla I-2: Composición química y nutricional de la palta madura fresca de la variedad Hass	18
Tabla I-3: Principales Países Productores de Palta en el mundo, 2013 en Toneladas Métricas (Tm).....	21
Tabla I-4: Superficie, Producción y Rendimiento de palta (variedad Hass) por departamentos	24
Tabla I-5: Evolución de la producción de palta en Bolivia (6 años).....	25
Tabla I-6: Rendimiento de producción (Kg/ha)	26
Tabla I-7: Producto de mayor valor económico en México.....	31
Tabla I-8: Características físicas y químicas de la palta deshidratada	32
Tabla I-9: Principales países exportadores palta fresca y seca	36
Tabla I-10: Pérdida de agua alcanzada a través del proceso de Deshidratación Osmótica en diferentes frutas.....	44
Tabla I-11: Ventajas y desventaja de los métodos apropiados para la deshidratación del palta	48
Tabla I-12: Análisis comparativo de métodos aplicados a la deshidratación de palta	49

CAPÍTULO II

PARTE EXPERIMENTAL

Tabla II-1: Niveles de maduración de la palta de la variedad Persia Americana Hass	65
Tabla II-2: Material de laboratorio.....	70

Tabla II-3A: Reactivos químicos para el proceso de obtención experimental de rebanadas deshidratadas de pulpa de palta.....	71
Tabla II-3B: Reactivos químicos para preparar la solución osmótica en el proceso de obtención experimental de rebanadas deshidratadas de pulpa de palta	71
Tabla II-4: Niveles decodificados de las variables	76
Tabla II-5: Matriz de diseño experimental codificada (2^3)	77
Tabla II-6: Matriz de diseño experimental codificada con los parámetros de estudio (2^3).....	77
Tabla II-7: Datos de la pérdida de agua de las rebanadas osmodeshidratadas en función del tiempo de secado.....	97

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla III-1: Análisis fisicoquímico de la materia prima pulpa de palta (Variedad Hass).....	105
Tabla III-2: Datos experimentales de pérdida de peso y % humedad de las rebanadas deshidratadas de palta para un diseño experimental 2^3	108
Tabla III-3: Porcentaje de humedad Rep. I, Rep. II y promedio de las dos repeticiones de las rebanadas deshidratadas osmóticamente de palta (variedad Persea Americana Hass) obtenida en forma experimental para el diseño 2^3	110
Tabla III-4: Rendimiento de obtención de rebanadas deshidratadas de palta.....	113
Tabla III-5: Rendimiento del proceso de obtención mediante la deshidratación osmótica	115
Tabla III-6: Humedad del producto obtenido (rebanadas deshidratadas palta)	116
Tabla III-7: Datos experimentales utilizados para realizar un experimento	116
Tabla III-8: Datos experimentales de porcentaje de humedad de la palta (materia prima) y producto final (rebanadas deshidratadas de palta) para un ensayo elegido	117

Tabla III-9: Datos de contenido de humedad de las rebanadas deshidratadas para distintas concentraciones de sacarosa-glucosa en la solución (70 % m/m y 60 % m/m)	119
Tabla III-10: Reducción de sólidos soluble (60°Brix) del agente osmótico a las temperaturas de (40-50) °C y Tiempos de 2:30 y 3:30 horas y media.....	123
Tabla III-11: Reducción de la concentración de 70°Brix del agente osmótico a las temperaturas de (40-50) °C y Tiempos de (2:30 y 3:30) horas.....	126
Tabla III-12: Sólidos solubles adheridos en las rebanadas deshidratadas de palta en la solución de 70 °Brix del agente osmótico a las condiciones de proceso (3:30 horas y 40 °C	129
Tabla III-13: Nomenclatura utilizada en el análisis estadístico	131
Tabla III-14: Análisis de varianza del diseño experimental 23 en el proceso de obtención de rebanadas deshidratadas de pulpa de palta (Persea americana Hass) para un nivel de significancia del 5%	132
Tabla III-15: Propiedades fisicoquímicas de las rebanadas deshidratadas de pulpa de palta.....	134
Tabla III-16: Datos del proceso de obtención de las rebanadas osmodeshidratadas	139
Tabla III-17: Potencia y tiempo de trabajo del agitador magnético y secador a vacío en el proceso de obtención de rebanadas deshidratadas de pulpa de palta	146
Tabla III-18: Costo de materia prima y reactivos	151
Tabla III-19: Costo de Energía eléctrica	151

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1-1: Planta de palto y palta variedad Hass (Persea americana Millar)	9
Figura 1-2: Planta de palta	11
Figura 1-3: Tallo de la planta de palta	11
Figura 1-4: Flor	12
Figura 1-5: Hojas.....	13
Figura 1-6: Raíz.....	14
Figura 1-7: Semilla.....	15
Figura 1-8: Estructura de la palta	16
Figura 1-9: Palta (variedad Hass).....	17
Figura 1-10: Principales países productores de palta en el mundo	23
Figura 1-11: Producción de palta (variedad Hass) por departamentos	25
Figura 1-12: Producción de palta (variedad Hass) en hectáreas	26
Figura 1-13: Rendimiento de producción de palta (variedad Hass) durante seis años	27
Figura 1-14: Tipos de consumo de la palta	29
Figura 1-15: Presentación de la palta deshidratada en polvo y hojuelas.....	31
Figura 1-16: Principales países exportadores de palta fresca y seca.....	37
Figura 1-17: Flujo de solutos y de agua en el producto alimenticio inmerso en la solución hipertónica	40
Figura 1-18: Etapas principales en el procesamiento de productos deshidratados osmóticamente.....	53
Figura 1-19: Representación esquemática del transporte de masa durante la deshidratación osmótica	59
Figura 1-20: Fases de transformación enzimática.....	61

CAPÍTULO II

PARTE EXPERIMENTAL

Figura 2-1: Diagrama de flujo del proceso de obtención experimental de rebanadas deshidratadas de pulpa de palta.....	82
Figura 2-2: Curva de secado de las rebanadas osmodeshidratadas (40°C).....	98

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Figura 3-1: Efecto de la concentración de obtención sobre el porcentaje de humedad de las rebanadas deshidratadas de palta	111
Figura 3-2: Figura “Concentración vs Tiempo” con datos obtenidos para los 8 ensayos; variación del peso para distintas concentraciones del agente deshidratante	114
Figura 3-3: Humedad retenida por las rebanadas de palta durante la experiencia de deshidratación osmótica, desde un valor inicial en la palta fresca de 61,7 % hasta un valor final de 23,37 %, luego de 3:30 horas de deshidratación a 40 °C y de la materia prima (pulpa de palta)	118
Figura 3-4: Humedad de las rebanadas de palta en función del tiempo para distintas concentraciones de sacarosa-glucosa en la solución (60% m/m y 70% m/m), concentración de Cl ₂ Ca 1% m/v, relación masa de solución a masa de palta de 25, temperatura de 40°C, nivel de agitación 350-700 rpm y rebanadas de 3mm de espesor	121
Figura 3-5: Reducción de 60°Brix del agente osmótico a la temperatura de 40 ° C durante 2:30 horas	124
Figura 3-6: Reducción de sólidos solubles en la solución a la temperatura de 50°C durante 3:30 horas	124
Figura 3-7: “Concentración vs Tiempo” disminución de los sólidos solubles en la solución deshidratante medido cada media hora de operación (3:30) horas.....	127

Figura 3-8: “Concentración vs Tiempo” disminución de los sólidos solubles en la solución deshidratante medida cada media hora de operación (2:30) horas	128
Figura 3-9: Concentración (sólidos solubles) adherida en las rebanadas deshidratadas de palta a las distintas concentraciones de la solución.....	130
Figura 3-10: Balance de materia en las etapas del proceso de deshidratación.....	137
Figura 3-11: Etapa de despulpado.....	140
Figura 3-12: Etapa de cortado	141
Figura 3-13: Etapa de pesado.....	142
Figura 3-14: Preparación del agente osmótico.....	143
Figura 3-15: Etapa de deshidratación osmótica	144

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Página

CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO

Fotografía 1-1: Fruto (variedad Hass).....	15
--	----

CAPÍTULO II PARTE EXPERIMENTAL

Fotografía 2-1: Pulpa de palta.....	64
Fotografía 2-2: Balanza analítica	66
Fotografía 2-3: Calentador-agitador magnético.....	67
Fotografía 2-4: Balanza de humedad	68
Fotografía 2-5: Refractómetro.....	69
Fotografía 2-6: Termómetro.....	69
Fotografía 2-7: pH-metro digital.....	70
Fotografía 2-8: Reactivos Químicos	72
Fotografía 2-9: Palta variedad Hass	79
Fotografía 2-10: Palta con grado de madurez B.....	83
Fotografía 2-11: Lavado de la cáscara de palta.....	84
Fotografía 2-12: Pelado.....	84
Fotografía 2-13: Cortado de la pulpa de palta en rebanadas.....	85
Fotografía 2-14: Pesado de la palta entera en la balanza analítica.....	86
Fotografía 2-15: Pesado de la palta cortada en rebanadas	86
Fotografía 2-16: Escaldado de las rebanadas (palta).....	87
Fotografía 2-17: Medición del volumen correcto de agua para preparar el agente osmótico	88
Fotografía 2-18: Preparación del agente osmótico.....	89
Fotografía 2-19: Concentración del agente osmótico	89

Fotografía 2-20: Reposo del agente osmótico por una hora	89
Fotografía 2-21: Desarrollo de la deshidratación osmótica	91
Fotografía 2-22: Agitador magnético y el sistema: palta-solución en su Interior.....	92
Fotografía 2-23: Palta deshidratada	92
Fotografía 2-24: Pesado de las rebanadas osmodeshidratadas.....	93
Fotografía 2-25: Medición de °Brix del agente osmótico.....	93
Fotografía 2-26: Secador a vacío	94
Fotografía 2-27: Rebanadas deshidratadas y secado a vacío	95
Fotografía 2-28: Secador infrarojo.....	96
Fotografía 2-29: Envasado de las rebanadas osmodeshidratadas	99
Fotografía 2-30: Producto final rebanadas osmodeshidratadas de palta.....	99

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fotografía 3-1: Rebanadas de palta deshidratadas osmóticamente en solución de concentraciones de sacarosa-glucosa 70% y 60% m/m durante distintos tiempos de tratamiento 2:30 y 3:30 horas, luego de transcurrida una semana al ambiente sin ningún tipo de tratamiento químico y/o físico para su conservación.....	136
--	-----

NÓMINA DE ANEXOS

- Anexo 1. Informe de análisis físico-químico de pulpa de palta (materia prima)
- Anexo 2. Informe de análisis fisicoquímico de las rebanadas osmodeshidratadas de palta
- Anexo 3. Cálculo del porcentaje de humedad de las rebanadas osmodeshidratadas de palta (variedad hass) obtenida en forma experimental
- Anexo 4. Diseño factorial
- Anexo 5. Tabla estadística

ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍA

ABREVIATURAS

a_w	Es la actividad del agua
ANOVA	Análisis de varianza
CEANID	Centro de análisis, investigación y desarrollo
(FV)	Fuente de variación
(SC)	Suma de cuadrados
(GL)	Grados de libertad
(CM)	Cuadrados medios
(Fcal.)	Fisher calculado
(Ftab.)	Fisher tabulado
Cl ₂ Ca	Cloruro de calcio
% M/V	Es la cantidad en gramos de soluto por cada 100ml de solución (Porcentaje masa en volumen)
Cl ₂ Ca	Cloruro de calcio
(FV)	Fuente de variacion
μ_o	Es el potencial químico del disolvente puro a la temperatura en cuestión
μ	Es el potencial químico del agua
π	Es la presión osmótica
T	Es la temperatura a la cual se desea calcular μ
R	Es la constante de los gases reales
V	Es el volumen molar parcial del agua
P	Es la presión de vapor del agua en la solución a la temperatura T
Po	Es la presión de vapor de agua pura a igual temperatura T
W	Unidad de Potencia Hertz
PP	Pérdida de peso
ST	Solidos totales
PA	Pérdida de agua

GS	Ganancia de solidos
ST°	Sólidos totales iniciales
SS	Sólidos solubles en la solución
mo	Masa inicial
mf	Masa final
ms	Masa de muestra seca
N°	Número
w/w	Relación peso
% m/m	Es la cantidad en gramos de soluto por cada 100 gramos de solución (porcentaje masa en masa o peso en peso)
Tdo	Tiempo de deshidratado
Tsv	Tiempo de secado a vacío
LA	Peso del agua
LB	Peso cáscara extraída (Desperdicio) y pepa
LC	Pulpa de palta
LD	Retazos de palta sobrante del corte
LE	Palta cortada en rebanadas en el tamaño correspondiente
LF	Pesado de palta lista para introducir al agente osmótico
LG	Peso sobrante palta cortada
LH	Peso agua para la preparación del agente osmótico
LI	Peso de sacarosa utilizada para la preparación del agente osmótico
LJ	Peso de glucosa utilizada para la preparación del agente osmótico
LK	Peso de cloruro de calcio para la preparación del agente osmótico
LL	Peso del agente osmótico utilizado para la deshidratación
LM	Peso final de las rebanadas osmodeshidratadas
LN	Peso final de la solución
LO	Fracción de la perdida de agua
LP	Sólidos solubles presentes en la solución al final de la deshidratación osmótica
LQ	Fracción de sólidos solubles

L_R	Fracción de la humedad inicial de la palta
L_S	Fracción de agua en el agente osmótico
L_T	Humedad inicial de la palta
L_u	Humedad final de las rebanadas osmodeshidratadas
kg	Kilógramo
°c	Grados Celsius
Q	Calor
M	Masa
Tf	Temperatura final
Cp	Capacidad Calorífica
To	Temperatura inicial
Δv_{ap}	Lamda de vaporización
H	Hora
g	Gramos
Hz	Hercio unidad de frecuencia
L	Litro
V	Voltios
A	Amperio
mm	Milímetros
ml	Mililitros
min	Minutos
rpm	Revoluciones por minuto
%	Porcentaje
Mg	Miligramos
°Brix	Grados brix
kw	kilovatio
Tm	Toneladas métricas
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

RESUMEN

El presente trabajo se enfocó en el estudio y análisis de las variables que afectan el secado de un producto frutícola como es la palta. El procesamiento de la palta presenta algunos problemas como pardeamiento enzimático, y generación de olores y sabores extraños como resultado de la aplicación de tratamiento térmico, factores que limitan la conservación de la palta mediante la aplicación de métodos tradicionales.

Con base en esto, en primer lugar se someten rebanadas de palta a una deshidratación osmótica seguida de un secado a vacío. El proceso de deshidratación se realizó con rebanadas de 3mm de espesor, de palta variedad Hass, con un grado de madurez B y se utilizaron dos concentraciones osmóticas (sacarosa-glucosa): 60 y 70°Brix; las rebanadas se sumergieron en la solución de sacarosa-glucosa a dos temperaturas diferentes (40 y 50°C), dos tiempos diferentes (2:30 y 3:30 hrs), y se obtuvieron las curvas de secado, pérdida de agua, pérdida de peso, ganancia de sólidos.

Para obtener rebanadas osmodeshidratadas de pulpa de palta se seleccionó el diseño factorial (2^3), es decir, que es un diseño experimental en el cual hay tres factores o variables, cada uno con dos niveles, por lo que el número de combinaciones de tratamientos entre las variables o número de pruebas será igual a 8; las variables establecidas son las siguientes:

Concentración C (-1) = 60°Brix

C (+1) = 70°Brix

Temperatura T (-1) = 40°C

T (+1) = 50°C

Tiempo t (-1) = 2:30hrs

t (+1) = 3:30hrs

Luego de realizar los ensayos respectivos, las rebanadas se secaron en una segunda etapa al vacío a 40 °C. De los datos obtenidos se observa que en la deshidratación osmótica se presenta mayor deshidratación a las concentraciones, temperaturas y tiempos mayores y que en la mayoría de los casos la pérdida de peso fue ligeramente mayor a la pérdida de agua, lo que implica que se pierden más sólidos durante el manejo de las muestras (lavado y secado), que la que gana durante el proceso de secado.

El análisis del color de las rebanadas deshidratadas por el método OSMO-VACÍO, mantiene las características similares a las originales (palta fresca, tendiendo un poco de pérdida de luminosidad), que depende prácticamente de las dos temperaturas de proceso (osmótico y vacío) y tipo de soluto utilizado. El producto seco conserva su estructura, su forma, color y sabor.

Los análisis fisicoquímicos del producto obtenido fueron realizados en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID), dependiente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho donde se determinó: Proteína total (3.46%) que presentó un bajo índice de proteína comparado con lo que se señala (Cornejo, V. 2010), materia grasa (12,55%), fibra (12,52%), cenizas (1,40%), hidratos de carbono (75,42%) y humedad (7,20%) cuyos valores muestran que el producto se encuentra dentro de los parámetros establecidos para el consumo de rebanadas osmodeshidratadas de pulpa de palta por lo cual el producto se puede consumir inmediatamente en forma de cereal, enriquecedor de otros alimentos, etc.

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

La palta es una laurácea de gran importancia en el mundo originaria de América central, es una planta perenne, cuyo ciclo vegetativo oscila entre 8 a 10 meses, las hojas brillantes y flores crecen en racimos, la semilla generalmente es pequeña de 5 a 6 centímetros de largo, es de forma ovalada. El fruto del palto “la palta es de forma de una pera, de color verde claro a verde oscuro y de violeta a negro, cáscara rugosa con una pulpa verde amarillenta (SFA, 2011), la palta es rica en grasas monoinsaturadas, vitaminas, minerales y proteínas, en algunas variedades como el caso de la variedad Hass presenta alrededor del 12 al 25 % de aceite respecto a su peso seco, contiene vitaminas E, A, B1, B2, B3, D y en menor cantidad C, es rica en minerales contiene hierro, fósforo y magnesio (ECO agricultor, 2018).

En Europa y Oceanía el cultivo tiene poca relevancia, debido a la escasez de precipitaciones en el sur y a las bajas temperaturas en el norte; sin embargo, el continente que más importa es Europa (FAOSTAT, 2000), en este continente existe un consumo elevado de polvo u hojuelas (palta deshidratada), destinada a la preparación de comidas o ensaladas con otras frutas deshidratadas (Villafan, D. 2014); en países como Francia, Reino Unido y Holanda, el crecimiento del consumo anual es del 30%, y se prevé que sea así durante los 5 próximos años, Alemania, Italia tienen un consumo elevado pero en menor cantidad que Francia (Martínez, O. 2017). En la actualidad México es el principal productor de palta en el mundo con el 34% de la producción mundial, sin embargo el cultivo de palta en América del Sur ha aumentado en los últimos años, ya que Colombia, Perú, Chile y Brasil tienen el 22% de la producción mundial (PRONAGRO, 2016). Según el Instituto Nacional de Estadísticas (INE)- Censo Nacional Agropecuario (CNA, 2013) que rescata cifras del año agrícola 2013, la producción de palta en Bolivia tiene una superficie de 2283,5 hectáreas; la producción de palta es 4604,7 toneladas métricas; a diferencia de México que fue el mayor productor de palta, concentrando el 31,117% de la producción mundial; le siguió República Dominicana con el 8,216%; Colombia con

el 6,431%; Perú con el 6,113%; Indonesia con el 5,857%; Kenia con el 4,059%; Estados Unidos con el 3,715%; Chile con el 3,493%; Brasil con el 3,338% (Carvajal, A. 2014), y Bolivia produce 0,097% de la producción mundial (CNA, 2013); la tabla n°1 muestra datos en volumen que registran una producción en toneladas métricas anuales. La capacidad de Bolivia fue de 4604,7 toneladas métricas; es uno de los países que no se encuentra entre los principales productores del mundo.

En la tabla 1, se muestra datos de los principales países productores de palta y la producción en Bolivia; datos obtenidos de FAOSTAT (Base de Datos Estadísticos Corporativos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación).

Tabla 1:
Principales países productores de palta en el mundo, 2013 en Toneladas Métricas (Tm)

PAÍSES	AÑO 2013
México	1.467.837,00
República Dominicana	387.546,00
Colombia	303.340,00
Perú	288.387,00
Indonesia	276.311,00
Kenia	191.505,00
Estados Unidos	175.226,00
Chile	164.750,00
Brasil	157.482,00
Bolivia	4.604,70

Fuente: Elaboración propia con datos de FAOSTAT, 2018

La palta es una fuente abundante y valiosa de vitaminas y minerales, ya que además de ser de gran calidad, cuenta con un adecuado contenido de aminoácidos esenciales y grasa monoinsaturados que representan beneficios importantes para la salud; entre ellos se encuentran la capacidad de reducir los niveles de colesterol en la sangre y paredes de las venas y arterias; por su contribución en vitamina E actúa como antioxidante y contribuye a reducir el riesgo de múltiples enfermedades. Actualmente, la mayor parte de la producción de palta es consumida en fresca o pulpa procesada en forma de guacamol, también es procesada para la obtención de aceite de palta, tanto para uso alimentario como para cosméticos y una pequeña cantidad de polvo u hojuelas que generalmente se consume en países europeos. También se utiliza para fabricar otros productos terminados tales como aceite, shampoo, cosméticos y otros (ANACAFE, 2004).

El fruto de la palta es muy susceptible a los procesos que se realizan para su conservación. De los estudios reportados acerca de la palta aproximadamente el 12 % de ellos se refiere a aspectos tecnológicos (México), ya sea para conservación del fruto entero o para la industrialización de la parte comestible; en rebanadas, como pasta y guacamole entre otros productos elaborados a base de palta, entre estos también se incluye el aceite de palta (Cornejo, V. 2010).

En el mundo se han desarrollado técnicas para la conservación de la palta o productos elaborados a partir de la fruta; a continuación se nombran los diferentes métodos de conservación que se han aplicado a la palta:

Dentro de los métodos de conservación que se han estudiado para la pulpa de la palta están:

- La conservación por frío (congelación).
- Atmósferas controladas.
- Tratamientos térmicos.
- Liofilización.

- Preservación por adición de aditivos.

Las rebanadas deshidratadas de pulpa de palta tienen una alta cantidad y calidad de vitaminas, minerales, proteínas y carbohidratos que generalmente contienen vitaminas E, A, B1, B2, B3, D; minerales muy ricos con 14 variedades destacan el hierro, fósforo y magnesio; contiene los ocho aminoácidos esenciales; tiene varias aplicaciones, una de ellas es elevar el valor nutritivo de otros alimentos. Se usa ampliamente como suplemento alimenticio, para sustituir otros cereales y en otros alimentos enriquecidos para diversificar su uso y existe gran demanda; por esta razón más países están comenzando a elaborar palta deshidratada debido a su gran demanda en el continente europeo, americano y Oceanía. Con el fin de brindarles a los consumidores un producto con características similares al fruto fresco, alto valor nutritivo; alargando su vida útil y que se encuentre disponible todo el año en los mercados (Villafan, D. 2014).

El presente trabajo de investigación se enfoca en la elaboración de rebanadas deshidratadas de pulpa de palta a escala laboratorio, presentándose una descripción de los principios fundamentales del proceso de elaboración de este producto, ya que este producto es de alto valor nutritivo que contiene vitaminas, minerales, aminoácidos esenciales que son importantes en la alimentación humana porque permite llevar una vida saludable, previene enfermedades cancerígenas, cardiovasculares, y permite regular el nivel de azúcar en la sangre lo cual es aconsejable para personas diabéticas (SAGARPA, 2011). Este producto puede ser incorporado en las dietas alimentarias como enriquecedor nutritivo en otros alimentos como sopas, cereales, pastas, etc. (SAGARPA, 2011).

OBJETIVOS

Los objetivos que se persiguen en la presente investigación son:

OBJETIVO GENERAL

Obtener (a escala laboratorio) rebanadas osmodeshidratadas de palta (Variedad *Hass*) producida en el departamento de Tarija.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las propiedades fisicoquímicas de la palta (Variedad *Hass*) producida en el departamento de Tarija, para la obtención de rebanadas osmodeshidratadas.
- Analizar y seleccionar el proceso tecnológico de obtención de rebanadas deshidratadas de palta (variedad *Hass*) producidas en el departamento de Tarija.
- Formular la fase experimental para el proceso de obtención de rebanadas osmodeshidratadas de palta (variedad *Hass*) producidas en el departamento Tarija.
- Caracterizar el producto obtenido, determinando las propiedades fisicoquímicas de las rebanadas osmodeshidratadas de palta obtenidas (variedad *Hass*) producido en el departamento de Tarija.
- Analizar y valorar los resultados del proceso de obtención de rebanadas osmodeshidratadas a partir de palta (variedad *Hass*) producidas en el departamento de Tarija.

JUSTIFICACIÓN

La justificación del proyecto de investigación se sustenta bajo 4 aspectos:

Aspecto del mercado.

Aspecto tecnológico.

Aspecto económico social.

Aspecto ambiental.

ASPECTO DEL MERCADO

Dado que existen en el país zonas que no producen suficiente palta, por condiciones climáticas, existe un posible mercado de consumo de rebanadas osmodeshidratadas en el país, estas son las zonas altiplánicas del país, Oruro y Potosí que producen una pequeña cantidad que no abastece y valles altos del departamento de Tarija. Con los objetivos de la presente investigación, se tiene el propósito de alargar la vida útil de la

palta para su consumo en cualquier época del año y en cualquier parte del país; Ofrecer un producto novedoso en el mercado local, nacional con el fin de que sea incorporado en las dietas alimentarias de las personas ya que cuenta con distintas bondades para la salud.

ASPECTO TECNOLÓGICO

En la mayoría de los países sud desarrollados, como Bolivia, la abundancia natural de frutas frescas tropicales (palta) deja frecuentemente excedentes con respecto a la demanda del mercado local, por ejemplo (Tarija), deteriorándose la fruta sin darle un valor agregado debido a que no se lleva un seguimiento estadístico a nivel nacional, ni departamental de la producción de la palta. El producto que se pretende elaborar usa tecnología apropiada para generación de nuevos productos (rebanadas osmodeshidratadas a partir de pulpa de la palta) que use tecnología adecuada para su obtención.

ASPECTO ECONÓMICO Y SOCIAL

La palta es una fruta delicada que se deteriora muy rápidamente en condiciones normales, tanto por el manipuleo como por el transporte inadecuado, desde los lugares de producción hasta los mercados de consumo. Por lo tanto, el agricultor no incentiva su producción por la falta de vinculación caminera entre las comunidades y más aún por la ausencia de industrias procesadoras de fruta.

Debido a las épocas de cosecha y de pérdidas del excedente de palta de los lugares de producción y del mercado local, se pretende dar una alternativa para la conservación de la palta, como es la deshidratación osmótica de la fruta, llegando a obtener un producto de humedad intermedia o terminados, con tal fin además de dar uso a la materia prima excedente introducir un producto nuevo al mercado local con características organolépticas similares a los de la fruta fresca (rebanadas de la pulpa de palta deshidratadas). De esta manera se conseguirá incrementar los ingresos económicos de los productores, con lo cual también se pretende mejorar la calidad de vida de las personas generando nuevas fuentes de trabajo.

ASPECTO AMBIENTAL

La acumulación de residuos orgánicos en la intemperie se convierte en un problema sanitario que ayuda a la proliferación de insectos, hongos, bacterias y olores de descomposición.

Por lo tanto, se pretende aprovechar de manera óptima la palta que se desperdicia por la gran oferta existente en épocas específicas del año, transformando su pulpa en un subproducto con alto valor agregado como son las rebanadas deshidratadas (producto muy requerido en el mercado europeo, EE.UU), y así disminuir el impacto negativo al medio ambiente producido por los desperdicios generados por la alta producción sin consumo, además de generar ingresos económicos para el departamento.

Los residuos (semilla) pueden ser aprovechados para la obtención de (colorante natural).

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 ORIGEN DE LA PALTA

El aguacate o palto (*Persea americana* Miller), es una especie frutal de hoja persistente originaria de México, Centro América y las Antillas. Perteneció al Orden Ranales, Familia Lauráceas, Género *Persea*. En la actualidad, se encuentra distribuido en gran parte del planeta, agrupándose mayoritariamente en los climas tropicales y sub tropicales (Soto, A. 1995).

Desde el punto de vista botánico y agronómico se distinguen tres tipos de paltos, que según su zona de origen son: la Mexicana (*Persea americana* var *drymifolia*), Guatemalteca (*Persea americana* variedad *guatemalensis*) y Antillana (*Persea americana* variedad *americana*), existiendo una marcada diferencia tanto fisiológica entre las tres variedades (Soto, A. 1995). Las principales variedades de la raza Mexicana incluyen, entre otras la variedad Puebla, Bancon y zutano. De la raza Guatemalteca destaca principalmente la variedad hass, muy poco conocida la variedad Antillana. La especie mexicana la cual se originó en las montañas de México y en América Central, está formada por variedades que vegetan bien en diversos climas, se caracteriza porque al frotar sus hojas despiden un característico y agradable olor a anís, la cáscara es delgada, lisa y suave, de color verde brillante. La especie antillana es nativa de tierras bajas de América Central, incluye variedades poco resistentes al frío, su cáscara es lisa y lustrosa (Cornejo, V. 2010).

La especie guatemalteca originaria de las tierras altas de América Central, está constituida por variedades que manifiestan buena resistencia al frío, su cáscara es gruesa y quebradiza, como la variedad *Hass*.

El aguacate *Hass* o palta *Hass*, son los nombres comunes del fruto de *persea americana* Miller pertenecientes a la variedad “*Hass*”, originada a partir de una semilla de raza guatemalteca en un huerto de Rudolph Hass en la Habra, California en 1926, patentada en 1935 e introducida globalmente en el mercado en 1960; es la

variedad más cultivada a nivel mundial. Las “paltas hass “son una de las variedades más comunes de paltas. Fueron patentadas el 27 de agosto de 1935 por Rudolph Hass. En la figura 1-1, se muestra la planta de palto y su fruto (Persea americana Hass).

Figura 1-1: Planta de palto y palta variedad Hass (Persea americana Millar)



Fuente: Guerra, A., Vega, J. y Bernal, C. 2009.

1.2 DESCRIPCIÓN TAXONÓMICA DE LA PALTA (*Persea americana miller*)

El árbol de palta (*Persea americana miller*) pertenece a la familia de las *lauráceas dicotiledóneas* y es originario de las regiones de Centroamérica. El fruto fue conocido por los españoles, durante la época de la conquista, como uno de los preferidos por las poblaciones indígenas de México, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Ecuador, como lo mencionan los cronistas de la época (Cornejo, V. 2010).

La taxonomía de la palta (*Persea americana miller*) que existe en la Ciudad de Tarija y que es materia prima de la presente investigación fue buscada, la cual es la siguiente:

En la tabla I-1, se presenta la taxonomía de la palta.

Tabla I-1:
Taxonomía de la Palta

Nombre Común	Palta o Aguacate
Genero	Persea
Especie	Persea americana
Familia	Lauráceas
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Reino	Plantae
Subreino	Tracheobionta
Nombre científico	Persea americana miller
Origen	México y luego se difundió hasta las Antillas

Fuente: Elaboración propia, 2018

1.3 MORFOLOGÍA Y ESTRUCTURA DE LA PALTA

1.3.1 LA PLANTA DE PALTO

El palto es un árbol perteneciente a la familia de las Lauráceas, originario de Guatemala, parte de Centroamérica y México.

Es una planta perenne; el inicio de la fructificación no se produce antes de los 4 o 7 años. El palto es un árbol extremadamente vigoroso que puede alcanzar hasta los 30 metros de altura, de gran crecimiento vegetativo (FAO, 2000), con raíces superficiales, que absorben agua y nutrientes principalmente en las puntas a través de los tejidos primarios. La madera del tallo es medianamente dura y rugosa, no muy resistente a vientos de gran intensidad. En la figura 1-2 se muestra la planta de palto.

Figura 1-2: Planta de palta



Fuente: Cultivo de aguacate “Programa de Diversificación de ingreso en la Empresa Cafetalera (2004).

1.3.1.1 EL TALLO

El árbol alcanza hasta 30 metros de altura y diámetro de hasta 40 centímetros; el tronco posee una corteza gris-verdosa y gruesa, es derecho, con las ramas ascendentes, la copa es de forma cónica y densa. En la figura 1-3, apreciamos el tallo de la planta de palto.

Figura 1-3: Tallo de la planta de palto



Fuente: Cultivo de aguacate “Programa de Diversificación de ingreso en la Empresa Cafetalera (nombre 2004).

1.3.1.2 LA FLOR

Las flores perfectas en racimos sub terminales; sin embargo, cada flor abre en dos momentos distintos y separados, es decir los órganos femeninos y masculinos son funcionales en diferentes tiempos, lo que evita la autofecundación. Por esta razón, las variedades se clasifican con base en el comportamiento de la inflorescencia en dos tipos A y B. En ambos tipos, las flores abren primero como femeninas, cierran por un período fijo y luego abren como masculinas en su segunda apertura. Esta característica de las flores de palta es muy importante en una plantación, ya que para que la producción sea la esperada es muy conveniente mezclar variedades adaptadas a la misma altitud, con tipo de floración A y B, con la misma época de floración. Cada árbol puede llegar a producir hasta un millón de flores y sólo el 0,1 % se transforman en fruto, por la abscisión de numerosas flores y frutitos en desarrollo (Chávez, S. 2010).

Las flores se disponen en racimos; estos conjuntos de flores, salen de las axilas de donde se insertan las hojas; los racimos de flores llegan a medir hasta 10 cm de largo. Se observa en la figura 1-4.

Figura 1-4: Flor



Fuente: Chávez, S. 2010.

1.3.1.3 LAS HOJAS

Las hojas son de forma ovalada, lanceolada o elíptica, de dimensiones entre 5 a 30 cm de largo y 4 cm de ancho, lisas y cerosas, de color verde brillante. Se encuentran dispuestas en espiral, son láminas simples de 11 hasta 20 cm de largo y de 6 a 10 cm de ancho, con el margen entero, de color verde a ligeramente amarillentas, las hojas presentan numerosos puntos glandulosos transparentes (Chávez, S. 2010). La figura 1-5, muestra las hojas del palto.

Figura 1-5: Hojas



Fuente: Cultivo de aguacate “Programa de Diversificación de ingreso en la Empresa Cafetalera (nombre 2004)

1.3.1.4 LA RAIZ

Los árboles de palto producen un sistema de raíces poco profundas, agresivo, que los hace susceptibles a la pudrición y a la infección de las inundaciones y de los daños causados por actividades en la superficie. Si las raíces permanecen húmedas, los nutrientes se pierden y retrasan en el crecimiento. En las inundaciones prolongadas o suelo saturado, el árbol muere. Suelo constantemente húmedo también puede conducir a una infección de la raíz conocida como hongos *Phytophthora*, lo que

reduce el crecimiento y la producción de fruta (Confuzal. Com 2013 y ANACAFE, 2004).

Figura 1-6: Raíz



Fuente: Cultivo de aguacate “Programa de Diversificación de ingreso en la Empresa Cafetalera (2004).

1.3.1.5 EL FRUTO

El fruto del palto, es una baya unisemillada en forma de pera, ovoide, globular y alargada de superficie rugosa. El color varia de verde claro a verde oscuro y de violeta a negro y la maduración del fruto no tiene lugar hasta que éste se separa del árbol. El periodo entre la floración y la maduración fisiológica es característico de cada cultivar. En la raza Guatemalteca (Variedad Hass) es de 10 a 15 meses; los frutos al tener cáscara dura son resistentes al transporte y manipuleo (PRONAGRO, 2016).

El fruto es de tamaño mediano, de 170 a 400 gr, de forma variable, entre la piriforme y ovoide, con cáscara de color verde que varía a morado cuando el fruto ha madurado (Fersini, 1980).

En la figura 1-1, se muestra el fruto del palto (palta variedad Hass).

Fotografía 1-1: Fruto (variedad Hass)



Fuente: Elaboración propia, 2018

1.3.1.6 LA SEMILLA

La semilla es redondeada de color pardo claro de 3 a 5 cm, que aparece recubierta de una delgada capa leñosa (FAOSTAT, 2000). Las propiedades de la semillas son sorprendentes, y a pesar de no ser parte de nuestra dieta deberían serlo, por el alto contenido en fibra y aminoácidos, ayudan a prevenir enfermedades cardíacas.

El 70% de los aminoácidos de la palta están en la semilla, su aceite reduce los niveles de colesterol y ayuda a defender al cuerpo de enfermedades cardiovasculares y paros cardiacos (Chávez, S. 2010). La figura 1-7, nos muestra la semilla de la palta (persea americana Hass).

Figura 1-7: Semilla



Fuente: Cultivo de aguacate “Programa de Diversificación de ingreso en la Empresa Cafetalera (2004).

1.3.2 ESTRUCTURA DEL FRUTO DE LA PALTA

Los frutos son bayas piriformes de unos 12 x 9 a 15 x 10 centímetros, que poseen un endocarpio delgado, con el exocarpio (epicarpio) verde oscuro con numerosas escamas morenas, de textura rugosa, mesocarpio carnoso y oleaginoso, de color amarillo claro al interior y verde hacia el exterior; es altamente apreciado por su consistencia, sabor y valor nutritivo conteniendo una semilla ovoide de 5 a 6 centímetros de largo (Chávez, S. 2010). Es el caso de la variedad Hass, como se ve en la figura 1-8.

Figura 1-8: Estructura de la palta



Fuente: Bol_Insumos_oct_2015

El pericarpio se divide en tres capas de tejidos: la capa externa es el exocarpio, que comúnmente se le llama piel o cáscara. La capa intermedia es el mesocarpio que, en general, se compone de la fibra del tejido del pericarpio. La capa interna es el endocarpio, que en algunos frutos es sólido, curtido o duro, mientras que en otros es suave carnoso.

1.4 CARACTERÍSTICAS DEL PALTO

El palto se cultiva en climas cálidos del mundo, es resistente al frío, pero aun así requiere temperaturas superiores a 10 °C para florecer de manera sostenida durante al menos tres días después de la primera floración, la semilla es pequeña, dadas sus

características sensoriales, su intensidad de producción y su tardía época de maduración; esta variedad es la de mayor volumen de producción y comercialización en el mundo. Además, se indica que el fruto puede mantenerse mucho tiempo en el árbol sin disminuir apreciablemente su calidad, es resistente en el transporte debido a su corteza gruesa, y los parámetros de calidad para la exportación del fruto están referidos a esta variedad (Hass) (Bol_Insumos_oct_2015). La palta, como muchas frutas tropicales y subtropicales presenta daño por frío a temperatura críticas, lo cual se caracteriza por un cambio de color café grisáceo en el mesocarpio, picaduras en la superficie, oscurecimiento del fruto y desarrollo de olores y sabores desagradables (Nagalingam, 1993).

La palta es un fruto climatérico, que durante su estado de maduración manifiesta una respiración acelerada después de haber alcanzado su estado sazón; no madura en el árbol (como otras frutas climatéricas), alcanzando su madurez a los 5 días en promedio después de haber sido cortadas. Además, madura muy lentamente mientras está en el árbol, por lo que debe ser cosechado para acelerar la maduración (Cutting, et al., 1990; Nagalingam, 1993). Los cambios más notables durante la maduración son la transformación de un mesocarpio duro a suave, de consistencia mantequillosa con pérdida aparente de su integridad estructural (Awad y Young, 1979).

Figura 1-9: Palta (variedad *Hass*)



Fuente: Granados, M. 2011.

1.5 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA PALTA

La composición química de la palta depende de la variedad, factores de cultivo, maduración, estación, clima, fertilidad de la tierra, etc. En la tabla N° I-2, se observa la composición química de la palta variedad *hass*.

Tabla I-2: Composición química y nutricional de la palta madura fresca de la variedad *Hass*

Contenido por cada 100 gr		
Nutriente	Unidad	100 g
Agua	Gramos	74,27
Energía	Kilocalorías	161,00
Proteína	Gramos	1,98
Lípidos totales (grasa)	Gramos	15,32
Hidratos de carbono	Gramos	7,39
Fibra total dietaria	Gramos	5,00
Azúcar, total	Gramos	0,66
Minerales		
Calcio, Ca	Miligramos	11,00
Hierro, Fe	Miligramos	0,40
Magnesio, Mg	Miligramos	39,00
Fósforo, P	Miligramos	41,00
Potasio, K	Miligramos	600,00
Sodio, Na	Miligramos	10,00
Zinc, Zn	Miligramos	1,00
Vitaminas		
Vitamina C, ácido ascórbico total	Miligramos	7,80
Niacina	Miligramos	1,92
Vitamina C	Miligramos	7,80
Vitamina B1	Miligramos	0,11
Vitamina B2	Miligramos	0,12
Vitamina B-6	Miligramos	0,28
Vitamina A	IU	61,00
Vitamina E (alfa tocoferol)	Miligramos	1,34
Lípidos		
Ácidos grasos, saturados totales	Gramos	2,13
Ácidos grasos, insaturados totales	Gramos	9,80
Ácidos grasos, poli insaturados totales	Gramos	1,82
Colesterol	Miligramos	0,00

Fuente: USDA National Nutrient Database for Standard Reference (AÑO 2012).

El aguacate o palta es la más completa de las frutas y verduras. De gran valor nutritivo, contiene todas las vitaminas del reino vegetal (A, B, C, D, E, K), minerales (potasio, manganeso, magnesio, hierro y fósforo), y proteínas.

Su alto contenido de vitamina E, es un poderoso antioxidante, ejerce una acción rejuvenecedora al renovar las células y es recomendada para combatir la esterilidad. Inclusive, llegó a ser considerada un afrodisiaco en la antigüedad. La palta contiene además vitaminas B6, B3 y B2, estas últimas ayudan a proteger contra el riesgo de enfermedades coronarias y posiblemente ciertos tipos de cáncer. Los minerales que contiene la palta son elementos indispensables para el crecimiento que proporcionan el vigor físico necesario para el organismo (ECOagricultor, 2018).

La Guía Nutrición 2000 (Dietary Guidelines 2000), una publicación de los Departamentos de Agricultura y Salud de los Estados Unidos, confirma que la palta contiene grasas no saturadas que ayudan a disminuir el nivel de colesterol en la sangre y que, por lo tanto, debe incluirse como parte de una alimentación sana. Una razón más para consumirla (Peralta, L. 2010).

1.6 BENEFICIOS

- ✓ Previene el Alzheimer, Parkinson, enfermedades cardíacas y derrames cerebrales: el ácido fólico reduce los niveles de homocistena en el flujo sanguíneo. La palta contienen más ácido fólico, que cualquier otra fruta.
- ✓ Protege contra el cáncer de próstata y contra las enfermedades oftalmológicas: Como cataratas y la degeneración macular gracias a las luteínas.
- ✓ Ayuda a reducir el nivel de colesterol ya que contiene grasas mono insaturadas.
- ✓ Retarda el proceso de envejecimiento y protege contra las enfermedades cardíacas y contra varias formas de cáncer ya que es fuente de vitamina E.

1.7 DISPONIBILIDAD DE LA MATERIA PRIMA (PALTA)

1.7.1 Producción Mundial

México es, según los datos FAO (La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación), el mayor productor mundial de palta, manteniendo un 31,12% del total producido durante el 2013, con 1.467.837,00 millones de Tm. El siguiente productor más grande es República Dominicana, con el 8% (387,546 Tm en el 2013). Colombia y Perú son los únicos otros dos países cuya producción representa más del 12% de la producción total mundial (6% y 6% respectivamente). Seguido por Indonesia con una participación de 5,85% (276,311 de Tm).

En el continente Asiático, Indonesia y China son los principales productores de palta; en África lo es Kenia, Ruanda, Sudáfrica, Camerún y República Democrática del Congo; ambos continentes contribuyen entre un 10,9% y 15,2% respectivamente de la superficie cultivada a nivel mundial.

En América y El Caribe, los principales países productores y exportadores son México, Estados Unidos, Chile, Perú, Colombia, Brasil y República Dominicana. Fuera de América, otros países productores importantes son Israel, España y Sudáfrica.

La producción mundial de palta ha aumentado de manera fundamental en los principales países productores del mundo como podemos apreciar en la tabla I-3.

Tabla I-3:
Principales Países Productores de Palta en el mundo, 2013 en Toneladas
Métricas (Tm).

Países	Año 2013
México	1.467.837,00
República Dominicana	387.546,00
Colombia	303.340,00
Perú	288.387,00
Indonesia	276.311,00
Kenia	191.505,00
Estados Unidos	175.226,00
Chile	164.750,00
Brasil	157.482,00
Runda	148.823,00
Venezuela	113.842,00
China	112.000,00
Guatemala	95.977,00
Israel	91.904,00
Sudáfrica	89.999,00
Camerún	75.989,00
España	69.400,00
República Democrática del Congo	65.500,00
Haití	53.000,00
Demás Países	388.284,00
Total Producción Mundial	4.717.102,00

Fuente: Estudio de mercados potenciales internacionales (Carvajal, A. 2014).

Los diecinueve países mencionados en la tabla anterior representaron el 92% de la producción mundial del 2013, que fue de 4.717.102,00 Tm.

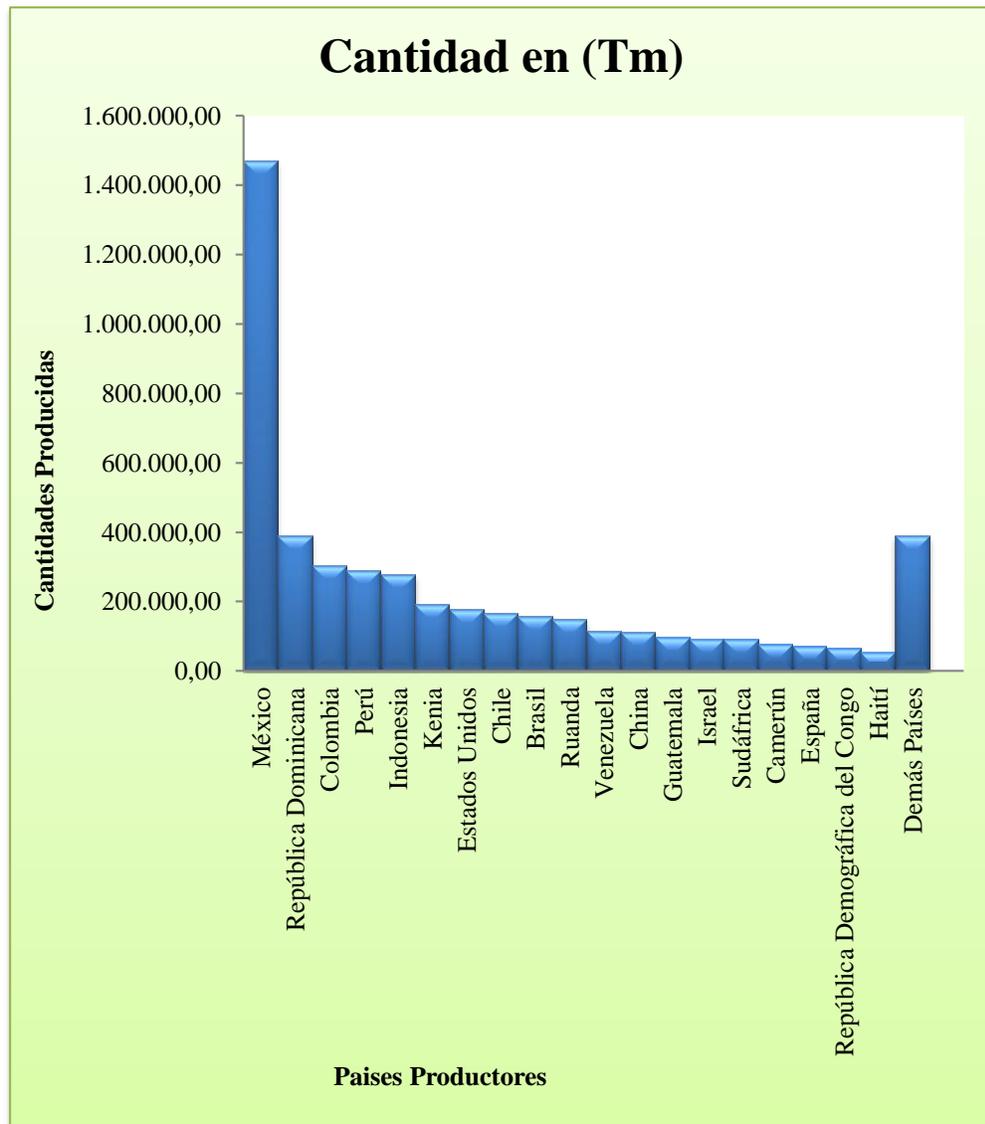
A nivel, de Norte América y el Caribe son las principales regiones productoras del mundo, construyendo prácticamente el 44% de la producción mundial. Gran parte de este volumen de producción está representado por México y República Dominicana que representan alrededor del 39% del total mundial.

En Sudamérica, Colombia es el principal productor de la región, seguido por Perú cuya producción mayoritaria corresponde a la variedad Hass. En total Sudamérica produce el 22% de la producción mundial.

En Europa prácticamente la totalidad de la producción proviene de España, país que está desarrollando fuertemente este fruto, siendo uno de los más importantes abastecedores de ese continente.

En Asia y África, los principales productores son Indonesia y Kenia. Estos dos continentes son responsables del 20% de la producción mundial. En la figura 1-10 se aprecia las cantidades producidas de palta en los principales países.

Figura 1-10: Principales países productores de palta en el mundo



Fuente: Elaboración propia, 2018

1.7.2 Producción de palta en Bolivia

Bolivia cuenta con zonas templadas de valles meso térmicos en varios departamentos del país, concentrándose mayormente en las zonas de los yungas de La Paz, Chapare y norte de Santa Cruz. Según Encuestas Nacional Agropecuaria-ENA 2008, se tiene una importante evolución en superficie cultivada (Tabla I-4) en los ocho

departamentos, en volúmenes de producción como en rendimientos por hectárea de palta.

Tarija es uno de los departamentos productores de palta ubicado en el quinto lugar en producción como se indica en la tabla I-4.

En la tabla I-4 se proporciona datos de producción a nivel nacional y departamental respectivamente.

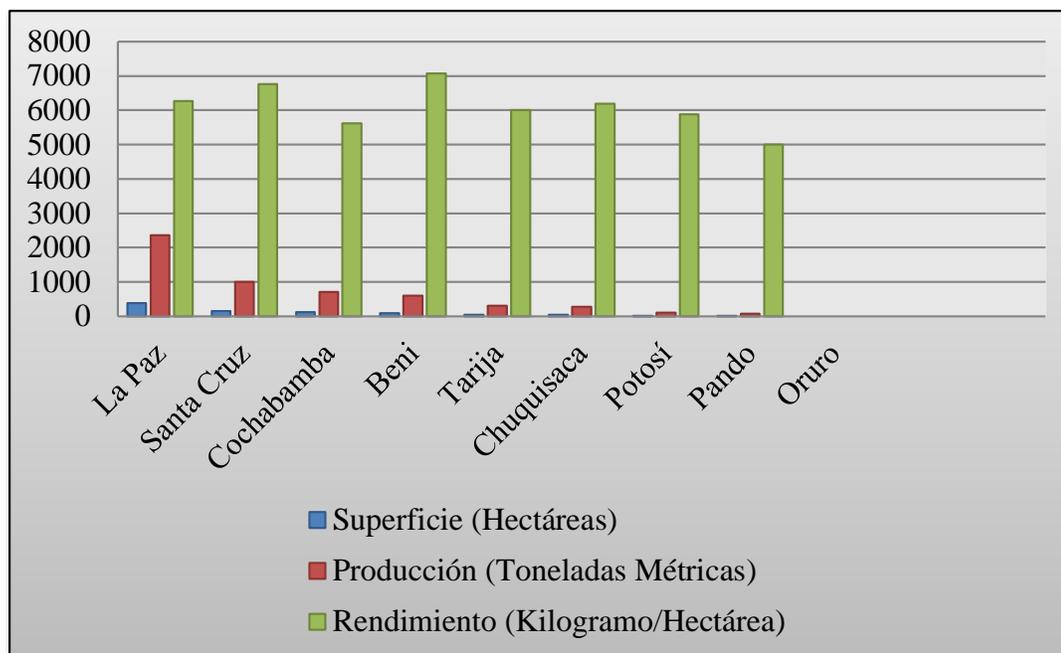
Tabla I-4:
Superficie, Producción y Rendimiento de palta (variedad *Hass*) por departamentos

Departamento	Superficie (Hectáreas)	Producción (Toneladas Métricas)	Rendimiento (Kilogramos/hectárea)
La Paz	376,00	2.359,00	6.274,00
Santa Cruz	148,00	1.000,00	6.757,00
Cochabamba	127,00	714,00	5.622,00
Beni	85,00	601,00	7.071,00
Tarija	50,00	300,00	6.000,00
Chuquisaca	42,00	280,00	6.190,00
Potosí	18,00	106,00	5.889,00
Pando	14,00	70,00	5.000,00
Oruro
Bolivia	860,00	5.410,00	6.291,00

Fuente: INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS-ENCUESTA NACIONAL AGROPECUARIA-ENA 2008.

En la figura 1-11, se muestra la producción de palta (variedad Hass) en Bolivia por departamentos.

Figura 1-11: Producción de palta (variedad Hass) por departamentos



Fuente: Elaboración propia, 2018

La producción frutícola en Bolivia, se ha constituido en una importante actividad económica, desde que las especies tales como el palto (*Persea americana* Miller), originario del continente americano el cual fue domesticado por los antiguos habitantes del continente y difundido por los conquistadores hacia otras latitudes del mundo. Aunque han tenido un crecimiento poco significativo, es una especie muy bien apetecida por diferentes consumidores. En la tabla I-5 se aprecia la evolución de la producción de palta en Bolivia durante seis años.

Tabla I-5:

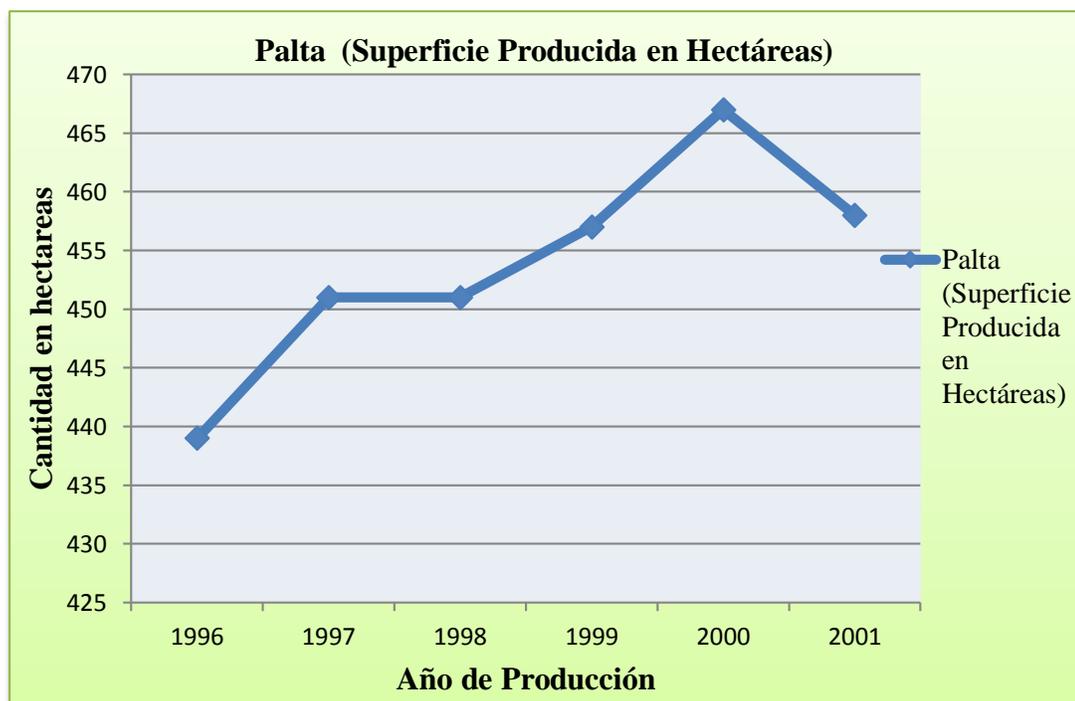
Evolución de la producción de palta en Bolivia (6 años)

Superficie producida (en hectáreas)						
Año	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Palta	439	451	451	457	469	458

Fuente: Elaboración en base a UEAR-MAGDER, 2001 e INE, 2002

Según la tabla I-5, se observa que a lo largo de seis años de registros de la producción frutícola, han existido incrementos importantes en dicha especie (19%) (MACIA, 2003).

Figura 1-12: Producción de palta (variedad *Hass*) en (hectáreas)



Fuente: Elaboración propia, 2018

En la tabla I-6, se observa el rendimiento de la producción de palta en kilos por hectáreas.

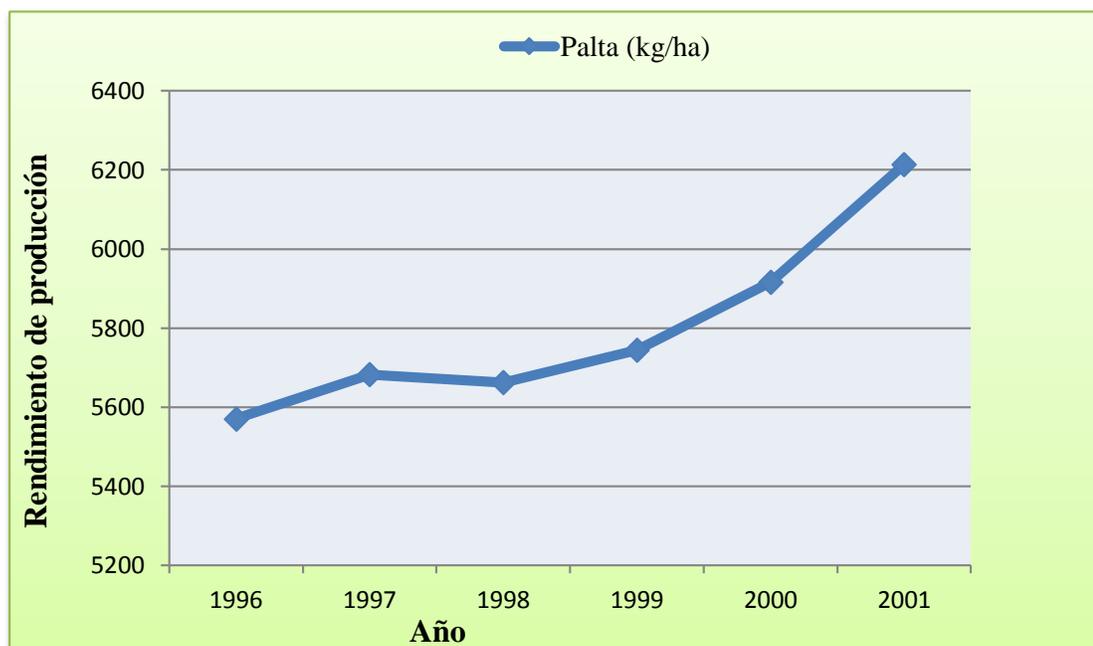
**Tabla I-6:
Rendimiento de producción (Kg/ha)**

Rendimiento en (kg/ha)						
Año	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Palta	5.570,00	5.682,00	5.662,00	5.744,00	5.916,00	6.214,00

Fuente: Ministerio de Asuntos Campesinos, Indígenas y Agropecuarios (MACIA, 2003).

Respecto al rendimiento en los últimos seis años según la tabla I-6, se ha tenido incrementos que aún no han tenido significancia y desarrollos tecnológicos en el caso de la palta que apenas tuvieron un incremento en rendimiento del 4 % respectivamente (MACIA, 2003). En la figura 1-13, se observa el rendimiento de la producción de palta durante seis años.

Figura 1-13: Rendimiento de producción de palta (variedad *Hass*) en (kg/ha) durante seis años



Fuente: Elaboración propia, 2018

De manera general, históricamente la actividad productiva está en proceso de crecimiento por la importancia económica que este rubro ha logrado generar no solo para el sector agrícola sino en la generación de otras actividades económicas que están directamente relacionadas con el uso como materia prima de algunos subproductos (MACIA, 2003).

La fruta hoy en día tiene múltiples usos y fines, desde su consumo en fresco, hasta su uso como producto procesado, industrial, artesanal y semi-industrial. Pero no es el caso de la palta, en las épocas pico de cosecha hay un exceso de oferta, trayendo

como consecuencia una concentración alta de materia prima en determinada época del año, lo que ocasiona pérdidas a los productores, al verse limitados a su procesamiento por falta de industrialización.

1.8 USOS Y DERIVADOS DE LA PALTA

Se usa principalmente en la alimentación, como complemento de todo tipo de comidas y de su rica materia grasa puede extraerse un aceite utilizado como alimento el cual es comparado con el aceite de oliva, en la industria cosmética (se utiliza como materia prima en la fabricación de jabones, shampoo, acondicionador) y cosméticos como cremas faciales y corporales, aceites, películas protectoras y limpiadoras de la piel) y farmacéutica (jarabe medicinal, etc.). Pero la principal forma de utilización de la palta es el consumo de la fruta en fresco o pulpa procesada en forma de guacamol, situación muy favorable en la dieta del ser humano considerando el alto valor proteico de esta fruta, y lo más importante es que no contiene colesterol.

La pulpa de palta es consumida en forma de Avosnack (Rebanadas finas de palta entera) es un bocadito natural, nutritivo y saludable, listo para comer como bocaditos de fiesta, en la oficina, la escuela o en cualquier lugar. Avosnack está hecho de paltas frescas enteras y una pisca de sal, no tiene aditivos y no esta frito ni horneado (Chis De Aguacate Salado Avosnack, 2014).

También se la consume en Avodehy (palta deshidratada en hojuelas; utilizada para preparar otros alimentos (ensaladas) y bebidas. Otro derivado muy requerido por los países consumidores es el Avocado o palta en polvo es exclusiva, con este tipo de producto se puede preparar aderezos, cremas, guacamole y muchos otros productos ya sean alimenticios o farmacéuticos. El Avocado se caracteriza por ser orgánico e inocuo con certificaciones, es un polvo 100% natural que conserva toda la nutrición de la palta; con el mismo sabor, olor, color, textura, vitaminas, minerales y aceites de la fruta originales. Además, no requiere de refrigeración antes de abrir, es estable durante 10 a 12 meses sin conservantes artificiales ni refrigerar (inf@qAvodehy.com: Dehydrated Avocado). En la figura 1-14, se muestra los distintos tipos de consumo e usos de productos obtenidos a partir de pulpa de palta.

Figura 1-14: Tipos de consumo de la palta



Fuente: Peralta, L. 2010 y inf@qAvodehy.com.

1.9 PALTA DESHIDRATADA

La palta es una fruta muy apreciada por sus cualidades sensoriales y nutritivas, pero es altamente perecedera por lo que requiere de un manejo adecuado de frío para su conservación pos cosecha. (FAO, 1990). La palta, dependiendo de la variedad y madurez alcanzada en la pulpa para ser utilizada en el proceso de deshidratación osmótica.

Para dar valor agregado a la cadena productiva de palta y entregar los múltiples beneficios que tiene el consumo de palta hass, se han desarrollado procesos de transformación que facilitan el uso y aplicación de los beneficios de la fruta en la industria alimenticia y cosmética principalmente. Uno de los múltiples productos derivados que permiten aprovechar todos los componentes del fruto y permite desarrollar una cadena más productiva y eficiente es la palta deshidratada hass de alta calidad; es la mayor solución para la industria alimentaria del mundo además de dar más vida en anaquel haciendo que todo el tiempo haya disponibilidad en el mercado.

El polvo y hojuelas de palta hass deshidratados son uno de los principales productos adquiridos por la sociedad en los mercados de Estados Unidos y países Europeos. Se encuentra con diferentes presentaciones, uno de ellos es avosnack el cual está hecho de pulpa de palta hass fresca entera cortada en rodajas y una pizca de sal, lo cual

conserva intactas sus propiedades nutricionales. Tiene excelente olor, sabor y textura. Cumple con todas las normas de calidad; además se puede exportar a países de difícil acceso por la logística necesaria.

La palta deshidratada conserva su sabor 100% a la fruta y sus propiedades originales (Avodehy Dehydrated Avocado, Uruapan Michoacán México Paseo Lázaro). Las ventajas más sobresalientes de la palta deshidratada son:

- La palta deshidratada no pierde sus propiedades nutrimentales principales.
- No requiere refrigeración durante su traslado, en el punto de venta ni con el consumidor final.
- Se puede exportar a países de difícil acceso por la logística necesaria como son África, Chiapas y Oaxaca.

La palta deshidratada (Avosnack) es un bocadillo natural, nutritivo y saludable, listo para comer como bocaditos de fiesta, en la oficina, la escuela o en cualquier lugar. Avosnack (crujientes láminas de palta) saladas, se presenta en bolsas de 28 g.

El producto está envasado en diferentes presentaciones en bolsa tipo **“foil pouch”** de triple capa metalizada con zipper de:

*50g.

*250g

*500g.

*10Kg.

Y también en caja de cartón con doble corrugado de 10 kg. Las cuales tienen una vida útil en anaquel de 10 a 12 meses.

En la figura 1-15, se muestra los diversos tipos de palta deshidratada en polvo y hojuelas.

Figura 1-15: Presentación de la palta deshidratada en polvo y hojuelas



Fuente: Avodehy Dehydrated Avocado, Uruapan Michoacán México Paseo Lázaro

1.9.1 NECESIDAD DE DESHIDRATAR LA PALTA

En México, por ejemplo, la conservación de alimentos, es una estrategia básica de seguridad alimentaria y al mismo tiempo de adaptación al cambio climático. Con un enfoque de tecnología apropiada, se puede llegar a comunidades vulnerables; a continuación se muestran datos aproximados de palta que se desperdicia.

Aproximadamente 40% se desperdicia (6.462.054 ton).

20% podría ser deshidratado (1.292.411 ton).

En la tabla I-7, se muestra la producción de mayor valor económico en México (palta en fresca y deshidratada).

**Tabla I-7:
Producto de mayor valor económico en México**

Producto de mayor valor económico en fresco y deshidratado				
	Superficie Sembrada (Hectárea)	Superficie Cosechada (Hectáreas)	Producción (Toneladas)	Valor Producción (Miles de \$)
Palta	14.214.610,00	12.659.789,00	116.414.146,00	1.813.640.425,00

Fuente: Elaboración propia con datos del SIAP 2011.

En Bolivia actualmente no se cuenta con industrias dedicadas a la obtención de palta deshidratada, por tal motivo solo se consume en fresco en la época que se produce. Es importante incentivar el desarrollo de nuevas tecnologías y así generar nuevos productos para el mercado departamental y nacional, lo que llevará aparejado el incremento del cultivo de este producto generando mejores ingresos para los productores y con esto mejorar su calidad de vida.

La comercialización de la palta es del 90% como fruto fresco, su consumo se podría incrementar ofreciendo al mercado una diversidad de productos pero se carece de tecnologías.

1.9.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LA PALTA DESHIDRATADA

En la tabla I-8 se observan las características físicas y químicas de las rebanadas deshidratadas.

Tabla I-8:
Características físicas y químicas de la palta deshidratada

Información Nutricional		
<i>Porción</i>	14g	
<i>Porción por envase</i>	28g	
Cantidad	100g	14g
Energía (Kcal)	634,00	88,76
Energía (KJ)	634,00	88,76
Proteínas (g)	5,60	0,78
Grasas (g)	62,40	8,60
Grasas Saturadas (g)	9,30	1,39
Grasas Mono insaturadas (g)	45,30	4,97
Grasas Poliinsaturadas (g)	2,00	0,95
Ácidos Grasos Trans (g)	0,00	0,00
Colesterol (mg)	0,00	0,00
Hidratos de carbono disponibles (g)	14,30	2,06
Sodio (mg)	300,00	4,30

Fuente: Elaboración propia con datos de <https://trndmonitor.com/snack-spotlight-avosnack-salted-avocado-chips/#> 2014.

1.9.3 PROPIEDADES NUTRICIONALES DE LA PALTA DESHIDRATADA

La palta fresca o seca es una fruta (aunque a veces también se la considera una hortaliza) de sabor neutro y particular que puede consumirse sola o combinarse con una gran variedad de platos y otros alimentos.

Las características fundamentales de la palta seca son:

- La palta deshidratada no pierde sus propiedades nutricionales principales.
- No requiere refrigeración durante su traslado, en el punto de venta ni con el consumidor final.
- En cuanto a su rendimiento 1 kg de palta deshidratada con 2 o 3 (explicado de otra manera 1 kilogramo de palta deshidratada con 500 o 750 g de agua rinde 3kg de palta rehidratada) partes de agua rinde hasta 3 kg de palta rehidratada.
- El consumidor final utiliza lo que necesita y lo que sobra lo guarda en la propia bolsa con zipper. (Ideal para restaurantes y usuarios finales.).
- Excelente consistencia, olor, sabor, textura.
- La palta aporta una importante cantidad de grasas mono insaturadas, vitaminas y minerales que benefician varias funciones del organismo, especialmente contiene Vitamina E, A, B1, B2, B3, D y en menor cantidad C.
- Es rica en minerales como el hierro, fósforo y magnesio, además contiene ácido fólico, niacina. Así como OMEGA 3, 6 y 9.
- La palta deshidratada contiene en gran medida las mismas propiedades.
- La palta por su contribución de Vitamina E actúa como antioxidante y contribuye a reducir el riesgo de múltiples enfermedades.
- Las grasas mono insaturadas de la palta ayudan a evitar que el colesterol se acumule en las paredes de las venas y arterias.

- La palta por su abundancia en potasio y bajo aporte de sodio, resulta muy recomendable para aquellas personas que sufren de hipertensión arterial o afecciones del corazón.
- Estimula la formación de colágeno, fortaleciendo y evitando problemas de la piel y retardando el envejecimiento.
- El potasio contenido en la palta es fundamental para la transmisión y generación del impulso nervioso.
- Por su contenido en vitamina D ayuda a la absorción de calcio y fósforo.

1.9.4 PRESENCIA DE LA PALTA DESHIDRATADA EN ALIMENTOS

La palta deshidratada se clasifica en forma de polvo, rebanadas u hojuelas y cubos; generalmente la palta en polvo es utilizada para preparar diferentes alimentos, bebidas y productos de belleza; en cambio la palta procesada en rebanadas y cubos (molido) puede consumirse combinado con una gran variedad de platos, en ensaladas con otras frutas secas; en México se está empleando en escuelas, oficinas y fiestas para ser consumida como bocaditos o un cereal (Chis De Aguacate Salado Avosnack,2014).

La palta deshidratada por sus propiedades y características, facilita su transporte brindando al cliente la oportunidad de elegir entre el modo de envío que mejor le convenga. Se puede exportar a países de difícil acceso por la logística necesaria, donde la palta fresca no está disponible todo el año; valoran los beneficios de transportar menor peso y volumen, sin refrigeración. Es el caso en nuestro país.

1.9.5 APLICACIONES

La palta sustenta su alta demanda en el mercado mundial gracias a sus características, tales como su sabor, sus cualidades nutritivas y sus amplias posibilidades de uso, tanto culinarias como en la industria farmacéutica y cosmética (inf@qAvodehy.com: Dehydrated Avocado).

Pero, la principal forma de utilización de la palta es el consumo de la fruta en fresca o pulpa procesada (deshidratación osmótica) en polvo u hojuelas y cubos de palta de la

variedad *Hass* de alta calidad. Se comercializa en forma de guacamol, en Avodehy, Avosnack, Dip de Palta, Mousse de palta, Guacamole al Tequila, Bebida de palta, Huevo Endiabrado, Tacos con palta, en sopas, ensalada de frutas deshidratadas; en repostería y consumo como bocadito o como cereal (Chile y México). Situación muy favorable en la dieta del ser humano considerando el alto valor proteínico de esta fruta y no contiene colesterol; indicado para diabéticos, por su capacidad de equilibrar el azúcar en la sangre (inf@qAvodehy.com: Dehydrated Avocado).

1.9.6 MERCADO (INTERNACIONAL Y NACIONAL) DE PALTA DESHIDRATADA

- Los principales países que importan palta seca de México a nivel mundial son Estados Unidos, Alemania, Inglaterra, Francia y España.

Como por ejemplo, México es el país más importante a nivel mundial pues sus exportaciones representaron el 45,95% de las exportaciones mundiales de palta fresca y seca (SAGARPA, 2017); su posición relativa en las exportaciones mundiales es 1. Cabe resaltar que el valor de sus exportaciones en el periodo 1998-2002 creció a una tasa promedio anual de 17%, incrementándose a una tasa de 31% entre el 2001 y el 2002. (Estadísticas del COMTRADE).

Principales países de destino y su participación en las exportaciones de México en el 2002: Estados Unidos de América (56%), Canadá (11%), Francia (8%) y El Salvador (7%). (Estadísticas de CONTRADE).

-Principales países de destino y su participación en las exportaciones de Chile en el 2002. Estados Unidos de América (97%) Reino Unido (1%), Holanda (1%) y España.

En la tabla I-9, se muestran datos de los principales países exportadores de palta fresca y seca, en la cual se observa que México es el principal país exportador de palta fresca y seca con 96,28 Toneladas, con un crecimiento anual de 31 %, y su participación en las exportaciones mundiales es del 25%.

Tabla I-9:
Principales países exportadores palta fresca y seca

Exportadores	Total exportado en 2002, en miles de US\$	Cantidad exportada en 1998 (Toneladas)	Valor de unidad (US\$ unidad)	Crecimiento anual en valor entre 1998-2002, %	Crecimiento anual en cantidad entre 1998-2002, %	Crecimiento anual en valor entre 2001-2002, %	Participación en las exportaciones mundiales, %
Estimación mundo	400,70	285,76	1,40	7,00	3,00	18,00	100,00
México	102,61	96,28	1,07	17,00	9,00	31,00	25,00
Chile	70,32	0,00		13,00		36,00	17,00
España	51,12	42,37	1,21	-4,00	-6,00	-5,00	12,00
Israel	42,70	0,00		8,00		15,00	10,00
Francia	27,09	19,22	1.410,00	6,00	6,00	16,00	6,00
Países Bajos (Holanda)	21,77	15,36	1,42	0,00	0,00	-16,00	5,00
Sudáfrica	17,70	47,63	372,00			58,00	4,00
República Dominicana	12,65	11,76	1,08	13,00	13,00	21,00	3,00
Nueva Zelanda	12,02	6,03	1,99	1,00	0,00	11,00	2,00
Bélgica	10,61	6,99	1,52	-10,00	-8,00	130,00	2,00
Estados Unidos de América	9,82	8,65	1,14	7,00	4,00	2,00	2,00
Alemania	5,40	4,28	1,26	23,00	26,00	78,00	1,00
Perú	5,20	4,83	1,08	412,00	466,00	40,00	1,00

Fuente: Sánchez, K. (2004)

En la figura 1-16, se muestra el gráfico de los principales países exportadores de palta fresca y palta procesada (seca).

Figura 1-16: Principales países exportadores de palta fresca y seca



Fuente: Elaboración propia, 2018

México ocupa el primer lugar con 25% de participación en el mercado seguido por Chile 17% y España con el 12%; cabe resaltar que varios países que son grandes productores no se encuentran en los primeros lugares de esta lista de exportaciones, debido a que parte de sus producción la destinan a consumo interno, y viceversa; también encontramos países que son grandes exportadores, pero no tiene mucho volumen de producción, eso se da porque estos países destinan gran parte de los que producen al comercio internacional.

1.10 MÉTODOS Y TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE FRUTAS DESHIDRATADAS

1.10.1 DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

La deshidratación osmótica (DO) es una técnica que se aplica a productos Frutihortícolas, la cual permite reducir su contenido de humedad (hasta un 50-60% en base húmeda) e incrementar los sólidos solubles (Suca, 2009); es un tratamiento no

térmico utilizado para reducir el contenido de agua de determinados productos, por inmersión de estos en una solución hipertónica de un determinado soluto, con el objeto de extender su vida útil y mantener características sensoriales, funcionales y nutricionales. Es un método antiguo que se va mejorando a través del tiempo y adecuando a las necesidades actuales.

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

1.10.2 DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE LOS ALIMENTOS

El secado de los alimentos es uno de los métodos más antiguos utilizados por el hombre para su conservación y también se ha utilizado con el propósito de disminuir el peso y el volumen de los mismos, lo que resulta en ahorros en costos de envase y transporte, requerimientos mínimos de almacenamiento y además los costos de distribución se reducen. Por deshidratación de los alimentos se entiende a la eliminación casi completa del agua que contienen estos, bajo ciertas condiciones como son temperatura, humedad y progresión del secado debidamente controlados por medio de la aplicación de corrientes de aire sobre el cuerpo o por otros métodos.

Los medios de deshidratación son generalmente soluciones acuosas concentradas de un azúcar o una sal o mezclas de diversos azúcares y/o sales. Asimismo, cuando no es deseable apreciar dulzor en el alimento, como en el caso de la mayoría de los vegetales, se emplean alcoholes de alto peso molecular para reemplazar los azúcares o la conjunción de sal y azúcar u otros edulcorantes para enmascarar a estos últimos. Acompañando a la eliminación parcial de agua del alimento se produce la pérdida de algunos solutos solubles del mismo que son arrastrados por el agua y una ganancia de solutos por parte del alimento desde la solución (Figura 1-15). Tanto la magnitud de este fenómeno como la pérdida de agua dependen de las características del producto alimenticio: forma, tamaño, estructura, composición y tratamiento previo (pelado, escaldado, tratamiento de la superficie); de la solución: tipos de solutos,

concentración de los mismos y de las condiciones de proceso: temperatura, grado de agitación de la solución, presión de trabajo y relación masa de solución a masa de producto (Rocca,P. 2010).

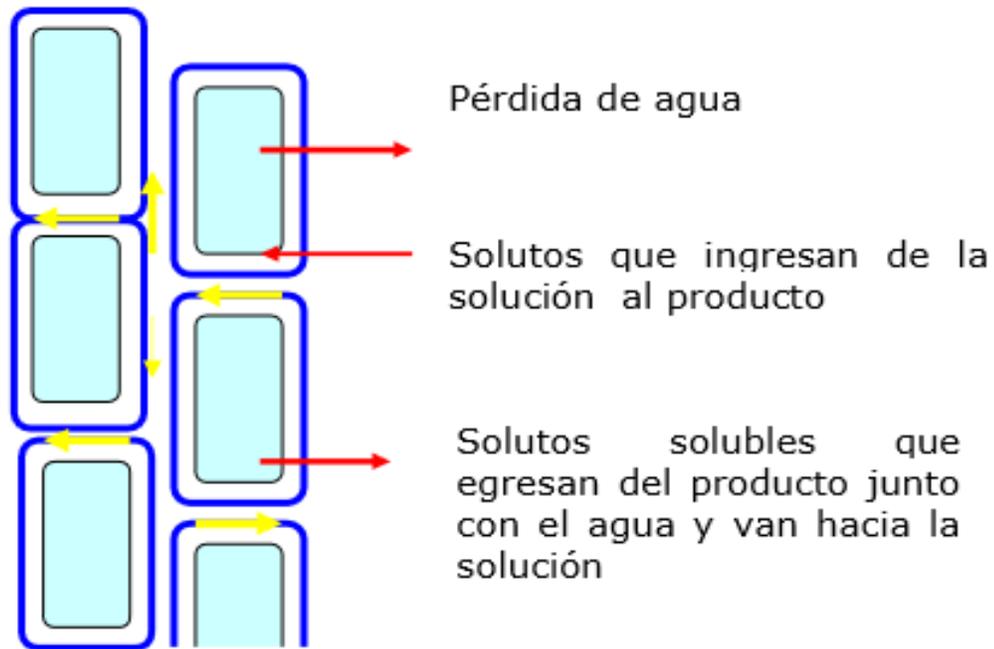
Por lo general, la deshidratación osmótica no disminuye la actividad acuosa del alimento de manera tal de estabilizarlo totalmente, sino que solo extiende su vida útil. Por ello la necesidad de aplicar otros procesos posteriores como secado, congelado o liofilizado, entre otros posibles, que se describen más adelante. Las principales ventajas que se adjudican a la deshidratación osmótica como primera etapa de un método combinado de deshidratación de alimentos son:

- Es eficiente desde el punto de vista energético ya que se lleva a cabo generalmente en condiciones cercanas a la temperatura ambiente sin que el agua cambie de fase.
- No se afecta prácticamente el color, el sabor, el aroma y la textura del alimento.
- Produce un daño mínimo en la estructura del alimento deshidratado ya que no debe someterse a altas temperaturas como en otros tratamientos térmicos como es el caso del secado convectivo.
- Se retienen la mayoría de los nutrientes.
- Disminuye los costos de empaque y transporte al disminuir el peso por eliminación parcial del agua.
- Se puede fortificar el producto agregando minerales tales como calcio y zinc a la solución para que se produzca la impregnación del producto (Alzamomora, M. 2005). También se pueden producir alimentos funcionales al agregar prebióticos a la solución.

1.10.3 FENÓMENO QUE OCURRE AL DESHIDRATAR UN ALIMENTO

En la figura 1-17, se puede apreciar el fenómeno que ocurre al deshidratar un producto.

Figura 1-17: Flujo de solutos y de agua en el producto alimenticio inmerso en la solución hipertónica



Fuente: Rocca, P. 2010.

El proceso de deshidratación osmótica se caracteriza por una etapa de transigente antes de alcanzar el equilibrio (Rahman, S. 1990). Durante el periodo dinámico la velocidad de transferencia de masa disminuye hasta llegar al equilibrio. Cuando éste alcanza la velocidad de transporte neta de masa es nula y es el final del proceso osmótico.

1.10.4 PROCESO DE OBTENCIÓN POR DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA (DO)

La deshidratación osmótica del producto es puesto en contacto con una solución concentrada de alcohol, sales o azúcares, estableciéndose una doble transferencia de materia: agua desde el producto hacia la solución junto con sustancias naturales (azúcares, vitaminas, pigmentos) y, en sentido opuesto, solutos de la solución hacia el fruto. En consecuencia, el producto pierde agua, gana sólidos solubles y reduce su volumen (Suca, 2009).

El proceso consiste en introducir los alimentos en una solución hipertónica, controlando las condiciones de operación para favorecer, en mayor o menor grado, la incorporación de solutos y la deshidratación del alimento. La aplicación de la deshidratación osmótica puede resultar en la mejora de las propiedades nutricionales y funcionales de los alimentos y en la reducción de la energía requerida para la deshidratación (Suca, 2009).

El principal problema de la aplicación industrial de la deshidratación osmótica radica en la gestión de la solución procedente del proceso. La reutilización de esta solución plantea una doble ventaja: primera, desde el punto de vista ambiental, ya que se elimina una efluente del proceso que a menudo no puede ser vertida directamente, y segunda, el ahorro económico que representa la recuperación de las materias primas que muchas veces contienen solutos de importante valor económico (Suca, 2009).

“La fuerza impulsora de la denominada deshidratación osmótica consiste en la diferencia de potencial químico (μ) entre el agua en la fruta y el medio que lo rodea” (Suca, 2009).

El potencial químico (μ_o o μ) está, a su vez, directamente relacionado con la actividad del agua (a_w) o la presión osmótica (π) representado (Suca, 2009).

$$\mu = \mu_o + RT \ln(a_w) \quad \text{ecuación (1-1)}$$

$$\pi = \frac{RT}{V} \ln(1/a_w) \quad \text{ecuación (1-2)}$$

Donde:

μ_o = Es el potencial químico del disolvente puro a la temperatura en cuestión

μ = Es el potencial químico del agua

π = Es la presión osmótica

T = Es la temperatura a la cual se desea calcular μ

R = Es la constante de los gases reales

V = Es el volumen molar parcial del agua

a_w = Es la actividad del agua

Además:

$$a_w = (P/P_o)*T \quad \text{ecuación (1-3)}$$

Donde:

a_w = Es la actividad del agua

P = Es la presión de vapor del agua en la solución a la temperatura T

Po = Es la presión de vapor de agua pura a igual temperatura T

Por lo tanto, en las ecuaciones 3 y 1 cuanto menor sea la a_w de la solución circundante mayor será la transferencia de agua desde la fruta a la solución (Suca, 2009).

El medio circundante a la fruta debe poseer una actividad de agua (a_w) menor que la de la fruta y esto causa la migración de agua desde el alimento a la solución externa. El flujo de agua va a continuar hasta cumplir con el requerimiento termodinámico de que el potencial químico o la a_w sean iguales en ambos lados de la membrana semipermeable (Suca, 2009).

Además de la migra de agua existe una tendencia simultánea a la difusión de soluto desde la solución externa hacia la fruta. Teóricamente, el soluto no puede difundir a través de la membrana por la condición de semipermeabilidad de esta, pero en la práctica esta condición no se da, el soluto difunde, aunque con menor velocidad que el agua. De esta manera, y a menos que la velocidad de migración del agua sea muy superior a la de difusión del soluto (Suca, 2009).

1.10.4.1 APLICACIONES DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

Gran parte de las frutas y hortalizas permiten el empleo de la deshidratación osmótica para su conservación ya que poseen una estructura celular que puede actuar como membrana semipermeable, principalmente aquellas que poseen un porcentaje de entre 5% y 18% de sólidos disueltos en su interior como ácidos, minerales, vitaminas, azúcares (Parzanese, 2011).

La estructura de la membrana celular varía dependiendo de la fruta; aquellas que poseen membranas más porosas pueden eliminar mayor cantidad de agua y absorber más sólidos, lo cual puede beneficiar al proceso pero también podría afectar la textura de la fruta (Parzanese, 2011).

Existen varios estudios que demuestran la eficiencia de la deshidratación osmótica en papaya, manzana, banana, piña, arándano, mango, guayaba, pera, kiwi, frutilla, higo y de vegetales como papa, tomate, cebolla y otros (Parzanese, 2011).

Es importante mencionar que en el deshidratado de frutas la solución osmótica puede reutilizarse o servir como materia prima en la fabricación de jugos de frutas o de otras formulaciones. Esto se debe a que estas soluciones son ricas en azúcares y otros solutos provenientes de las frutas, siendo por esto un subproducto de alto valor agregado que puede generar un beneficio económico (Parzanese, 2011).

1.10.4.2 RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA EN ALGUNAS FRUTAS

Los estudios adelantados sobre la deshidratación osmótica directa de algunas frutas se han realizado a nivel de laboratorio a fin de identificar de forma preliminar las condiciones que requieren y el comportamiento de los productos obtenidos para proceder en un futuro a aumentar los volúmenes y poder así aplicar estos estudios a nivel agroindustrial (Camacho, 2011).

Las frutas con las que se han hecho algunos ensayos preliminares son: banano, breva, fresa, guayaba, mango, manzana, melón, mora, papaya, pera, piña, tomate de árbol y uchuva (Camacho, 2011).

Por ejemplo, los niveles de pérdida de agua alcanzados después de 12 horas de inmersión en jarabe de sacarosa de 70 °Brix, de diferentes frutas en trozos, se presentan en la tabla I-10.

**Tabla I-10:
Perdida de agua alcanzada a través del proceso de Deshidratación Osmótica en
diferentes frutas**

Fruta	Pérdida de Agua %	Fruta	Pérdida de Agua %
Banano	34.000	Manzana	37.000
Mora	18.000	Melocotón	38.000
Peras	53.000	Tomate	32.000
Piña	52.000	Mango A.	52.000
Curaba	46.000	Higo	13.000
Guayaba	52.000	Parpayuela	36.000
Fresa	51.000	Feijoa	38.000

Fuente: Camacho, 2011

Las características de los productos obtenidos se podrían resumir de la siguiente manera:

Las rodajas de banano se alcanzan a pardear ligeramente si están muy maduras o no se sumergen pronto en el jarabe. Una alternativa es sumergirlos en una solución de ácido ascórbico, inmediatamente se cortan y luego se sumergen en la solución osmodeshidratante de jarabe. Los trozos adquieren un sabor más intenso (Camacho, 2011).

Las moras tardan más del promedio de las demás frutas por las características de su piel (Camacho, 2011).

Las peras pueden también pardearse ligeramente sobre todo antes de sumergirlas en el jarabe. Se puede seguir el proceso anotado para banano (Camacho, 2011).

La deshidratación de curumba permite obtener una pulpa concentrada sin empleo de alta temperatura y sin cambios de color o aroma (Camacho, 2011).

La fresa pierde mucho de su sabor característico que pasa al jarabe (Camacho, 2011).

La deshidratación de la breva es lenta debido a la impermeabilidad de la cascara. Esta aumenta con el escaldado previo que se le puede dar (Camacho, 2011).

La feijoa en rodajas permite obtener una fruta ligeramente pardeada; la cáscara posee un fuerte sabor característico y el jarabe resultante es altamente aromático (Camacho, 2011).

En el caso de hortalizas, los ensayos de osmodeshidratación han sido mínimos y en estos se ha empleado salmueras con resultados no muy satisfactorios (Camacho, 2011).

1.10.5 DESHIDRATACIÓN POR LIOFILIZACIÓN

Uno de los métodos más estudiados y exitosos es la liofilización que es básicamente una técnica para eliminar agua a bajas temperaturas y presiones (el proceso puede describirse en tres pasos) en el que inicialmente el producto se congela (donde se separa el agua de los otros componentes al disminuir la temperatura para que se forme hielo) a condiciones atmosféricas y (segundo paso, un secado primario donde se retira el agua congelada por sublimación), posteriormente el hielo se sublima. El tercer paso, consiste en eliminar otras cantidades de agua que no se hayan congelado, llamado secado secundario, esta parte del proceso se realiza a altas temperaturas y baja presión.

La conservación de la pulpa por liofilización presenta como principal desventaja, hasta el momento, su alto costo. Utilizando este método que emplea bajas temperaturas y un bajo contenido de humedad residual, reduce la posibilidad de enranciamiento, degradación de la clorofila y crecimiento microbiano, por lo que el almacenamiento puede hacerse a temperatura ambiente o hasta 37°C.

En el caso de la liofilización, se ha encontrado que la calidad del producto final es mejor que la obtenida en los procesos clásicos (Derosier, 1980). Existen algunos estudios sobre el liofilizado en forma de puré o guacamole (Gómez Bates, 1970), aunque en estos estudios no se tratan algunos problemas como la generación de malos sabores por la aplicación de temperaturas altas y la medición de rehidratación.

1.10.6 SECADO

Durante el proceso de secado se lleva a cabo una corriente de aire, el producto pierde humedad a una velocidad que puede ser controlada ya sea por condiciones externas al producto secado (temperatura y velocidad del aire) o por condiciones internas (difusión del líquido, difusión de vapor, capilaridad y encogimiento). En la deshidratación de productos alimenticios sólidos, el secado es controlado por condiciones internas, siendo la difusión de líquido el mecanismo que controla el proceso de secado.

La difusión de líquido es también el mecanismo que controla la deshidratación de productos sumergidos en soluciones concentradas de jarabes o salmueras, por lo que este proceso puede ser considerado como un método más de secado, en el que si bien la verdadera fuerza impulsora para la difusión de la humedad sigue siendo su concentración dentro y fuera del producto, es más comúnmente considerada como la diferencia en presiones osmóticas, por lo que este proceso recibe el nombre de secado osmótico.

1.10.7 SECADO POR AIRE CALIENTE

En la fruta tratada con aire caliente a 60°C y pre tratada con deshidratación osmótica (DO), se obtiene una pérdida total de β -caroteno del 98%. La fruta tratada con aire caliente a 40 °C y sin DO, presenta la menor pérdida total de β -caroteno, la cual alcanza un 28%. Los tiempos de secado para alcanzar una humedad de la fruta cercana a 2,5% base seca son de 7, 9 y 12 horas a 60, 50 y 40° C respectivamente, para las frutas tratadas sin DO. Para las frutas tratadas con DO, los tiempos de secado son de 4, 5 y 6 horas a 60, 50 y 40°C respectivamente.

1.10.8 PROCESO DE SECADO AL VACÍO

El secado al vacío, se realiza en una ausencia virtual de aire durante el proceso, lo cual es atractivo para productos que pueden deteriorarse por oxidación al ser expuestos al aire a alta temperaturas. Sin embargo, aun siendo un proceso más económico que la liofilización, los altos costos de instalación y operación del secado

al vacío limitan su aplicación a materiales de alto costo o productos que requieran bajos niveles de humedad con poco daño térmico.

El secado al vacío, como método de secado complementario a la deshidratación osmótica, es especialmente recomendable para el caso específico de la palta, ya que es un producto que se oscurece y pierde fácilmente sus características de color y sabor al ser secado al aire.

1.11 VENTAJAS Y DESVENTAJA DE LOS MÉTODOS DE OBTENCIÓN DE PALTA DESHIDRATADA

En la tabla I-11, se muestra las ventajas y desventajas de los métodos apropiados para la deshidratación de la palta. En base a lo cual se hace la selección correspondiente del método a utilizar en la presente investigación.

**Tabla I-11:
Ventajas y desventaja de los métodos apropiados para la deshidratación de la palta**

MÉTODOS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
LIOFILIZACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> -Es uno de los métodos más estudiados y exitosos. -Puede almacenarse a temperatura ambiente. - No se pierde componentes volátiles, se puede reconstituir con facilidad el producto, aumenta el tiempo de vida útil del producto y facilita que se consigam diferentes frutas y verduras que no se encuentran en temporada 	<ul style="list-style-type: none"> -Su principal desventaja es su elevado costo. - Una desventaja de este proceso es que es un proceso costoso y que requiere de mucho tiempo.
SECADO	<ul style="list-style-type: none"> -Método de conservación rápido. 	<ul style="list-style-type: none"> -Método no muy apropiado para la deshidratación de frutas. -No conserva sus propiedades organolépticas. -No conserva los componentes nutricionales eso hace una desventaja en relación al proceso de deshidratación osmótica.
PROCESO DE SECADO AL VACÍO.	<ul style="list-style-type: none"> -Es un método atractivo para productos que pueden deteriorarse por oxidación al ser expuestos al aire. -Es un método complementario aplicado a otros métodos. 	<ul style="list-style-type: none"> -Los altos costos de instalación y operación del secado al vacío limitan su a aplicación
DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA	<ul style="list-style-type: none"> - Es el mejor método adecuado para la deshidratación de la palta. -La concentración del agente osmótico que rodea a la fruta es un excelente inhibidor del pardeamiento enzimático (oxidativo) que ocurre en la fruta cortada. -Durante el proceso se elimina, junto con el agua, una cierta proporción de los ácidos orgánicos de la fruta. 	<ul style="list-style-type: none"> -El proceso a temperaturas mayores de 70°C el producto adquiere sabores amargos y un resabio similar al sabor de la cáscara de palta. -Necesita de otro método complementario (secado al vacío).

Fuente: Elaboración propia, 2018

1.11.1 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS APLICADOS A LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

En la tabla I-12, se muestra el análisis comparativo entre los métodos aplicados en ósmosis inversa.

Tabla I-12:

Análisis comparativo de métodos aplicados a la deshidratación de palta

Comparación de procesos de deshidratación y sus propiedades					
Tipo de proceso	Gasto energético	Costo inversión inicial.	Nivel de oxidación	Calidad bromatológica	Total
Liofilización	Muy alto 0	Muy alto 0	Muy bajo 6	Muy alto 0	6
Secado por aspersión	Muy alto 0	Alto 2	Alto 2	Bajo 4	8
Deshidratación con gas.	Muy alto 0	Alto 2	Bajo 4	Bajo 4	10
Deshidratación al vacío.	Muy alto 0	Alto 2	Muy bajo 6	Alto 2	10
Deshidratación osmótica.	Muy bajo 6	Bajo 4	Bajo 4	Bajo 4	18

Fuente: Elaboración propia con datos de bibliografía especializada, (Julio Vargas Medina 2011).

Los rangos de los valores empleados en la tabla I-12 son los siguientes:

✓ Gasto energético:

- Muy alto → 0
- Alto → 2
- Bajo → 4
- Muy bajo → 6

✓ Costo de inversión inicial:

- Alto → 0
- Muy Alto → 2
- Bajo → 4
- Muy bajo → 6

✓ Nivel de oxidación:

- Muy alto → 0
- Alto → 2
- Bajo → 4
- Muy bajo → 6

✓ Calidad bromatológica:

- Muy alto → 0
- Alto → 2
- Bajo → 4
- Muy bajo → 6

Según la tabla I-12 de comparación, el método más conveniente para la obtención de palta (variedad *Hass*) deshidratada es la deshidratación osmótica, debido a que el

gasto energético es accesibles; el costo de inversión es menor a los otros métodos , el nivel de oxidación y calidad bromatológica están dentro de la normativa de deshidratación de frutas.

1.12 SELECCIÓN DEL TIPO DE SOLUTOS

Se han reportado el uso de diferentes agentes osmóticos para la deshidratación entre los cuales se encuentran: el azúcar (sacarosa), miel u otros jarabes preparados a partir de azúcares diferentes (lactosa, fructosa, glucosa). El cloruro de sodio (sal de mesa) puede dar un sabor desagradable, no obstante en algunos casos se agregan cantidades mínimas de este soluto a las soluciones de azúcar con el fin de aumentar la velocidad de deshidratación.

Sin embargo, de estos agentes osmóticos las soluciones concentradas de sacarosa proporcionan una velocidad de deshidratación adecuada y mejor calidad del producto final.

1.13 METODOLOGÍA A SER EMPLEADA EN EL ESTUDIO

La metodología a emplear está diseñada bajo el marco de la normativa vigente y el alcance establecido; de acuerdo a esto, para cada objetivo específico se otorga el tratamiento respectivo para desarrollar el proyecto.

A continuación se hace mención del proceso a aplicar con sus respectivas etapas que se desarrollarán tomando en cuenta los parámetros, equipos, materiales y reactivos. En la presente investigación se utilizará un agente osmótico de sacarosa y glucosa ya que es un excelente inhibidor del pardeamiento enzimático (oxidativo) y mejora el aspecto visual del producto, y otros requerimientos necesarios para la obtención óptima del producto.

1.14 SELECCIÓN DEL PROCESO TECNOLÓGICO DE OBTENCIÓN REBANADAS DESHIDRATADAS

El proceso de obtención de rebanadas deshidratadas, se llevará a cabo mediante el proceso de deshidratación osmótica por ser el más conveniente ya que conserva las

características originales de la palta fresca y tiene un menor costo, es un proceso económicamente más factible que otros procesos.

1.14.1 PROCESO DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA A ESCALA DE LABORATORIO

El procedimiento general para la obtención de rebanadas deshidratadas osmóticamente a escala laboratorio de diferentes materias primas no cambia, en su esencia es el mismo para todas; los procesos principales son: la inactivación de enzimas (Polifenoloxidasas) en las pulpas, y preparación del agente osmótico. (Cornejo, V. 2010).

La inactivación de enzimas se realiza con el propósito de hacer el proceso de obtención más eficiente, seguido del cortado en rebanadas de la materia prima. La obtención consiste en la deshidratación osmótica en condiciones específicas de concentración, temperatura y tiempo, que son las variables independientes que determinan la calidad del producto y el rendimiento del proceso. Las etapas subsecuentes son el lavado de las rebanadas de palta deshidratada osmóticamente, lavado a chorro con agua destilada para eliminar el exceso de agente osmótico que queda adherido en las rebanadas; luego se secan la superficie con papel absorbente, se pesaron; posteriormente se determinó el contenido de humedad por diferencia de peso, finalmente las rebanadas de palta variedad hass, provenientes de la deshidratación osmótica con humedad intermedia se las seca a vacío hasta una humedad apropiada; como última operación se tiene el envasado y almacenado. (Cornejo V., 2010).

1.14.1.1 PRINCIPALES ETAPAS EN LA PREPARACIÓN DE PRODUCTOS DESHIDRATADOS OSMÓTICAMENTE

La deshidratación osmótica se usa como pre tratamiento de muchos procesos para mejorar las propiedades nutricionales, sensoriales y funcionales del alimento sin modificar su integridad (Torreggiani, D. 1993). Generalmente precede a procesos como la congelación (Ramallo, L. y Mascheroni, R., 2010), secado al vacío o secado

por aire caliente. En la Figura I-16 se esquematizan las principales etapas en el procesamiento de productos deshidratados osmóticamente:

Figura 1-18: Etapas principales en el procesamiento de productos deshidratados osmóticamente

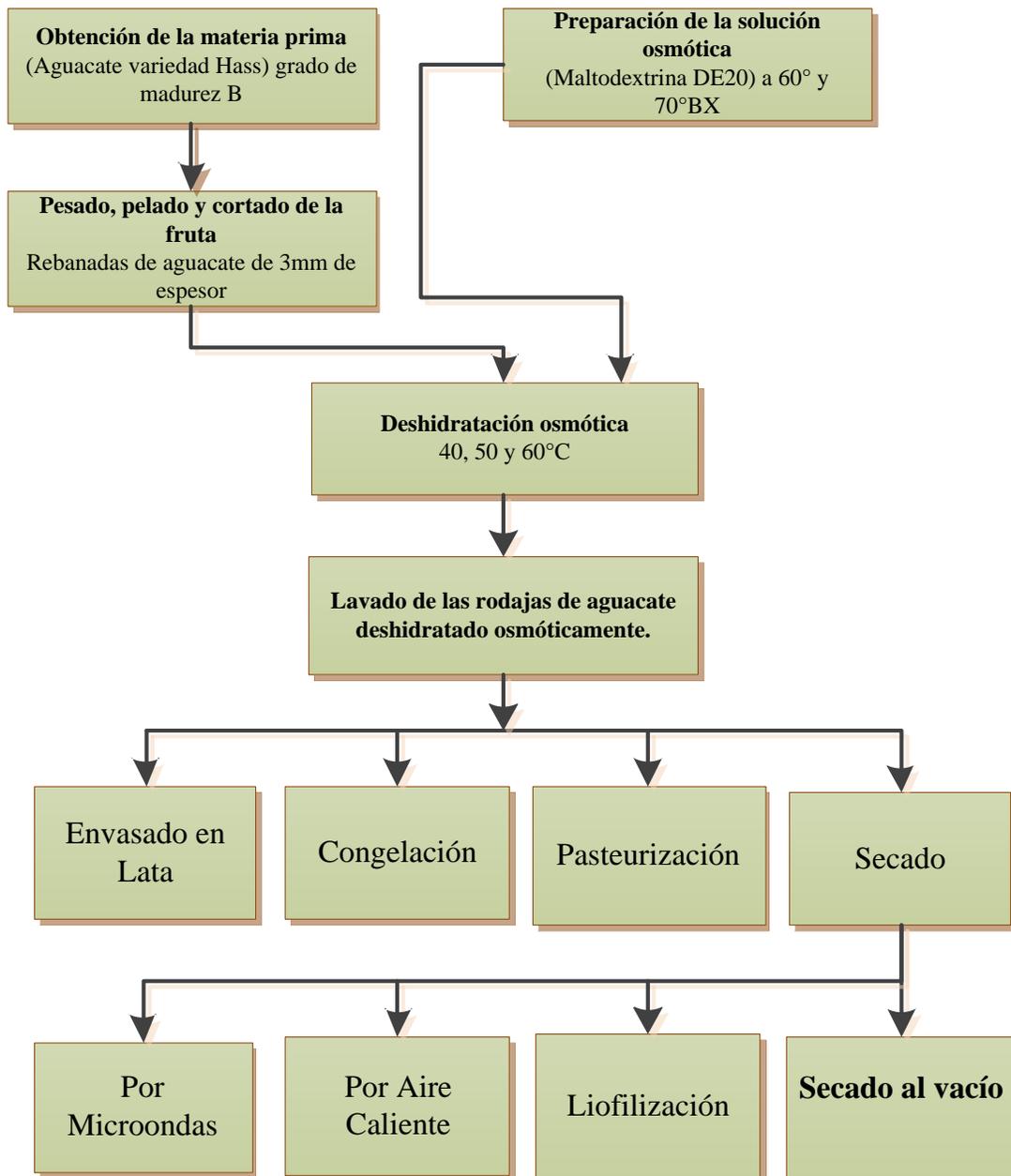


Figura: Desarrollo experimental para el proceso de deshidratación osmótica de la palta por el método OSMO-VAC; Ramallo, L. y Mascheroni, R., 2010.

1.14.1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE FRUTAS DESHIDRATADAS OSMÓTICAMENTE

A continuación se describe el proceso para elaborar frutas deshidratadas osmóticamente (Carrera y Mora, 2007).

1.14.1.2.1 MATERIA PRIMA

La materia prima para elaborar frutas deshidratadas osmóticamente debe poseer estructura celular más o menos rígida que actúa como membrana semipermeable; además, debe estar sana, madura, libre de heridas y enfermedades para garantizar la calidad del producto final (Carrera y Mora, 2007).

1.14.1.2.2 SELECCIÓN Y CLASIFICACIÓN

Se realiza un control de calidad y se rechaza la fruta que no cumpla con los parámetros requeridos para el proceso (Carrera y Mora, 2007).

1.14.1.2.3 PELADO

Se procede a retirar la cáscara, si es muy gruesa, poco permeable y no permite una deshidratación óptima (Carrera y Mora, 2007).

1.14.1.2.4 CORTADO

La fruta se lava y puede trabajarse entera o en trozos. Del tamaño y forma de los trozos también dependerá una deshidratación osmótica más eficiente (Carrera y Mora, 2007).

1.14.1.2.5 ESCALDADO

El escaldado consiste en sumergir la fruta en agua a una temperatura que oscila entre 50°C y 90°C por un tiempo variable de (1-3) min. La temperatura aplicada y la duración depende de la especie, de su estado de madurez y de su tamaño, según (Carrera y Mora, 2007).

El escaldado se efectúa en atención a los siguientes objetivos:

- Inactivación de las enzimas.

- Ablandamiento de producto.
- Eliminación parcial de los gases intercelulares.
- Fijación y acentuación del color natural.
- Reducción parcial de los microorganismos presentes.
- Desarrollo del sabor característico.
- Disminuye la selectividad de las paredes de las células.

1.14.1.2.6 INMERSIÓN EN EL JARABE

La fruta será sumergida en el jarabe; a continuación se mencionan algunos detalles importantes a tomar en cuenta en la deshidratación osmótica (Carrera y Mora, 2007).

El jarabe de deshidratación osmótica es una solución que está compuesta por agua y soluto, las características del jarabe varían según la composición y la concentración. Dependiendo de la naturaleza química de los compuestos empleados para preparar el jarabe, es decir su composición, estos van a ejercer una diferente presión osmótica. Algunos autores expresan esta fuerza osmótica en términos de osmosidad, término que expresa el número de moles de cloruro de sodio por litro necesarios para obtener una solución con la misma presión osmótica de la solución en estudio (Carrera y Mora, 2007).

Esta osmosidad será mayor si el peso molecular del compuesto es más bajo y su capacidad ionizante es alta (Carrera y Mora, 2007).

1.14.1.2.7 DESHIDRATACIÓN Y AGITACIÓN

La deshidratación osmótica se produce por la diferencia de concentraciones entre el interior de la fruta con el jarabe la que se incrementa con la agitación. En esta etapa del proceso se produce la salida de agua de la fruta y el ingreso de solutos del jarabe hacia la fruta (Carrera y Mora, 2007).

1.14.1.2.8 SECADO

El secado se puede realizar al ambiente con la luz solar o artificialmente con aire forzado caliente; este tratamiento permitirá alcanzar a la fruta más estabilidad al disminuir su cantidad de agua presente en mayor proporción (Carrera y Mora, 2007).

Al finalizar el secado se empaqueta el producto y se lo almacena en un lugar adecuado a temperatura ambiente (Carrera y Mora, 2007).

1.14.2 PRINCIPALES PARÁMETROS A EVALUAR DURANTE LA OBTENCIÓN DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

1.14.2.1 CONCENTRACIÓN DEL AGENTE OSMÓTICO

A una mayor concentración del jarabe o agente osmótico la velocidad de secado es más rápida, generalmente es favorecida por la utilización de soluciones fuertemente concentradas y productos recortados en pedazos pequeños (Rahman, M. y Lamb, J. 1990). Con el incremento en la concentración de la solución se forma una capa de soluto sobre la superficie del producto que actúa como barrera reduciendo la pérdida de nutrientes y, a muy altas concentraciones, puede dificultar también la pérdida de agua. Sin embargo, con jarabes ligeros el drenado es más fácil, debido a la baja viscosidad del mismo. La utilización de jarabes de concentraciones elevadas permite también reducir la pérdida de sustancias hidrosolubles tales como la vitamina C. Para soluciones de salmuera las concentraciones oscilan entre 3% y el 15%. Además, como se mencionó anteriormente, se forma una capa de sacarosa sobre la superficie del producto que impide la penetración de sal en el producto y permite mejorar la pérdida de agua sin afectar tanto el sabor (Baroni, A. y Hubinger, M. 2000). Guzmán y Segura (1991) han estudiado la potenciación de medios de deshidratación con el agregado de sal a concentraciones inferiores al 10 % m/m para evitar sabores dulces indeseables en el alimento.

Las concentraciones del agente osmótico de sacarosa más recomendadas, para su utilización en la deshidratación osmótica son: 50°Brix, 60°Brix y 70°Brix (Cornejo, V. 2010).

1.14.2.2 RELACIÓN FRUTA: JARABE

La relación fruta: jarabe es otro de los factores que influye en la eficiencia del secado osmótico. Las relaciones más comúnmente usadas son: 1:4, 1:5, 1:6 y 1:2 (Pensaben, 1994).

1.14.2.3 AGITACIÓN

El proceso de deshidratación osmótica, se puede realizar con o sin agitación. Mediante la agitación puede mejorarse el mismo disminuyendo la resistencia a la transferencia de masa en la superficie del producto, además de uniformizar la temperatura y la concentración de solutos en la solución. Sin embargo existen casos en que puede dañarse el producto y debe evitarse. Es por ello que se prefiere el uso de los agitadores orbitales (que oscilan sobre rulemanes) que los agitadores mecánicos de paletas (Rocca, P. 2010). La ventaja de la agitación, es que el proceso se agiliza o es más rápido, obteniéndose una mayor pérdida de agua. La agitación del proceso, se puede realizar de dos maneras:

- Agitación con agitador mecánico o utilizar un equipo electromagnético, evitando en lo posible dañar la fruta.
- Reciclando el jarabe por medio de bombeo, que es lo más simple y efectivo, evitando el daño de la fruta.

1.14.2.4 TIEMPOS DE PERMANENCIA

El tiempo de permanencia puede ser desde (5, 8 y 15 minutos), hasta (4 y 11 horas). En algunos trabajos de investigación se han reportado problemas de cocimiento del producto a temperaturas de 65°C, 75°C y 85°C con tiempos de 15, 8 y 5 min. (Lerici y col, 1985).

Coincidiendo, que las mejores condiciones del secado osmótico ocurren a 70°Brix, 50°C y tiempo de 8 horas con las que se obtiene una reducción de peso aproximadamente del 50% del peso de la fruta, como ser: “Piñas, plátanos, albaricoques y cerezas. A 60°Brix, 55°C y tiempo de 2 horas se obtiene una reducción de peso aproximadamente del 41.06% del peso de la fruta, como ser:

“Papaya”. Es importante, tener en cuenta que la inactivación de las enzimas se logra a temperaturas de 65°C, 75°C y 85°C en tiempos de 1, 3 y 10 minutos.

1.14.2.5 TEMPERATURA DE LA SOLUCIÓN OSMÓTICA

Este es el parámetro más importante que afecta la cinética de pérdida de agua y la ganancia de solutos. La ganancia de solutos es menos afectada que la pérdida de agua por la temperatura ya que a altas temperaturas el soluto no puede difundir tan fácilmente como el agua a través de la membrana celular de los tejidos del producto. La temperatura presenta dos efectos. Uno de ellos es que el aumento de temperatura favorece la agitación molecular y por consiguiente mejora la velocidad de difusión. El otro es la modificación de la permeabilidad de la membrana celular con un incremento de la temperatura. La temperatura crítica a la cual se produce la variación en la permeabilidad de la membrana depende de las distintas especies, pero se estima que para frutihortícolas ronda en el rango de (50°C-55°C), aproximadamente (Rocca, P. 2010).

1.14.2.6 CONTACTO DE LAS FASES

El contacto de la fase sólida con la fase líquida es un factor importante para el desarrollo del proceso, ya que las muestras tienden a flotar sobre la solución osmótica, debido a la diferencia de densidades; por ello, es necesario adoptar un sistema compatible con la fragilidad del producto; además, se tienen tres situaciones del modo de la puesta en contacto de las fases estando directamente relacionado con la pérdida de agua y ganancia de soluto:

- Sumergidos parcialmente
- Sumergidos completamente en reposo
- Con agitación sumergida

1.14.2.7 EL FENÓMENO OSMÓTICO

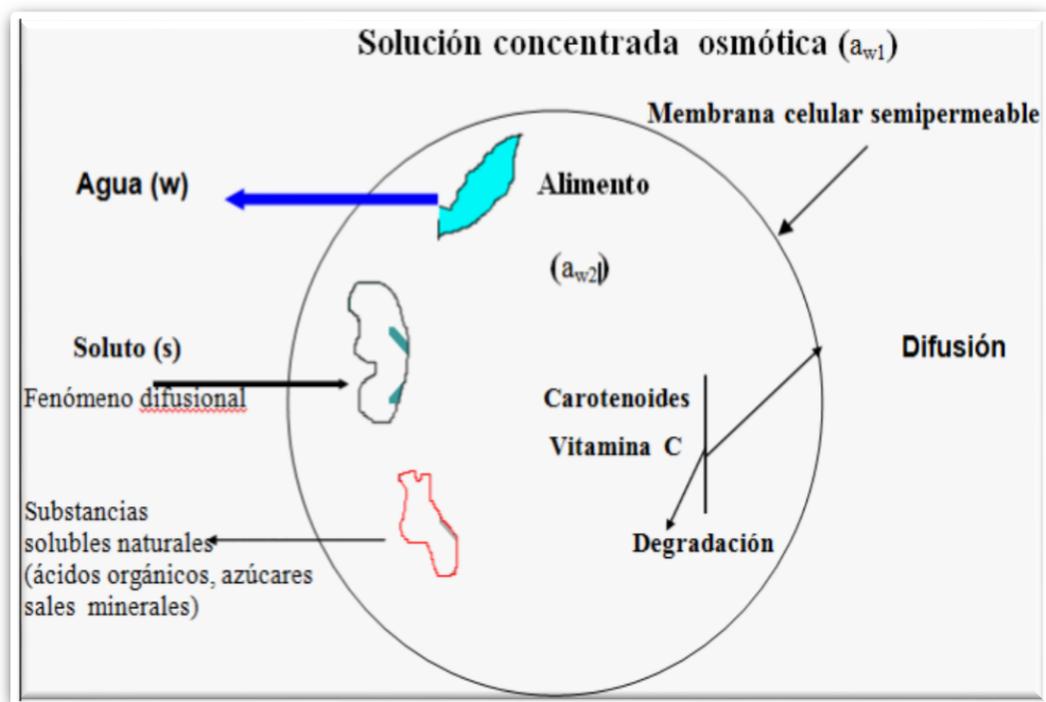
El fenómeno de ósmosis es aquel que se produce por la transferencia del agua presente en el alimento hacia la solución osmótica. Ello se realiza a través de la

membrana celular semipermeable propia del tejido vegetal que separa a ambas soluciones y que es la que permite el paso del agua libre y limita el paso de los solutos. Esto da origen a dos fenómenos de transferencia de materia simultáneamente en contracorriente:

- a.- El agua sale fuera del alimento hacia la solución (fenómeno osmótico).
- b.- Simultáneamente una transferencia de soluto de la solución hacia el alimento (fenómeno difusional).

En la figura 1-19, se observa dicho fenómeno osmótico.

Figura 1-19: Representación esquemática del transporte de masa durante la deshidratación osmótica



Fuente: Ramírez, E. 2010.

Los dos fenómenos de transferencias ósmosis y difusión, son antagónicos, ya que al acelerar a una de ellas se retrasa a la otra; por ello, si la penetración del soluto es rápida, la salida del agua es lenta y esto da lugar a que la velocidad de deshidratación disminuya. Así mismo, otros investigadores comprobaron que la velocidad con que

migra el agua del producto hacia la solución es mayor, comparada con la entrada del soluto de la solución hacia el producto, con lo que se consigue una mayor eliminación del agua y un aumento en el contenido de sólidos.

La transferencia del agua hacia la solución concentrada se facilita por la turbulencia, con lo que se evita la formación de una película de jarabe menos concentrado alrededor del producto. La mayoría de los cambios que se presentan en la deshidratación osmótica, ocurren en la primera media hora del proceso, sobre todo lo relacionado con la salida de agua.

En estudios de aplicación del método de deshidratación osmótica en palta, se ha encontrado que al utilizar un medio de cloruro de sodio al 10% y malto dextrina al 50%, a las dos concentraciones (60 y 70 °Brix) y tres temperaturas (40,50 y 60°C) utilizadas con un tiempo de operación de 3 o 2.5 horas dependiendo de la concentración se logró perder un 30.3% de peso, un 39.4% de pérdida de agua, se ganó un 9,2% en sólidos ganados y una disminución del 6% en la actividad del agua. Además, no mostró cambios en el color (Cornejo, V. 2010).

Por lo anterior, en este trabajo se plantea realizar una deshidratación osmótica para dar un proceso de conservación de rebanadas de palta variedad *Hass* utilizando como agente osmótico una solución de sacarosa y glucosa.

1.14.3 ALGUNOS INCONVENIENTES QUE PUEDEN PRESENTARSE EN EL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

1.14.3.1 CARACTERÍSTICAS SENSORIALES DEL PRODUCTO

Uno de ellos podría ser el aumento en el contenido de sal o el mayor dulzor y/o la disminución de la acidez del producto. Para evitar este problema se puede recubrir el producto con una membrana semipermeable comestible que reduce la transferencia de solutos pero incrementa la pérdida de agua (Rocca, P. 2010).

1.14.3.1.1 PARDEAMIENTO NO ENZIMÁTICO

El pardeamiento no enzimático también se llama “reacción de Maillard”, “caramelización”; es un conjunto de reacciones muy complejas que conducen en

diversos alimentos a la formación de pigmentos pardos o negros, así como a modificaciones favorables o no del olor y sabor.

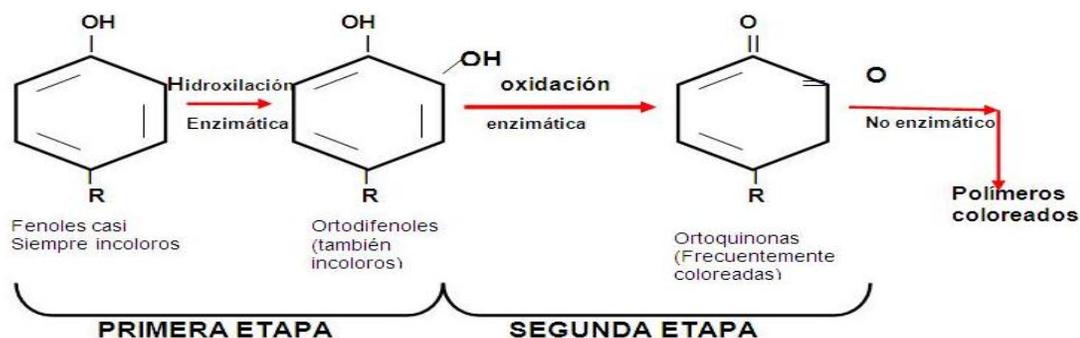
El pardeamiento no enzimático se presenta durante los procesos tecnológicos o el almacenamiento de diversos alimentos. Se acelera por el calor y por lo tanto, se aumenta especialmente durante las operaciones de cocción, pasteurización y deshidratación.

Frecuentemente, el pardeamiento no enzimático se origina durante la preparación o almacenamiento de alimentos líquidos concentrados, tales como: leche, jugos de fruta, jarabes, etc. dando lugar a un oscurecimiento de su color y la aparición de olores y sabores indeseables con pérdida de valor nutritivo.

1.14.3.1.2 PARDEAMIENTO ENZIMÁTICO

Se denomina “pardeamiento enzimático” la transformación enzimática en sus primeras etapas de compuestos fenólicos en polímeros coloreados, frecuentemente pardos o negros. Las fases de su transformación son las siguientes (figura 1-20):

Figura 1-20: Fases de transformación enzimática



Fuente: Cheftel Jean y Cheftel Henri

En el pardeamiento enzimático, los procesos de cambio de color de frutas, verduras y tubérculos que sufren un daño mecánico o fisiológico cuando se pelan, cortan o golpean, se debe a la presencia en los tejidos vegetales de enzimas del tipo de la polifenoloxidasas, proteína cúprica que cataliza la oxidación de compuestos fenólicos a quinonas. Estas prosiguen su oxidación por el oxígeno del aire sobre el tejido en corte reciente hasta formar pigmentos oscuros (Soto, A. 1995).

Según Soto, A. 1995; en la palta las enzimas más importantes en las reacciones de pardeamiento enzimático son las polifenoloxidasas. Las polifenoloxidasas de palta se caracterizan por tener un pH de actividad óptima entre 4,7 y 4,8. Existen varias formas de evitar este tipo de reacciones en la palta, pero todas ellas apuntan a inhibir la enzima o a eliminar el oxígeno ya que sobre el substrato oxidable no es posible actuar; dentro de estas alternativas se puede mencionar:

- Inactivación de la enzima mediante el calor. Dado que las enzimas son proteínas, se desnaturalizan fácilmente por el calor. Sin embargo, en el caso de la palta este procedimiento queda completamente descartado ya que como se mencionó anteriormente, al aplicar tratamientos térmicos a la pulpa de palta, esta adquiere un sabor extraño y amargo, además de una pérdida de textura.
- Inactivación de la enzima mediante inhibidores químicos. Uno del ampliamente usado, son los ácidos, ya que bajo un pH 2,5 cesa esta actividad enzimática. Aunque luego se vuelva al pH original de la fruta, la enzima no se recupera, impidiéndose así el pardeamiento.

El pH óptimo para la actividad de la polifenol-oxidasas, así como el pH óptimo para el pardeamiento enzimático estará entre 5 y 7 más concretamente 6 y 6,5. A pH más bajo su actividad decrece rápidamente y puede medirse por la absorbancia de las quinonas, por el consumo de oxígeno y/o por oxidación indirecta de ciertos compuestos.

1.14.3.1.2.1 PREVENCIÓN DEL PARDEAMIENTO ENZIMATICO

La prevención puede ser:

- Evitar contusiones que dañen los tejidos.
- Inactivación de enzimas por el calor (precalentamiento, pasteurización, esterilización).
- Adición de compuestos reductores que transforman las quinonas en fenoles; permitiendo retardar o impedir el pardeamiento enzimático, el compuesto más frecuente es ácido ascórbico.

- Descenso del pH retarda el pardeamiento enzimático, por lo general se emplean baños en ácido cítrico.

Es eficaz el empleo contra el pardeamiento enzimático y no enzimático el anhídrido sulfuroso y los bisulfitos.

En el caso del pardeamiento enzimático su modo de acción no está totalmente aclarado para el anhídrido sulfuroso, del que una gran parte se fija sobre los enlaces carbonilo de los azúcares presentes y otra reacción con las quinonas, que así quedan bloqueadas. Además posee una acción antiséptica.

1.14.4 MANEJO DE LA SOLUCIÓN DESHIDRATANTE

El manejo de la solución deshidratante es muy importante desde el punto de vista industrial. La solución puede reciclarse, sin embargo la contaminación microbiana puede aumentar al reciclar la solución un mayor número de veces. Para poder reciclar la solución es necesario concentrar la solución que ha sido diluida durante el proceso de deshidratación ya sea por evaporación y/o mediante el uso de membranas de ósmosis inversa. También debería evaluarse si es necesario el agregado de solutos.

Durante los primeros tiempos de deshidratación, el producto flota en la solución debido a que la misma posee una densidad mayor. Al no estar sumergido totalmente el producto en la solución, la transferencia de masa no puede llevarse a cabo en toda la superficie del producto. Otro factor que juega de manera desfavorable al proceso de transferencia de masa es la alta viscosidad de la solución al iniciar el proceso. Luego, a medida que el producto se va deshidratando la solución se diluye y disminuye su viscosidad. Además, las soluciones con elevada viscosidad dificultan la agitación y favorecen la adherencia de solutos en la superficie del producto. Este último fenómeno podría disminuir la velocidad de posteriores secados (Rocca, P. 2010).

CAPÍTULO II

PARTE EXPERIMENTAL

2.1 INTRODUCCIÓN

La parte experimental del presente trabajo “Obtención de Rebanadas Osmodeshidratadas de palta (Variedad *Hass*) producida en el departamento de Tarija” se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, ubicado en el Campus Universitario de la Zona el Tejar.

2.2 DESCRIPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA

La metodología de esta investigación se elaboró mediante un muestreo aleatorio dentro del cual se eligió materia prima procedente de Yacuiba ubicado en la provincia Gran Chaco, adquirida del Mercado Campesino de la ciudad de Tarija. El fruto a utilizar es la palta (*Persea americana Hass*).

Los índices de calidad y las propiedades físicas se determinaron mediante diferentes ensayos que describen a continuación. El presente trabajo utiliza como referencia el método científico, dentro del cual se detallan los pasos que se siguieron para determinar las variables a estudiar.

En la fotografía 2-1, se muestra la pulpa de palta adquirida del Mercado Campesino de la ciudad de Tarija.

Fotografía 2-1: Pulpa de palta



Fuente: Elaboración propia, 2018

2.3 RECURSOS MATERIALES DISPONIBLES Y EQUIPOS

Las rebanadas deshidratadas se debe obtener de la pulpa de palta con nivel de madurez B; con este grado de madurez la palta presenta una consistencia adecuada tanto para el manipuleo necesario para determinar la composición de las rebanadas obtenidas con diferentes tratamientos previos en la pulpa de aguacate (*Persea americana Hass*).

Se deben utilizar los frutos catalogados como Sazón-firme por el color de la cáscara (Negro- verde) para obtener por la deshidratación osmótica, para esto se busca un nivel de madurez tipo B según la Tabla II-1.

Tabla II-1:

Niveles de maduración de la palta de la variedad *Persia Americana Hass*

Niveles de maduración del Palta variedad <i>Hass</i>				
Nivel	Nombre	fuerza media de penetración (gramos fuerza)	Dureza al tacto	Color de la cáscara
Madurez A	Verde	> 40	Dureza extrema	Verde-negro
Madurez B	<u>Sazón-firme</u>	25-40	Firme duro	Negro-verde
Madurez C	Sazón-suave	10-025	Firme suave	Negro
Madurez D	Maduro	< 10	Blando	Negro purpura

Fuente: (Arriola et al., 2006)

En la tabla II-1, se observa que la palta con grado de madurez B, Sazón-firme, fuerza media de penetración (gramos fuerza) 25-40, dureza al tacto Firme duro y color de la

cáscara Negro-verde; es el grado de madurez más conveniente para realizar la etapa experimental para la obtención de rebanadas deshidratadas osmóticamente.

2.4 DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS, INSTRUMENTOS Y MATERIAL DE LABORATORIO UTILIZADOS EN LA OBTENCIÓN DE REBANADAS DESHIDRATADAS DE PULPA DE PALTA

A continuación se describe los equipos, instrumentos utilizados en la obtención de rebanadas deshidratadas de pulpa de palta.

2.4.1 EQUIPOS DE LABORATORIO

Los equipos de laboratorio que se utilizaron para llevar a cabo el trabajo de investigación se describen a continuación.

▪ Balanza analítica

En la fotografía 2-2, se muestra la balanza analítica, que separa el control de peso, en toda la investigación de obtención de rebanadas deshidratadas de pulpa de palta (pesado de palta, pesado de glucosa, pesado de sacarosa, pesado ácido ascórbico, pesado de cloruro de calcio y pesado de rebanadas osmodeshidratadas).

Fotografía N° 2-2: Balanza analítica



Fuente: Elaboración propia, 2018

- **Calentador - agitador magnético**

Este equipo se utiliza durante la etapa de deshidratación osmótica para agitar la solución (Palta- Agente osmótica) para la obtención de rebanadas deshidratadas de pulpa de palta. El equipo es para calentar el agente osmótico con palta hasta la temperatura de proceso y mantenerla constante. Se emplea la agitación magnética para acelerar la deshidratación osmótica. En la fotografía 2-3, se muestra el agitador magnético el cual se utilizó en el trabajo de investigación de obtención de rebanadas deshidratadas de palta.

Fotografía 2-3: Calentador-agitador magnético



Fuente: Elaboración propia, 2018

- **Balanza de humedad**

Utilizada para la determinación de la humedad de la materia prima, como también en las diferentes etapas del proceso de obtención y del producto final de rebanadas osmodeshidratadas de pulpa de palta, además se usó para la determinación de la humedad del producto una vez secado en el secador a vacío. El equipo funciona sobre la base del principio termo gravimétrico: Al comienzo de la medida, el analizador de humedad determina el peso de la muestra; a continuación, la muestra se calienta rápidamente por medio de la unidad halógena desecadora y la humedad se evapora. Durante la operación de desecación, el equipo determina continuamente el peso de la

muestra y presenta el resultado. Cuando la desecación termina, el resultado se muestra cómo % de contenido de humedad, % sólido, peso o % de tolerancia de humedad, en la fotografía 2-4, se muestra la balanza de humedad.

Fotografía 2-4: Balanza de humedad



Fuente: Elaboración propia, 2018

Para la determinación de la humedad se procedió de la siguiente manera:

- Se programó la balanza de humedad para que se realice el secado del fruto a 105°C, hasta llegar a peso constante.
- Se pesaron en la balanza 5,00 gramos de muestra
- Se inició el proceso

Se registró el dato del contenido de humedad cada vez que la balanza concluía con la determinación.

▪ **Refractómetro**

En la fotografía 2-5, se muestra el refractómetro que se utilizó para medir los °Brix del agente osmótico en el proceso de preparación del agente osmótico y durante el proceso de deshidratación osmótica, con el propósito de determinar cuál presenta el mejor porcentaje de humedad y determinación de sólidos totales del producto rebanadas deshidratadas de palta.

Fotografía 2-5: Refractómetro



Fuente: Elaboración propia, 2018

2.4.2 INSTRUMENTOS DE LABORATORIO

Los instrumentos de laboratorio que se utilizaron durante el desarrollo del presente trabajo de investigación son los siguientes.

- **Termómetro de vidrio**

Este instrumento, es empleado para medir la temperatura y se utilizó durante el proceso de deshidratación osmótica y secado a vacío de las rebanadas osmodeshidratadas de pulpa de palta. En la fotografía 2-6, se observa el termómetro utilizado en el proceso de deshidratación.

Fotografía 2-6: Termómetro



Fuente: Elaboración propia, 2018

- **pH-metro digital**

En la fotografía 2-7, se muestra el pH-metro que se utilizó en la etapa de obtención de palta deshidratada osmóticamente de pulpa de palta.

Fotografía 2-7: pH-metro digital



Fuente: Elaboración propia, 2018

2.4.3 MATERIAL DE LABORATORIO

El material de laboratorio utilizado durante la parte experimental del trabajo de investigación, se detalla en la tabla II-2.

**Tabla II-2:
Material de laboratorio**

Material	Especificación	Cantidad	Tipo
Bureta	500ml	1	Vidrio
Vasos de precipitación	1000ml	2	Vidrio
Espátula	-	2	Plástico
Cucharilla	Pequeña	3	Metal
Papel absorbente	-	16	Papel
Bandeja de acero	Para secado	2	Acero Inoxidable
Guantes	Mediano	100	Látex
Barbijos	mediano	10	Tela
Termómetro	-10 °C a 100°C	2	Vidrio
Ollas de	2000 ml	3	
Colador	Pequeño	1	Acero inoxidable
Jarra	1000 ml	1	Plástico
Recipientes para colocar materia prima y productos	pequeño	3	Plástico
Cuchillo de acero inoxidable	pequeño	1	Acero inoxidable
Cocina de dos hornallas	-	1	Chapa-hierro

Fuente: Elaboración propia, 2018

2.5 REACTIVOS QUÍMICOS

En las tablas II-3A y II-3B, se detallan los reactivos químicos y en la fotografía 2-8, se muestran los reactivos utilizados para el proceso de obtención experimental de rebanadas deshidratadas de pulpa de palta (*Persea americana Hass*).

Tabla II-3A:

Reactivos químicos para el proceso de escaldado en el proceso experimental de rebanadas deshidratadas de pulpa de palta.

Sustancia	Concentración		Estado
Ácido ascórbico	150 g	15%	Sólido
Agua destilada	850 g	85%	Líquido

Fuente: Elaboración propia, 2018

Tabla II-3B:

Reactivos químicos para preparar la solución osmótica en el proceso de obtención experimental de rebanadas deshidratadas de pulpa de palta.

Sustancia	Concentración		Estado
Cloruro de calcio	10 g	1%	Sólido
Glucosa	350 g	35%	Sólido
Sacarosa	350 g	35%	Sólido
Agua destilada	290 g	29%	Líquido

Fuente: Elaboración propia, 2018

En la fotografía 2-8, se muestra los reactivos químicos utilizados para el proceso de obtención experimental de rebanadas osmodeshidratadas de palta.

Fotografía 2-8: Reactivos Químicos



Fuente: Elaboración propia, 2018

2.6 DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental es una técnica estadística, que tiene por objetivo definir el número de pruebas que se van a realizar en el presente estudio manipulando dos o más variables independientes del problema en estudio, de tal manera que sea posible observar los cambios que se producen en la variable respuesta, de tal modo que el investigador obtenga estimaciones con la mayor precisión posible.

En los objetivos de un diseño experimental pueden incluirse:

- Determinar cuáles variables tienen mayor influencia en la respuesta Y.
- Determinar el mejor valor de las X que influyen en Y de modo que Y tenga casi siempre un valor cercano al valor nominal deseado.
- Determinar el mejor valor de las X que influyen en Y de modo que la variabilidad de Y sea pequeña.
- Determinar el mejor valor de las X que influyen en qué modo se minimicen los efectos de las variables incontrolables.

2.6.1. PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS

Para llevar a cabo el diseño experimental se tomaron en cuenta las siguientes hipótesis:

- Existe diferencia en cuanto a los niveles de variación, en el tiempo de agitación.
- Existe diferencia en cuanto a los niveles de variación, en la concentración de la solución osmótica.
- Existe diferencia en cuanto a los niveles de variación, en la temperatura de la solución osmótica y escaldada de la palta.
- Existe variación en la interacción entre ambos factores.

Nivel de significación: 0.05 (95%)

2.7 DISEÑO FACTORIAL

Los diseños factoriales, son ampliamente utilizados en experimentos en los que intervienen varios factores para estudiar el efecto conjunto de estos sobre una respuesta. Se conocen distintos métodos generales para el análisis de diseño factoriales, sin embargo, existen varios casos especiales del diseño factorial general que resultan importantes porque se usan ampliamente en el trabajo de investigación, y porque constituyen la base para otros diseños de gran valor práctico (Montgomery, D. 1991).

El más importante de estos casos especiales ocurre cuando se tienen K factores, cada uno con dos niveles. Estos valores pueden ser cuantitativos como sería el caso de dos valores de temperatura, presión o tiempo. También pueden ser cualitativos como sería el caso de dos máquinas, dos operadores, los niveles superior e inferior de un factor o, quizás, la ausencia o presencia de un factor (Montgomery, 1991).

En el diseño factorial se realizan todas las combinaciones posibles de los niveles de varios factores o variables que intervienen en el experimento. El diseño factorial empleado está basado en n^k , donde n es el número de niveles y k es el número de factores, (k=3), cada uno con dos niveles (n=2): nivel o valor alto (+) y nivel o valor bajo (-).

Por lo tanto, el diseño experimental corresponde a un modelo experimental 2^3 compuesto por dos niveles y por tres variables o factores.

Factor Concentración: Concentración de la solución deshidratante

Factor Temperatura: Temperatura de la solución

Factor Tiempo: Tiempo de deshidratación

Los experimentos a realizarse incluyen todas las combinaciones de cada nivel de un factor con todos los niveles de los otros factores, por lo tanto, se requiere de 8 experimentos (2^3).

K = número de factores; número de columnas

(+) = nivel o valor alto

(-) = valor o nivel bajo

2^k = número de experimentos; número de filas

En el presente trabajo de investigación se estudia como respuesta la humedad a factores tales como temperatura, concentración y temperatura.

2.7.1 VARIABLES Y NIVELES DEL DISEÑO FACTORIAL

De los principales parámetros a evaluar durante la obtención de fruta deshidratada por el método osmótico descrito en el capítulo I, los factores manipulables son:

a) CONCENTRACIÓN DEL AGENTE OSMÓTICO

Cuanto mayor sea la concentración de soluto de la solución osmótica mayor será la diferencia de presión osmótica entre esta y el producto, lo cual aumentará la velocidad de salida de agua del producto. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que concentraciones muy altas de soluto pueden causar que se forme una capa de este sobre la superficie de la fruta lo que dificultaría la pérdida de agua. Por lo tanto, es muy importante realizar ensayos previos para determinar cuál es la concentración más adecuada para cada producto (M. Parzanese).

b) TEMPERATURA

Los estudios realizados reportan valores de temperatura desde 40°C hasta los 60°C para la obtención de rebanadas osmodeshidratadas por lo que se considera temperatura dentro de ese rango.

c) TIEMPO DE OBTENCIÓN

La variable de tiempo relaciona la cantidad de agua extraída de la palta a diferentes intervalos de tiempo de tal manera que se optimice las horas de trabajo.

d) VARIABLE RESPUESTA

Es el contenido de humedad de las rebanadas deshidratadas osmóticamente de la pulpa de palta.

De lo cual concluimos que se trata de un diseño factorial 2^3 con dos repeticiones cada experimento.

Cálculo de número de experimentos a realizar:

$$N_{\text{exp}} = N_{\text{niveles}}^{N_{\text{factores}}} * \text{repetición}$$

$$N_{\text{exp}} = 2^3 * 2 = 16$$

De la ecuación realizada se concluye que el número de experimentos a realizar es 16.

2.7.2 NIVELES

Para determinar los niveles de los factores se tomó en cuenta las referencias bibliográficas presentadas en el capítulo anterior.

La tabla II-4, muestra los niveles decodificados de las variables a utilizar en el diseño experimental para luego representar los experimentos en la tabla II-5 ya codificados.

2.7.2.1 CONSTRUCCIÓN DEL DISEÑO FACTORIAL 2^K

Tabla II-4: Niveles decodificados de las variables

Factores	Dominio experimental	
	Nivel (-)	Nivel (+)
Concentración agente osmótico (C)	-1	+1
Temperatura (T)	-1	+1
Tiempo de obtención (t)	-1	+1

Fuente: Elaboración propia, 2018

Para conocer los efectos de un factor es suficiente hacerlo variar entre los extremos de su dominio experimental: ente el nivel -1 y +1. Además, su variación se debe realizar para cada posible combinación de los valores de los demás factores. Esto permitirá descubrir que el efecto depende de qué valor tomen los otros factores. Todas estas combinaciones están contempladas en el diseño factorial completo 2^3 de la tabla II-5. En total, ocho experimentos correspondientes a 2 niveles concentración del agente osmótico x 2 niveles de temperatura de trabajo x 2 niveles de tiempo de trabajo.

2.7.2.2 NÚMERO DE COMBINACIONES DEL DISEÑO FACTORIAL

El número de combinaciones de los factores es igual a 8 por tratarse de un diseño factorial 2^3 . Se realiza una repetición de toda la experiencia; por lo tanto, el número total de experimentos a realizar es 16.

A continuación se muestra el diseño experimental planteado en la tabla II-5.

Tabla II-5: Matriz de diseño experimental codificada (2³)

Nº de Experimento	Factores			Respuesta I	Respuesta II
	Concentración (%)	Temperatura (°C)	Tiempo (horas)	Y	Y
				(%) Humedad	(%) Humedad
1	-1	-1	-1	y ₁	y ₉
2	+1	-1	-1	y ₂	y ₁₀
3	-1	+1	-1	y ₃	y ₁₁
4	+1	+1	-1	y ₄	y ₁₂
5	-1	-1	+1	y ₅	y ₁₃
6	+1	-1	+1	y ₆	y ₁₄
7	-1	+1	+1	y ₇	y ₁₅
8	+1	+1	+1	y ₈	y ₁₆

Fuente: Elaboración propia, 2018

Donde Y = variable respuesta = porcentaje de humedad de rebanadas deshidratadas osmóticamente obtenida en cada experimento.

Se hará dos réplicas, que serían 16 experimentos.

Para conocer los efectos de un factor es suficiente hacerlo variar entre los extremos. En la tabla II-6, se muestra la matriz de diseño experimental codificada con los parámetros en estudio.

Tabla II-6:**Matriz de diseño experimental codificada con los parámetros de estudio (2³)**

Nº	Matriz experimental			Plan de experimentación			
	(°Brix)	(°C)	(Horas)	Concentración (°Brix)	Temp. (°C)	Tiempo (Hora)	Respuesta
1	-1	-1	-1	60	40	2:30	y ₁
2	+1	-1	-1	70	40	2:30	y ₂
3	-1	+1	-1	60	50	2:30	y ₃
4	+1	+1	-1	70	50	2:30	y ₄
5	-1	-1	+1	60	40	3:30	y ₅
6	+1	-1	+1	70	40	3:30	y ₆
7	-1	+1	+1	60	50	3:30	y ₇
8	+1	+1	+1	70	50	3:30	y ₈

Fuente: Elaboración propia, 2018

2.8. METODOLOGÍA A SER EMPLEADA EN EL ESTUDIO

La metodología a emplear está diseñada bajo el marco de la normativa vigente y el alcance establecido; de acuerdo a esto para cada objetivo específico se otorga el tratamiento respectivo para desarrollar el proyecto.

A continuación se hace mención del proceso a aplicar con sus respectivas etapas que se desarrollarán tomando en cuenta los parámetros, equipos, materiales y reactivos. En la presente investigación se utilizará un agente osmótico de sacarosa y glucosa ya que es un excelente inhibidor del pardeamiento enzimático (oxidativo) y mejora su aspecto visual del producto, y otros requerimientos necesarios para la obtención óptima del producto.

2.9. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO EXPERIMENTAL DE OBTENCIÓN DE REBANADAS DESHIDRATADAS DE PULPA DE PALTA

Antes de realizar las pruebas de obtención de rebanadas deshidratadas de pulpa de palta, se procedió a realizar pruebas preliminares a nivel experimental, para determinar el número de extracciones en el proceso de obtención de rebanadas deshidratadas de pulpa de palta, para obtener un producto con un menor porcentaje en humedad.

2.8.1 PALTA (*Persea americana miller Hass*)

La palta del género *Persea Americana Miller*, que hace parte de la familia botánica Laurácea, originaria de América Central y cultivada en los cinco continentes, en países tropicales y subtropicales. Los mayores cultivos se encuentran en América. Existen miles de variedades con grandes diferencias de tamaño, forma, color, textura, cualidades y sabor. La variedad que se usó en el trabajo de investigación es la Hass, con propiedades nutricionales muy buenas y de gran consumo en nuestro país. Se caracteriza por tener los tubérculos de forma oval y alargados, la piel es rugosa, de color verde a ligeramente negruzca cuando está en el árbol, la carne amarilla y el tamaño varía entre 150 a 400 gramos. Su rendimiento es alto debido al bajo contenido

de humedad que varía entre 55 y 70 %. Su contenido de vitaminas del complejo B y vitamina E es considerable. (Wikipedia y Rocca, P. 2010).

Para llevar a cabo las experiencias se seleccionaron paltas de tamaño similar y con grado de madurez B. En la fotografía 2-9, se observa el fruto (palta).

Fotografía 2-9: Palta variedad Hass



Fuente: Elaboración Propia, 2018

2.8.2 SOLUTOS UTILIZADOS

Los agentes deshidratantes utilizados para elaborar las diferentes soluciones acuosas empleadas en las distintas experiencias fueron:

- Glucosa en polvo: Se utilizó glucosa comercial
- Sacarosa: Se utilizó azúcar impalpable comercial
- Cloruro de calcio: Se empleó cloruro de calcio en escama 77 %. Es un potenciador de sabor en conservas y enlatados, reafirmante de quesos, suplemento de ion calcio en bebidas energizantes y otras.
- Ácido ascórbico: se utilizó ácido ascórbico al 99 %, es un antioxidante y regulador de pH en alimentos y bebidas no alcohólicas.
- Agua natural.

2.8.3 ENSAYOS DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA PARA ANALIZAR EL EFECTO DE LAS DISTINTAS VARIABLES SOBRE LA PÉRDIDA DE PESO DURANTE EL PROCESO

Se prepararon soluciones con mezclas de sacarosa, glucosa, cloruro de calcio en escamas como solutos y agua como solvente. Se trabajó variando la concentración de sacarosa y glucosa en 60% y 70%; se usó de cada soluto (50% de cada uno) y la concentración de cloruro de calcio 1% m/v. La relación masa de solución a masa de rebanadas es 1:25. Se analizó cómo influía en la deshidratación osmótica la modificación de la temperatura (40 y 50 ± 0.5 °C) y el tiempo de deshidratación osmótica (2:30 y 3:30 horas). Se realizó la búsqueda de los valores de estas variables, condiciones de operación, para un mismo nivel de agitación 350-700 rpm, que permiten alcanzar una adecuada pérdida de agua analizando y comparando las curvas de deshidratación que se presentan en el capítulo III.

2.8.4 DESCRIPCIÓN DE EXPERIENCIAS DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

El sistema (palta-solución) se colocó en un vaso de precipitado de 1 Litro y se agitó a 340-700 rpm en un Calentador - agitador magnético con controlador de temperatura.

En las experiencias se trabajó con una muestra de pulpa de palta de 40 gramos y solución de 1010,25 gramos (relación masa de solución/masa de palta igual a 25 y relación ml de solución/masa de palta igual a 20).

Para determinar el contenido de humedad de la palta fresca y deshidratada osmóticamente se emplea un secador infrarrojo marca sartorius perteneciente al Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Carrera de Ingeniería Química, el cual está programado a 105 °C para realizar el secado.

Para la presente investigación se determinó la humedad de la pulpa de palta fresca y deshidratada osmóticamente; los resultados se detallan en el capítulo III.

El procedimiento para determinar el porcentaje de humedad de pulpa de palta se detalla a continuación.

- Encender el equipo, introducir plato de aluminio y tara.
- Pesar 5 gramos de pulpa de palta
- Iniciar el proceso de secado.

Registrando a intervalos de tiempo de 2 min (para todas las pruebas respectivas), una vez extraídas las rebanadas de palta que se hallaban inmersas en la solución deshidratante. Se las enjuagó con agua destilada para extraer la sacarosa adherida a la superficie y se las secó cuidadosamente con papel absorbente. Posteriormente, las rebanadas de palta se pesaron para analizar cómo varía la pérdida de peso en función del tiempo.

2.9 DESCRIPCIÓN DE LAS ETAPAS DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE REBANADAS DESHIDRATADAS DE PALTA (*Variedad Hass*)

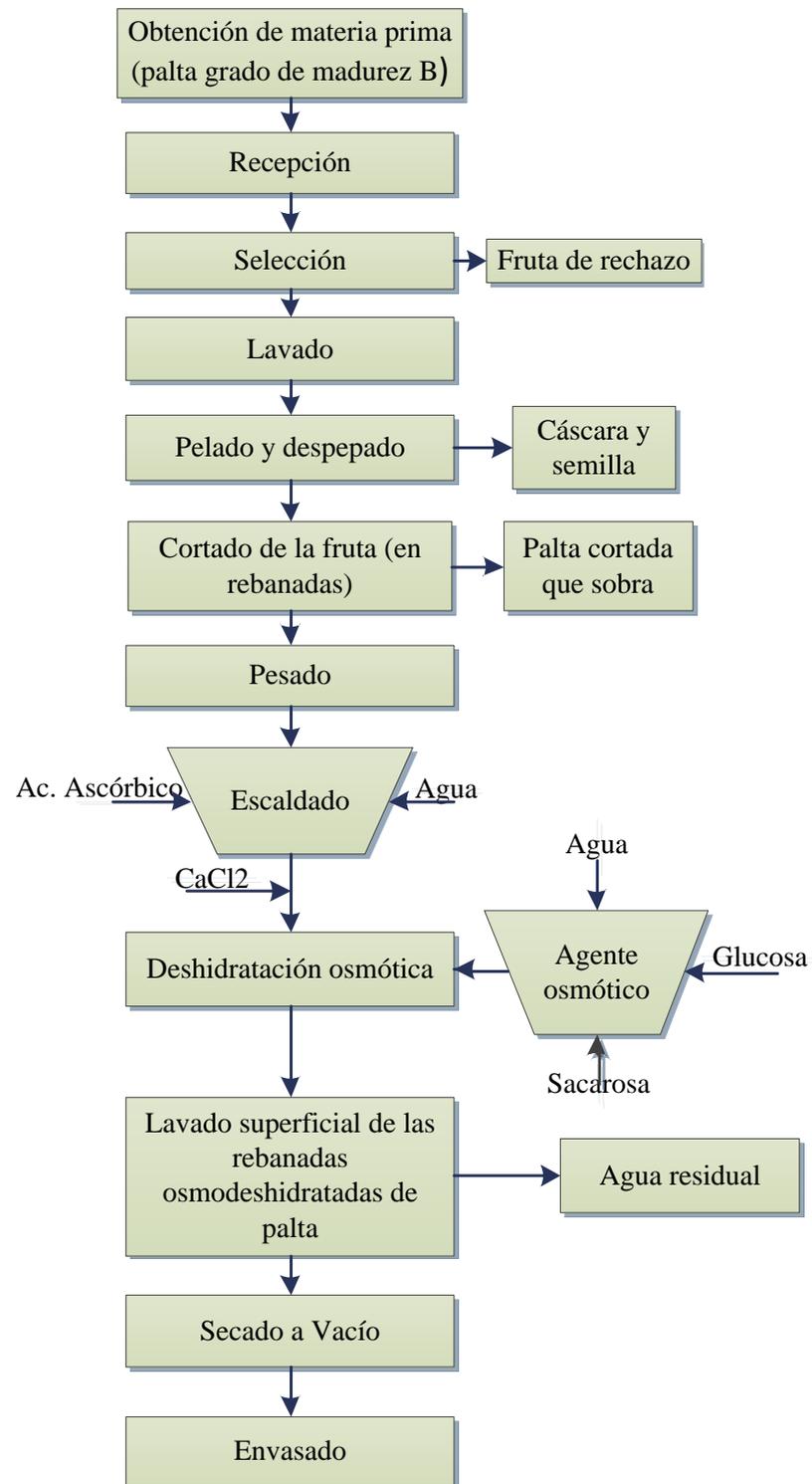
Para desarrollar el presente proyecto, la parte experimental comprende dos partes; la primera consiste en el proceso de un tratamiento térmico. Para ello, se realizó el proceso de escaldado con el objetivo de inactivar la enzima (Polifenoloxidasas) presente en la palta.

La segunda parte comprende el desarrollo del diseño experimental donde se cuantifica las rebanadas osmódeshidratadas obtenidas mediante el proceso de deshidratación osmótica.

El siguiente diagrama de bloques representa las diferentes etapas del proceso de obtención de rebanadas deshidratadas de pulpa de palta.

El diagrama de bloques de la figura 2-1, muestra las diferentes etapas del proceso de deshidratación osmótica.

Figura 2-1: Diagrama de flujo del proceso de obtención experimental de rebanadas deshidratadas de pulpa de palta



Fuente: Elaboración propia, 2018

2.9.1 RECOLECCION DE LA MATERIA PRIMA

La palta de la variedad Hass Persea Americana Miller, fue adquirida en el Mercado Campesino de la Ciudad de Tarija, proveniente de Yacuiba ubicada en la provincia Gran Chaco con grado de madurez B.

2.9.2 SELECCIÓN Y CLASIFICACIÓN

Para obtener un producto de mejor calidad se procedió a seleccionar, el estado de madurez de la palta más apta para el proceso de DO, se utilizó palta variedad Hass, con diferentes grados de madurez (verde, pintón y maduro), proveniente de Yacuiba provincia Gran Chaco. La selección se hizo con base en color y textura. El primero por ser el aspecto que se quiere conservar en este estudio y el segundo por ser fundamental para el desempeño en el proceso de deshidratación osmótica. En la fotografía 2-10, se observa la palta con grado de madurez B.

Fotografía 2-10: Palta con grado de madurez B



Fuente: Elaboración Propia, 2018

2.9.3 LIMPIEZA O LAVADO

En esta etapa se lava la cáscara de palta con agua potable y luego con agua destilada de forma manual para eliminar las impurezas presentes de la misma, tales como, polvo, raíces, hojuelas, etc. Todos estos elementos extraños deben ser separados

porque pueden originar variaciones en el proceso de obtención. En la fotografía 2-11, se observa la palta lavada y secada lista para iniciar el proceso de cortado.

Fotografía 2-11: Lavado de la cáscara de palta



Fuente: Elaboración propia, 2018

2.9.4 PELADO Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Se trabajó con paltas, que se pelaron y cortaron manualmente con cuchillo de acero inoxidable en rebanadas de 3 mm de espesor. Estos tamaños se utilizaron porque resisten a la agitación que se hace y el espesor es el adecuado para extraer el agua que contiene. En la fotografía 2-12, se muestra la palta cortada por la mitad para el sacado de la pepa.

Fotografía 2-12: Pelado



Fuente: Elaboración Propia, 2018

2.9.5 CORTADO

Una vez pelada la palta se corta en dos mitades, para luego ser cortada en rebanadas midiendo la misma con una regla con la finalidad de obtener los tamaños requeridos para el proceso.

Las dimensiones de las rebanadas de palta son: 3 cm de largo y 3 mm de espesor.

A continuación en la figura 2-13, se puede observar el procedimiento de cortado.

La palta se corta en mitad, de la que se eliminará la parte superior e inferior de la palta, para posteriormente realizar cortes de 3 o 4 mm de espesor aproximadamente de manera de obtener rebanadas de las mismas dimensiones.

Fotografía 2-13: Cortado de la pulpa de palta en rebanadas



Fuente: Elaboración propia, 2018

2.9.6 PESADO DE LAS MUESTRAS DE PALTA Y DE LOS SOLUTOS PARA PREPARAR LA SOLUCIONES

Para el proceso de pesado se utilizó una balanza analítica como se observa en la fotografía 2-14, marca Gibertini, modelo EV500 con precisión de 5 miligramos y máxima pesada, 450 gramos para pesar las paltas y los solutos para preparar las distintas soluciones acuosas.

Fotografía 2-14: Pesado de palta entera en balanza analítica



Fuente: Elaboración propia, 2018

2.9.7 PESADO DE LA MUESTRA

Para cada experimento, se procede a pesar 40 gramos de muestra (pulpa de palta fresca cortada) en una balanza analítica, para calcular posteriormente el contenido de humedad y rendimiento del proceso de obtención: el procedimiento se puede observar en la fotografía 2-15.

Fotografía 2-15: Pesado de la palta cortada en rebanadas



Fuente: Elaboración propia, 2018

2.9.8 ESCALDADO O INACTIVACIÓN DE ENZIMAS

Para la inactivación de enzimas se sumergen las rebanadas de palta en agua a una temperatura de 60 °C, durante 1,5-2 minutos aproximadamente; operación que se realiza colocando las rebanadas de palta en un recipiente cerrado de acero inoxidable previsto de un tamiz. El escaldado es una operación, que se realiza con la finalidad de inhibir o inactivar reacciones de carácter enzimático, favorecer la salida del agua, eliminar el aire y los gases ocluidos en los espacios intercelulares de las rebanadas de palta; además, con el escaldado, reduce parcialmente el contenido de microorganismos que pueden tomar parte en procesos de deterioro del producto (CYTED-D, 1993). La forma en que se procede el escaldado se observa en la fotografía 2-16.

Fotografía 2-16: Escaldado de las rebanadas (palta)



Fuente: Elaboración propia, 2018

2.9.9 PREPARACIÓN DEL JARABE O AGENTE OSMÓTICO

Se utilizó azúcar impalpable comercial, glucosa, cloruro de calcio y agua potable para la preparación del jarabe a diferentes concentraciones:

60°Brix:

Para 800 ml de solución: (290 g azúcar y 290 g glucosa)/400 g agua

8 g de cloruro de calcio

70°Brix:

Para 800 ml de solución: (330 g azúcar y 330g glucosa)/300 g agua

8 g de cloruro de calcio

Para la deshidratación osmótica, se utilizó solución de sacarosa, glucosa, cloruro de calcio y agua potable, a una concentración de 60 y 70°Brix, las cuales fueron preparadas de la siguiente forma. Una vez calculada la cantidad de sacarosa y glucosa requerida, con la ayuda de un agitador (cuchara de acero inoxidable), se fue adicionando poco a poco el polvo de los solutos para evitar la formación de grumos. Una vez obtenida la solución deseada, se colocó dentro de un baño maría a 70°C por un periodo de 1 hora para eliminar las burbujas y así obtener una solución transparente. Este procedimiento se puede observar en las fotografías 2-17, 2-18, 2-19 y 2-20.

Fotografía 2-17: Medición del volumen correcto de agua para preparar el agente osmótico



Fuente: Elaboración propia, 2018

Fotografía 2-18: Preparación del agente osmótico



Fuente: Elaboración propia, 2018

Fotografía 2-19: Concentración del agente osmótico



Fuente: Elaboración propia, 2018

Fotografía 2-20: Reposo del agente osmótico por una hora



Fuente: Elaboración propia, 2018

2.9.10 DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA CON AGITACIÓN (INMERSIÓN EN EL JARABE)

La deshidratación osmótica es el fenómeno mediante el cual el agente osmótico debido a su mayor diferencia de concentración con respecto al interior de la palta produce la salida de agua y al mismo tiempo un ingreso de solutos. Esta debe ir acompañada de agitación para producir un aumento de velocidad de deshidratación y evitar que se adhiera mayor cantidad de soluto en el producto. La palta cortada en rebanadas se coloca en un vaso de precipitado, luego se somete a calentamiento en un calentador-agitador magnético hasta alcanzar la temperatura de proceso: 40-50°C, que debe mantenerse constante durante el tiempo de deshidratación osmótica: de 2:30 y 3:30 horas de obtención a diferentes concentraciones: 60°Brix y 70°Brix.

La mezcla se agita constantemente para agilizar la deshidratación y evitar que los sólidos queden adheridos al producto.

La medición de las variables en °Brix del agente osmótico se midió cada media hora durante el proceso, el peso de las rebanadas de palta y porcentaje de humedad se realizó inicialmente y al finalizar el proceso de deshidratación.

2.9.11 CONDICIONES DE OPERACIÓN

Las condiciones de operación finales obtenidas en las experiencias de deshidratación osmótica en solución acuosa de sacarosa y glucosa fueron:

Relación de sacarosa: 35 %	$m_{\text{Sacarosa}}/V_{\text{Solución}}$	} 70% $m_{\text{S-G}}/V_{\text{Solución}}$
Relación de glucosa: 35 %	$m_{\text{Glucosa}}/V_{\text{Solución}}$	

Relación de cloruro de calcio: 1% $m_{\text{Cl}_2\text{Ca}}/V_{\text{Solución}}$

Temperatura: 40 °C

Relación masa de solución a masa de palta: 25

Nivel de agitación: 350-700 rpm

A continuación, en las fotografías 2-21, 2-22 y 2-23, se puede observar parte de este proceso.

Fotografía 2-21: Desarrollo de la deshidratación osmótica



Fuente: Elaboración propia, 2018

En las fotografías 2-22 y 2-23 se pueden apreciar las rebanadas de pulpa de palta agitándose en el agitador orbital y en la Fotografía 2-23 las rebanadas de pulpa de palta luego del tratamiento de deshidratación osmótica.

Fotografía 2-22: Agitador magnético y el sistema: palta-solución en su Interior



Fuente: Elaboración propia, 2018

Fotografía 2-23: Palta deshidratada



Fuente: Elaboración propia, 2018

2.9.12 LAVADO

Una vez terminado el proceso de deshidratación osmótica, se sacan las rebanadas del agente osmótico, se procede al proceso de lavado de las rebanadas osmodeshidratadas con agua destilada a chorro, una por una para evitar el exceso de soluto adherido en las rebanadas.

2.9.13 PESADO DE LAS REBANADAS OSMODESHIDRATADAS

El proceso de pesado se realizó en una balanza analítica como se muestra en la fotografía 2-24.

Fotografía 2-24: Pesado de las rebanadas osmodeshidratadas



Fuente: Elaboración propia, 2018

Fotografía 2-25: Medición de °Brix del agente osmótico



Fuente: Elaboración propia, 2018

2.9.14 SECADO EN UN SECADOR A VACÍO

Debido a que la fruta deshidratada osmóticamente aún contiene niveles de humedad de un 20 % a 30 %, se pueden aplicar procesos de secado complementarios que permiten extender la vida útil del producto por un tiempo mayor (Parzanese,M.). Entre estos procesos se destaca el secado a vacío el cual fue aplicado en el trabajo de investigación. Después de pesar las rebanadas osmodeshidratadas con humedad de 23,37 % aproximadamente se secan en el secador a vacío, a 40 °C de temperatura. Por encima de esta no es muy aconsejable ya que son propensas a generar malos olores y sabores, durante un periodo de 5 horas, hasta obtener una humedad menor del 10%, según (Norma Boliviana NB 313023:2012, que deben tener los productos deshidratados) (INORCA, 2015).

Una vez que se obtuvo la humedad correspondiente, se saca las rebanadas del equipo, se las enfría a temperatura ambiente y se las envasa para su posterior almacenamiento. En la fotografía 2-26, se muestra el secador a vacío y en la fotografía 2-27, se observa las rebanadas ya secas.

Fotografía 2-26: Secador a vacío



Fuente: Elaboración propia, 2018

Fotografía 2-27: Rebanadas deshidratadas y secado a vacío



Fuente: Elaboración propia, 2018

2.9.15 DETERMINACIÓN DE HUMEDAD DE LAS REBANADAS DESHIDRATADAS DE PULPA DE PALTA

El contenido de humedad se determinó en la balanza de humedad utilizada para la determinación de humedad de la materia prima y producto final. Durante la operación de desecación, el equipo determina continuamente el peso de la muestra y presenta el resultado cuando la desecación termina; el resultado se muestra como porcentaje de contenido de humedad en la pantalla de la balanza de humedad. Antes de realizarse este proceso una vez obtenidas las rebanadas deshidratadas osmoticamente se lavaron, se secaron con papel absorbente, pesaron y se pesó una muestra de 5 g en la balanza de humedad para determinar el contenido de humedad en el secador infrarrojo o balanza de humedad a 105°C.

Una vez que se obtuvieron los pesos correspondientes a cada tiempo de secado y la humedad, se realizaron los cálculos necesarios, para determinar, pérdida de peso, humedad base húmeda, pérdida de agua, ganancia de sólidos.

Caracterización del producto (rebanadas osmódeshidratadas)

Las pruebas de caracterización que se hace del producto obtenido se citan a continuación:

- Cálculo de la pérdida de peso.
- Cálculo de la pérdida de agua.
- Ganancia de sólidos.
- Cálculo de la Humedad en porcentaje de palta deshidratada osmóticamente y luego después de secada en el secador a vacío.
- Evaluación organoléptica del producto (rebanadas de palta deshidratadas por el método osmótico después de una semana).

En la fotografía 2-28, se muestra el secador infrarrojo en el cual se secan las muestras para cada experimento.

Fotografía 2-28: Secador infrarrojo



Fuente: Elaboración propia, 2018

Para construir la curva de secado de las rebanadas deshidratadas osmóticamente se toma una muestra de 5 gramos; se somete la muestra al secador infrarrojo o balanza

de humedad y se registra el porcentaje de humedad en intervalos de 2 minutos hasta el secado final de la muestra. En la tabla II-7 se detalla los datos en porcentaje de humedad de las rebanadas osmodeshidratadas en el proceso de secado, y en la figura 2-2 se muestra la curva de secado de las rebanadas osmodeshidratadas.

Tabla II-7:

Datos de la pérdida de agua de las rebanadas osmodeshidratadas en función del tiempo de secado

Tiempo (min.)	Humedad de las rebanadas (%)	Tiempo (min.)	Humedad de las rebanadas (%)
2	23,76	42	20,77
4	23,68	44	20,49
6	23,63	46	20,17
8	23,58	48	19,83
10	23,48	50	19,45
12	23,38	52	19,05
14	23,26	54	18,59
16	23,16	56	18,1
18	23,02	58	17,53
20	22,9	60	16,23
22	22,76	62	16,92
24	22,62	64	15,43
26	22,46	66	14,54
28	22,28	68	13,37
30	22,14	70	12,4
32	21,92	72	11,07
34	21,72	74	9,41
36	21,52	76	7,43

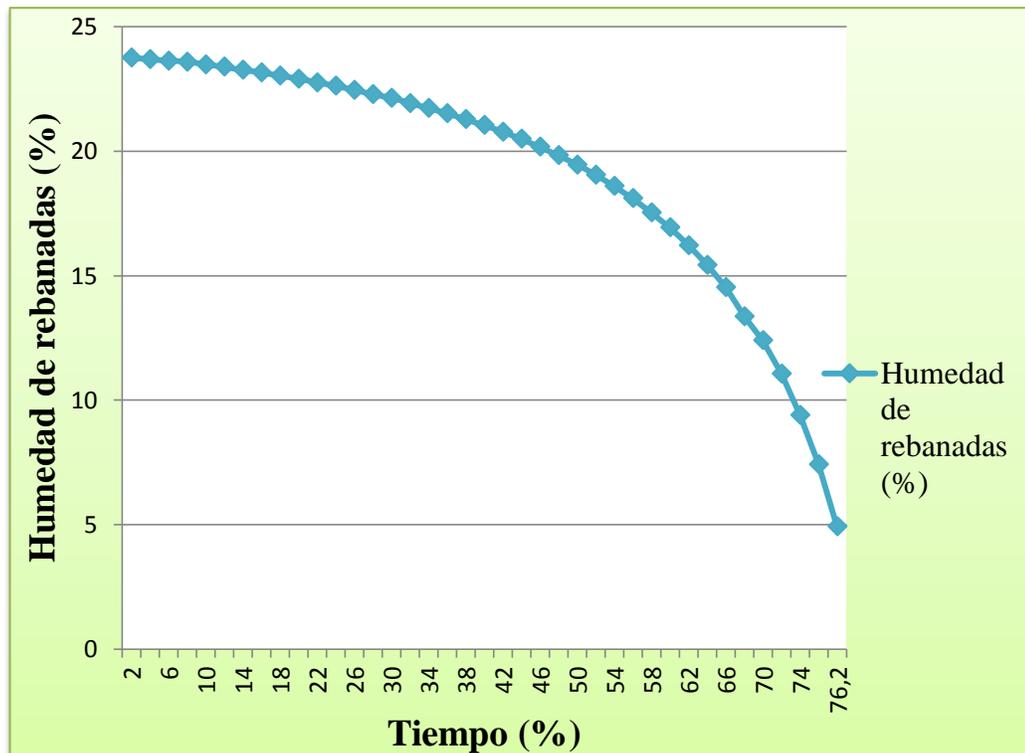
Fuente: Elaboración propia, 2018

Continuación de la tabla II-7.

38	21,28	76,2	4,92
40	21,04		

Fuente: Elaboración propia, 2018

Figura 2-2: Curva de secado de las rebanadas osmodeshidratadas (40°C)



Fuente: Elaboración propia, 2018

2.9.16 ENVASADO Y PRESENTACIÓN

Las rebanadas deshidratadas se las pesa en una balanza analítica, se envasa en bolsas de polietileno de alta densidad (aptas para envasar productos alimenticios) y se almacena en un lugar seco y fresco, para su posterior comercialización. Las rebanadas deshidratadas obtenidas experimentalmente fueron envasadas, como se puede observar en la fotografía 2-29.

Fotografía 2-29: Envasado de las rebanadas osmodeshidratadas



Fuente: Elaboración propia, 2018

2.9.17 ALMACENAMIENTO DEL PRODUCTO FINAL

Las rebanadas osmodeshidratadas de palta obtenidas experimentalmente, fueron envasadas, como se puede observar en la fotografía 2-30, en bolsas plásticas de polietileno selladas a vacío; para evitar la variación del contenido de humedad y descomposición del producto almacenar en un lugar seco y fresco.

Fotografía 2-30: Producto final rebanadas osmodeshidratadas de palta



Fuente: Elaboración propia, 2018

2.9.18 METODOLOGÍA DE CÁLCULO

2.9.18.1 DETERMINACIÓN DE HUMEDAD DE LAS REBANADAS DE PULPA DE PALTA DESHIDRATADA OSMÓTICAMENTE

El contenido de humedad se determinó a través de la pérdida de peso por deshidratación osmótica. Durante 3:30 horas se los ha deshidratado a una temperatura de 40°C y luego se procede al proceso de secado durante 5 horas a 40 °C de temperatura.

2.9.18.1.1 MEDICIÓN DE LA TRANSFERENCIA DE MASA

La evolución de la transferencia de masa con el tiempo se midió a través de la pérdida de peso (PP); el contenido de sólidos totales (ST); la pérdida de agua (PA); la ganancia de sólidos (GS) y la concentración de los sólidos solubles en la solución (SS).

Las ecuaciones se detallan a continuación:

2.9.18.1.2 PÉRDIDA DE PESO (PP)

$$PP (\%) = \left(\frac{m_o - m_f}{m_o} \right) \times 100 \quad \text{ecuación (2-1)}$$

m_o = masa inicial de muestra de pulpa de palta fresca.

m_f = masa de muestra deshidratada osmóticamente a tiempo t

Datos:

$$M_o = 40\text{g}$$

$$M_f = 21,87 \text{ g}$$

$$T_{do} = 3:30 \text{ horas} \quad \text{y} \quad T_{sv} = 5 \text{ horas}$$

Reemplazando datos en la ecuación (2-1)

$$PP (\%) = \left(\frac{40 - 21,87}{40} \right) \times 100$$

$$PP (\%) = 45,33 \% \text{ de pérdida de peso de la muestra de palta}$$

2.9.18.1.3 CONTENIDO DE SÓLIDOS TOTALES (ST)

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

m_s = masa de muestra seca para determinado tiempo, t

Datos:

$$M_o = 40\text{g}$$

$$M_s = 21,87 \text{ g}$$

T_{do} = 3:30 horas de deshidratación osmótica y T_{sv} = 5 horas secado a vacío

Reemplazando datos en la ecuación (2-2).

$$ST (\%) = \left(\frac{21,87}{40\text{g}}\right) \times 100$$

$$ST (\%) = 54,68\% \text{ sólidos totales}$$

2.9.18.1.4 PORCENTAJE DE HUMEDAD BASE HÚMEDA

$$H (\%) = 100 - ST (\%) \quad \text{ecuación (2-3)}$$

$H (\%)$ = porcentaje de humedad para determinado tiempo, t

Datos:

$$ST (\%) = 54,68\%$$

T_{do} = 3:30 horas de deshidratación osmótica y T_{sv} = 5 horas secado a vacío

Reemplazando datos en la ecuación (2-3)

$$H (\%) = 100 - 54,68\%$$

$H (\%) = 45,32\%$ porcentaje de humedad base húmeda en las rebanadas de palta

2.9.18.1.5 PÉRDIDA DE AGUA (PA)

$$PA (\%) = \left[\left(1 - \frac{ST_o}{100}\right) - \left(1 - \frac{ST}{100}\right) \left(1 - \frac{PP}{100}\right) \right] \times 100 \quad \text{ecuación (2-4)}$$

ST_o = contenido de sólidos totales iniciales

ST = contenido de sólidos totales para determinado tiempo, t

Datos:

$$ST^{\circ} = 4,98$$

$$ST = 54,68\%$$

$$PP (\%) = 45,33$$

$$T_{do} = 3:30 \text{ horas y } T_{sv} = 5 \text{ horas}$$

Reemplazando datos en la ecuación (II-4)

$$PA (\%) = \left[\left(1 - \frac{4,98}{100} \right) - \left(1 - \frac{54,68}{100} \right) \left(1 - \frac{45,32}{100} \right) \right] \times 100$$

$$PA (\%) = 70,23 \text{ \% pérdida de agua en las rebanadas}$$

2.9.18.1.6 GANANCIAS DE SÓLIDOS

$$GS (\%) = \left[\left(1 - \frac{PP}{100} \right) \frac{ST}{100} - \frac{STO}{100} \right] \times 100 \quad \text{ecuación (2-5)}$$

Datos:

$$ST^{\circ} = 4,98$$

$$ST = 54,68\%$$

$$PP (\%) = 45,33$$

$$T_{do} = 3:30 \text{ horas y } T_{sv} = 5 \text{ horas}$$

Reemplazando datos en la ecuación (4.2)

$$GS (\%) = \left[\left(1 - \frac{45,33}{100} \right) \frac{54,68}{100} - \frac{4,98}{100} \right] \times 100 \quad (2-5)$$

$$GS (\%) = 27,17 \text{ \%}$$

La determinación de sólidos solubles en la solución deshidratante se lleva a cabo evaporando la solución. La masa inicial empleada fue de 40gr. La fórmula para su cálculo es:

$$SS = \frac{m_{ss}}{m_{is}} \quad \text{ecuación (2-6)}$$

$$SS = 68,7 / 962,48 = 0,07137$$

Donde

mss= masa de sólidos solubles obtenida luego de la evaporación del agua de la solución

mis = masa inicial de solución empleada.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 ANÁLISIS DE LA MATERIA PRIMA Y PRODUCTO FINAL

Los análisis fisicoquímicos de la materia prima (pulpa de palta) y producto final (rebanadas osmodeshidratadas) son determinados por el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID) de la U. A. J. M. S. En la tabla III-1 se muestran los resultados: (Ver Anexo 1)

3.1.1 ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE LA MATERIA PRIMA

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

A continuación se detallan los tipos de análisis realizados:

Laboratorio del Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID)

En este laboratorio se realizaron los análisis de la materia prima; palta de la variedad Hass. ANEXO I

Determinación de nutrientes presente en la palta y producto final (rebanadas osmodeshidratadas) de la variedad Hass

- Determinación del valor energético en kilocalorías en la pulpa de palta y en las rebanadas osmodeshidratadas.
- Determinación porcentual de proteínas presentes en la pulpa de palta y en las rebanadas osmodeshidratadas.
- Determinación porcentual de hidratos de carbono en la pulpa de palta y en las rebanadas osmodeshidratadas.
- Determinación de lípidos o grasas totales en la pulpa de palta y en las rebanadas osmodeshidratadas.
- Determinación porcentual de fibra en la pulpa de palta y en las rebanadas osmodeshidratadas.

- Determinación porcentual de humedad en la pulpa de palta y en las rebanadas osmodeshidratadas.
- Determinación porcentual de cenizas en la pulpa de palta y en las rebanadas osmodeshidratadas de palta variedad hass

Laboratorio de Operaciones Unitarias

En este laboratorio se realizaron los análisis de materia prima y producto

- Determinación porcentual de humedad.
- Determinación porcentual de sólidos solubles o no grasos.

3.1.1.1 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE LA MATERIA PRIMA

La tabla III-1, muestra los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico (Anexo A.1.1.) de la pulpa de palta (*Variedad Hass*) como materia prima para obtener rebanadas osmodeshidratadas de pulpa de palta, y la composición que se encuentra como referencia bibliográfica.

Tabla III-1:
Análisis fisicoquímico de la materia prima pulpa de palta (*Variedad Hass*)

Parámetro	Técnica y / o Método de ensayo	Unidad	Resultado	Pulpa de palta (Dato Bibliografía)
Valor energético	Cálculo	Kcal/100 g	128,42	161
Proteína total (Nx6,25)	NB/ISO 8968-1:08	%	1,46	1,98
Hidratos de Carbono	NB 313010:05	%	8,55	7,39
Grasa	NB 313019:06	%	9,82	15,32
Humedad	Cálculo	%	78,97	74,27
Sólidos solubles		° Brix	-	-
Fibra	Gravimétrico	%	9,90	5
Ceniza	NB 39034:10	%	1,20	-

Fuente: Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (C.E.A.N.I.D.) 2016; Cornejo. 2010.

En la tabla III-1, se aprecia que el contenido de humedad, hidratos de carbono y fibra de la palta que se utilizó en el trabajo de investigación de obtención de rebanadas osmodeshidratadas, es mayor de los límites que señala (Cornejo, V. 2010); el contenido de proteína se encuentra dentro de los límites que señala (Cornejo, V. 2010); el contenido de materia grasa, valor energético y proteína total es menor a los datos que señala (Cornejo, V. 2010). De acuerdo a la humedad total contenida analizada en la pulpa de palta se señala que en nuestro país se produce palta con alto porcentaje de humedad en comparación con lo que indica en bibliografía, respecto a lo cual también se obtendrá un producto con mayor contenido de humedad rebanadas osmodeshidratadas (Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (C.E.A.N.I.D.) 2016). Pero según los datos que se obtuvo de humedad para cada uno de los ensayos en el L.O.U. (Laboratorio de Operaciones Unitarias), la humedad varía entre 55 y 61,7 %.

3.2 ENSAYOS PRELIMINARES DE OBTENCIÓN DE REBANADAS DESHIDRATADAS DE PULPA DE PALTA (*Persea americana* Miller)

De acuerdo al diseño factorial, se realizan 16 ensayos de obtención de rebanadas deshidratadas de palta con los parámetros propuestos, correspondiente a dos réplicas.

Se obtiene rebanadas deshidratadas de pulpa de palta a concentraciones de 60 y 70 °Brix, a temperaturas de 40 y 50 °C y a tiempos de 2:30 y 3:30 horas. A las muestras obtenidas se las calcula porcentaje de humedad y rendimiento, con los resultados se determinan los parámetros óptimos para el proceso.

3.3 DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN, TEMPERATURA Y TIEMPO DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE REBANADAS DESHIDRATADAS DE PULPA DE PALTA

La combinación de la concentración, temperatura y tiempo del proceso de deshidratación osmótica, se realizó con el objetivo de extraer mayor porcentaje de humedad (deshidratación) que tienen las rebanadas de cada combinación y cómo influye en las propiedades organolépticas del producto. Este proceso consiste en ajustar los valores mínimos y máximos entre (60, 40,2:30), con valores máximos (70,

50, 3:30) variables del proceso de obtención y los cuales son detallados a continuación.

Concentración agente osmótico 60°Brix:

T= Temperatura proceso 40°C t= tiempo proceso 2:30 horas

T= Temperatura proceso 50°C t= tiempo proceso 2:30 horas

T= Temperatura proceso 40°C t= tiempo proceso 3:30 horas

T= Temperatura proceso 50°C t= tiempo proceso 3:30 horas

Concentración agente osmótico 70°Brix:

T= Temperatura proceso 40°C t= tiempo proceso 2:30 horas

T= Temperatura proceso 50°C t= tiempo proceso 2:30 horas

T= Temperatura proceso 40°C t= tiempo proceso 3:30 horas

T= Temperatura proceso 50°C t= tiempo proceso 3:30 horas

De la misma forma, se realizó una comparación del aspecto (variaciones de coloración, observación a simple vista de ataque por hongos, etc.) para las dos diferentes concentraciones de obtención en función de la temperatura y tiempo del proceso de obtención y de esta manera comparar el aspecto de las rebanadas de palta deshidratada osmóticamente a distintas concentraciones de sacarosa-glucosa luego de transcurrida una semana en condiciones ambientales.

3.3.1 DISEÑO EXPERIMENTAL EN EL PROCESO DE OBTENCIÓN DE REBANADAS DESHIDRATADAS DE PULPA DE PALTA (Variedad hass)

El diseño experimental, se realizó con el propósito de establecer los factores que tienen mayor influencia en el proceso de obtención de rebanadas osmodeshidratadas de pulpa de palta; tomando en cuenta las variables de concentración de la solución (60 y 70) °Brix, temperatura de proceso (40 y 50) °C y tiempo que dura el proceso de deshidratación osmótica (2:30 y 3:30) horas.

3.3.2 INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS SOBRE EL RENDIMIENTO Y HUMEDAD

A continuación se muestra la influencia de los parámetros (concentración, temperatura y tiempo), sobre el proceso de obtención de rebanadas deshidratadas de palta.

La tabla III-2, muestra los resultado experimentales obtenidos en el proceso de obtención de las rebanadas de palta a partir de 40 g de pulpa de palta, donde se observa la influencia de los parámetros concentración, temperatura y tiempo sobre la humedad de las rebanas deshidratadas.

Tabla III-2:

Datos experimentales de pérdida de peso y % humedad de las rebanadas deshidratadas de palta para un diseño experimental 2³

N° de Prueba	Concentración (°Brix)	Temp. (°C)	Tiempo (h)	Peso (g)	Humedad (%)
1	60	40	2:30	20.200	23.71
2	70	40	2:30	22.900	25.53
3	60	50	2:30	24.106	25.67
4	70	50	2:30	21.31	26.92
5	60	40	3:30	20.125	24.46
6	70	40	3:30	20.650	24.76
7	60	50	3:30	20.501	25.66
8	70	50	3:30	22.77	26.46
9	60	40	2:30	21.83	23.57
10	70	40	2:30	20.798	22.91
11	60	50	2:30	22.736	23.62
12	70	50	2:30	20.809	22.41
13	60	40	3:30	24.943	23.08
14	70	40	3:30	23.094	21.97
15	60	50	3:30	20.449	22.56
16	70	50	3:30	24.449	21.52

Fuente: Elaboración propia, 2018

En la tabla III-3, se detalla claramente a mayor concentración (70°Brix) se obtiene un producto con menor porcentaje de humedad que es del (21,97%) cantidad en las rebanadas de palta; a menor temperatura de trabajo se obtiene un producto con mejores propiedades sensoriales (olor, sabor y color).

3.3.2.1 HUMEDAD

Las obtenciones de rebanadas osmodeshidratadas en forma experimental se realizan con una muestra de 40 gramos de pulpa de palta previamente tratada. La humedad inicial de pulpa de palta es 61,7%.

La tabla III-3, muestra los resultados del porcentaje de humedad de las rebanadas deshidratadas de pulpa de palta extraídas.

Tabla III-3:
Porcentaje de humedad Rep. I, Rep. II y promedio de las dos repeticiones de las rebanadas deshidratadas osmóticamente de palta (variedad *Persea Americana Hass*) obtenida en forma experimental para el diseño experimental 2³

Nº DE EXPERIMENTO	FACTORES			RESPUES TA I	RESPUES TA II	Promedio
	Concentración agente osmótico (°Brix)	Temperatura (°C)	Tiempo de obtención (hr)	Y %	Y%	%
1	60	40	2:30	23,71	23,57	23,64
2	70	40	2:30	25,53	22,91	24,22
3	60	50	2:30	25,67	23,62	24,65
4	70	50	2:30	26,92	22,41	24,67
5	60	40	3:30	24,46	23,08	23,77
6	70	40	3:30	24,76	21,97	23,37
7	60	50	3:30	25,66	22,56	24,11
8	70	50	3:30	26,46	21,52	23,99

Fuente: Elaboración propia, 2018

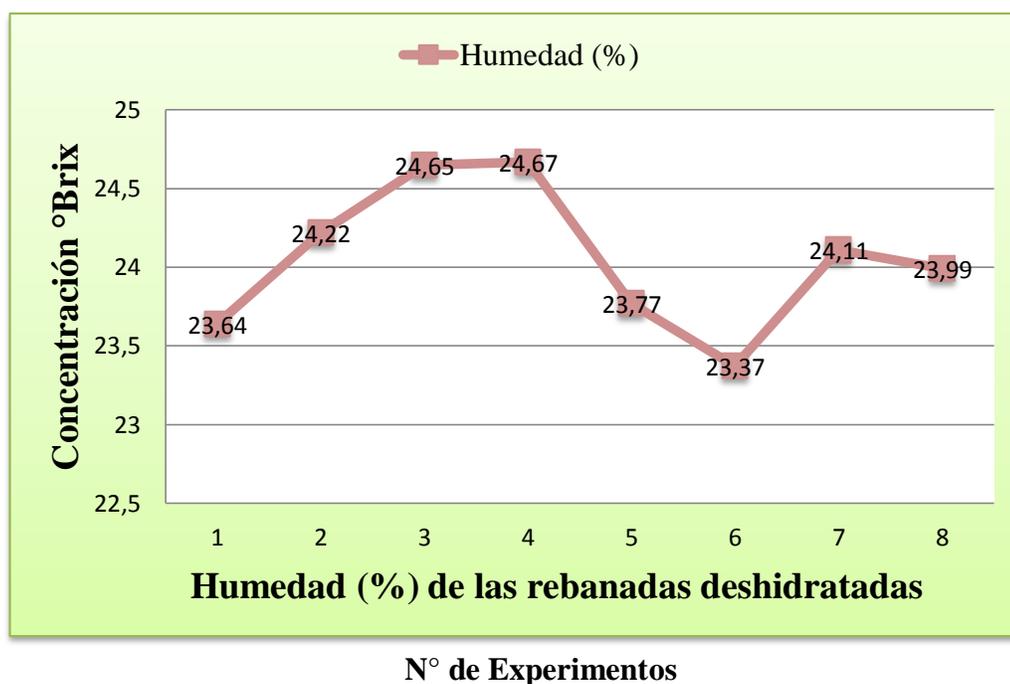
De acuerdo a los resultados obtenidos, las rebanadas deshidratadas obtenidas aplicando los parámetros del experimento 6: concentración de 70 °Brix; tiempo 3:30 horas y temperatura 40°C presenta menor porcentaje: 23,37 % en comparación al resto de los experimentos.

Las rebanadas deshidratadas de palta obtenidas aplicando los parámetros del experimento 1 logran un porcentaje de 23.64%, que es el segundo más bajo; sin embargo, se necesita una mayor concentración y tiempo, que implica un mayor gasto de glucosa-sacarosa y mayor tiempo de deshidratación.

El experimento que reporta el mayor porcentaje de humedad es el 4, el cual tiene 24,67% de humedad.

Por otra parte, se demostró que a la concentración de 70°Brix el porcentaje de humedad es menor, a la concentración de 60°Brix; la humedad varía para cada uno de los ocho experimentos, tal como se puede apreciar en la siguiente figura:

Figura 3-1: Efecto de la concentración de obtención sobre el porcentaje de humedad de las rebanadas deshidratadas de palta



Fuente: Elaboración propia, 2018

Destacando que el porcentaje de humedad disminuye a medida que se sube la concentración del agente deshidratante, obteniéndose un producto con menor porcentaje de humedad con 70°Brix frente a la concentración de 60 °Brix, considerándose que se trabajó a la misma temperatura y al mismo tiempo; sin embargo, el porcentaje de humedad a 70 °Brix de obtención es inferior a la obtención con 60°Brix. Esto se debe a concentraciones menores y largo proceso de deshidratación; los sólidos se quedan adheridos en la superficie del producto impidiendo la salida del agua hacia la solución.

3.3.2.2 RENDIMIENTO

Tomando una muestra de 40 gramos de pulpa de palta previamente tratada se obtiene la cantidad de palta deshidratada en gramos para todas las muestras, obteniéndose los siguientes resultados en gramos. Los resultados obtenidos en forma experimental se aprecian en la tabla III-4.

Tabla III-4:

Rendimiento de obtención de rebanadas deshidratadas de palta

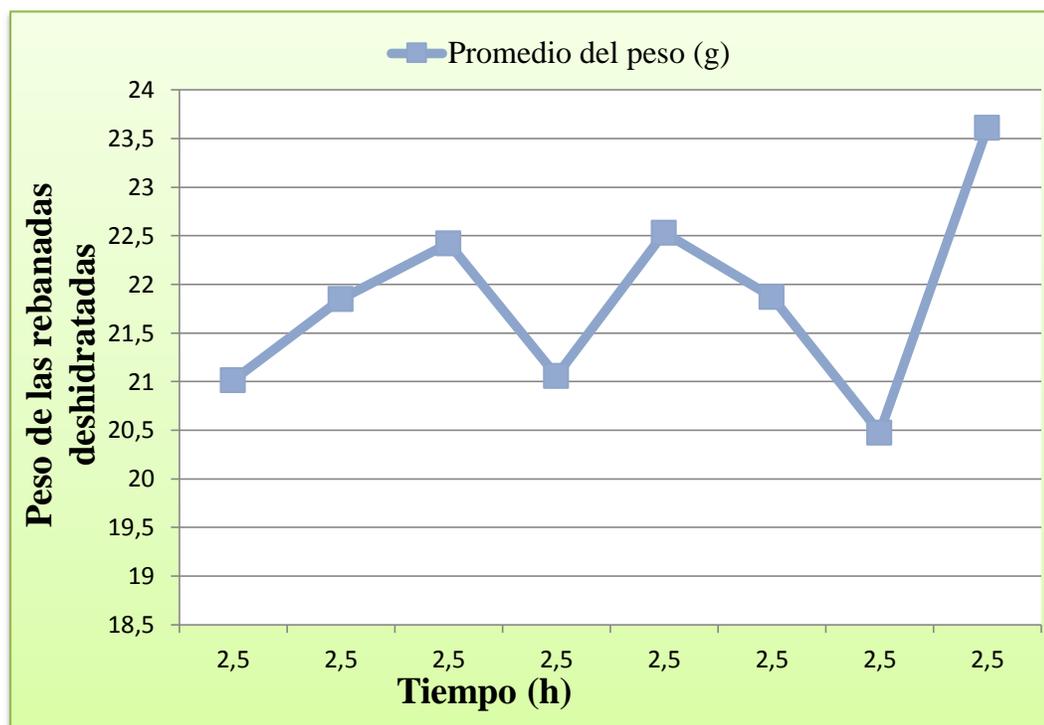
N° Experimento	Parámetros de obtención			g de rebanadas deshidratadas		Promedio
	Concentración (°Brix)	Temperatura (°C)	Tiempo de obtención (hr)	RESPUESTA I	RESPUESTA II	
1	60	40	2:30..	20,200	21,83	21,015
2	70	40	2:30	22,900	20,798	21,849
3	60	50	2:30	24,106	22,736	23,421
4	70	50	2:30	21,31	20,809	21,060
5	60	40	3:30	20,125	24,943	22,534
6	70	40	3:30	20,650	23,094	21,872
7	60	50	3:30	20,501	20,449	20,475
8	70	50	3:30	22,77	24,449	23,609

Fuente: Elaboración propia, 2018

Las rebanadas deshidratadas obtenidas a una concentración de 70 °Brix; 50 °C y 3:30 horas es la que presenta mayor rendimiento en masa.

En la figura 3-2, se puede observar el efecto que causa la concentración sobre el rendimiento de obtención de rebanadas deshidratadas de palta.

Figura 3-2: Figura “Concentración vs Tiempo” con datos obtenidos para los 8 ensayos; variación del peso para distintas concentraciones del agente deshidratante



Fuente: Elaboración propia, 2018

3.4 OBTENCIÓN DE LAS REBANADAS DESHIDRATADAS

La tabla III-5, muestra la cantidad de humedad presente en las rebanadas osmodeshidratadas obtenidas en porcentaje basado en la cantidad de agua presente en los diferentes niveles.

Tabla III-5:**Rendimiento del proceso de obtención mediante la deshidratación osmótica**

FACTORES			EXP 1	EXP 2
Concentración (°Brix)	Temperatura (°C)	Tiempo (hr)	Y %	Y%
60	40	2:30	23.71	23.57
70	40	2:30	25.53	22.91
60	50	2:30	25.67	23.62
70	50	2:30	26.92	22.41
60	40	3:30	24.46	23.08
70	40	3:30	24.76	21.97
60	50	3:30	25.66	22.56
70	50	3:30	26.46	21.52

Fuente: Elaboración propia, 2018

El rendimiento calculado está en base a la humedad presente en el producto final (rebanadas osmodeshidratadas). La franja verde muestra las condiciones a la que se obtiene un producto con menos condiciones de ser consumible, mal olor, sabor, etc.

La franja azul muestra las condiciones a las que se ha obtenido un producto con mejor propiedades sensoriales.

3.5 CURVAS DE SECADO PARA UN EXPERIMENTO DE LA MATERIA PRIMA Y PRODUCTO FINAL EN DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

En la Tabla III-6, se muestra el contenido de humedad del producto obtenido (rebanadas deshidratadas palta); en las tablas III-7 y III-8 podemos apreciar la humedad de la palta (materia prima), además se observan los datos de un ensayo elegido para realizar los cálculos de pérdida de humedad en la experiencia de deshidratación osmótica, desde un valor inicial en la palta fresca de 61,7% (base

húmeda) hasta un valor final de 23,37 % (base húmeda), luego de 3:30 horas de deshidratación a 40 °C de temperatura.

Tabla III-6:

Humedad del producto obtenido (rebanadas deshidratadas palta)

Temperatura de secado (°C)	Peso de la muestra (g)	Tiempo de secado (min)	Humedad (%)
105	5	68	23.37

Fuente: Elaboración propia, 2018

Los datos mostrados en la tabla III-7 son determinados mediante el secador infrarrojo.

3.5.1 DATOS OBTENIDOS DE UN EXPERIMENTO

Tabla III-7:

Datos experimentales utilizados para realizar un experimento

Parámetro	Unidad	Cantidad
Concentración del agente osmótico	°Brix	70
Temperatura	°C	40
Tiempo	h	3:30
Masa agua	g	300
Masa sacarosa	g	330
Masa glucosa	g	330
Masa CaCl ₂	g	8
Masa agente osmótico	g	800
Peso muestra	g	40,1085
Masa Ac. Ascórbico	g	75
Volumen agua	ml	500
Tiempo	Min.	1
Temperatura	°C	70
RPM	rpm	700
Peso final de la muestra	g	23,37

Fuente: Elaboración propia, 2018

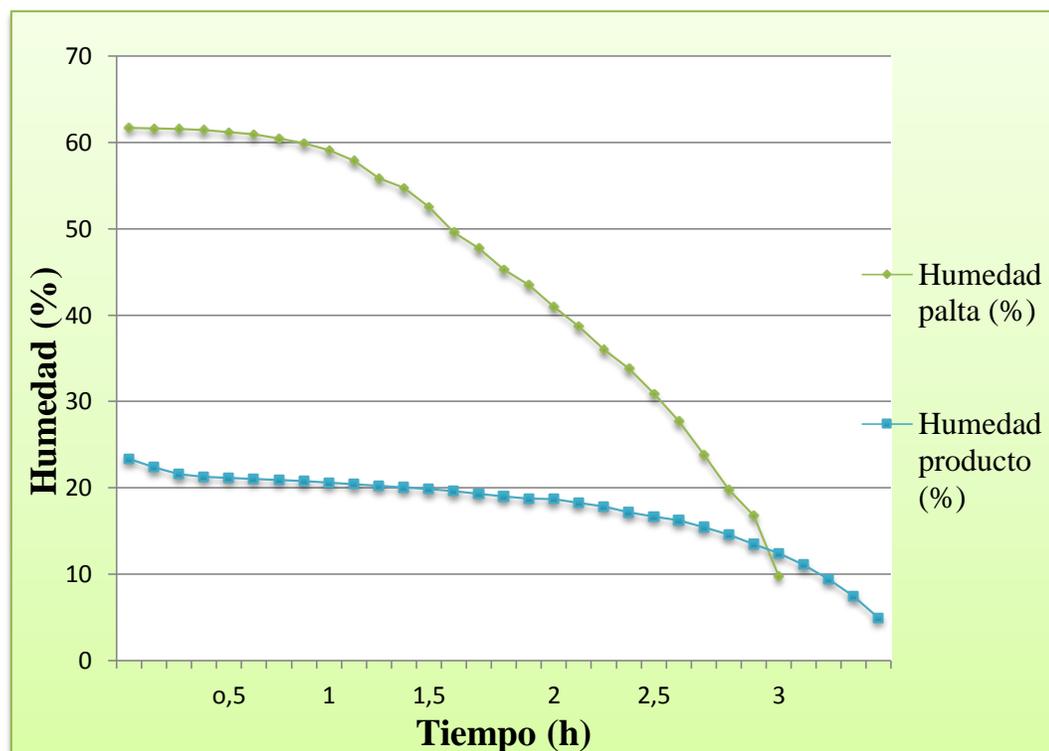
Tabla III-8:
Datos experimentales de porcentaje de humedad de la palta (materia prima) y producto final (rebanadas deshidratadas de palta) para un ensayo elegido

% Humedad materia prima (palta)		% Humedad del producto (rebanadas osmodeshidratadas)	
Tiempo (min.)	% Humedad	Tiempo (min.)	% Humedad
2	61,7	2	23,37
4	61,65	4	22,365
6	61,555	6	21,57
8	61,42	8	21,245
10	61,204	10	21,14
12	60,955	12	21,025
14	60,455	14	20,885
16	59,935	16	20,745
18	59,08	18	20,59
20	57,88	20	20,42
22	55,84	22	20,245
24	54,765	24	20,05
26	52,515	26	19,845
28	49,57	28	19,59
30	47,765	30	19,325
32	45,305	32	19,02
34	43,501	34	18,725
36	41,011	36	18,655
38	38,715	38	18,225
40	36,01	40	17,8
42	33,81	42	17,145
44	30,92	44	16,23
46	27,72	46	16,22
48	23,83	48	15,43
50	19,77	50	14,54
52	16,78	52	13,47
54,8	9,77	54	12,4
		56	11,07
		58	9,41
		60	7,43
		62	4,92

Fuente: Elaboración propia, 2018

En la Figura 3-3 se exhibe la humedad retenida por la pulpa de palta (materia prima) y de las rebanadas deshidratadas de palta (producto) durante la experiencia de deshidratación osmótica, desde un valor inicial en la palta fresca de 61,7 % (base húmeda) hasta un valor final de 23,37 % (base húmeda), luego de 3:30 horas de deshidratación, con una pérdida de humedad del 38,33 % respecto de su valor inicial. La mayor variación en la humedad se presenta durante las primeras dos horas, en concordancia con la tendencia mostrada por la pérdida de peso.

Figura 3-3: Humedad retenida por las rebanadas de palta durante la experiencia de deshidratación osmótica, desde un valor inicial en la palta fresca de 61,7 % hasta un valor final de 23,37 %, luego de 3:30 horas de deshidratación a 40 °C y de la materia prima (pulpa de palta)



Fuente: Elaboración propia, 2018

En la Figura 3-3 podemos observar la humedad de las rebanadas de palta en función del tiempo durante la deshidratación osmótica para una solución de concentración de sacarosa-glucosa del 70 % m/m y concentración de Cl_2Ca 1 % m/v, $R=25$, nivel de agitación 350-700 rpm, $T=40$ °C y rebanadas de 3mm de espesor.

En la tabla III-9, se puede ver datos experimentales obtenidos a diferentes concentraciones en el proceso de deshidratación.

Tabla III-9:
Datos de contenido de humedad de las rebanadas deshidratadas para distintas concentraciones de sacarosa-glucosa en la solución (70 % m/m y 60 % m/m)

Tiempo (minutos)	% Humedad a 70 °Brix y 3:30 horas	%Humedad a 60 °Brix a 3:30 horas
2	23,37	26,66
4	23,68	26,64
6	23,63	26,56
8	23,58	26,44
10	23,48	26,36
11	23,38	26,18
12	23,26	26,9
14	23,16	26
16	23,02	25,86
18	22,9	25,7
20	22,76	25,54
22	22,62	25,38
24	22,46	25,2
26	22,14	24,8
28	21,92	24,57
30	21,72	24,33
32	21,52	24,02
34	21,28	23,67
36	21,04	23,46
38	20,77	23,12
40	20,49	22,75
42	20,17	22,33
44	19,83	21,88
46	19,05	20,76
48	18,59	20,01
50	18,1	19,34
52	17,53	18,48
54	16,23	17,53
56	16,22	16,45

Fuente: Elaboración propia, 2018

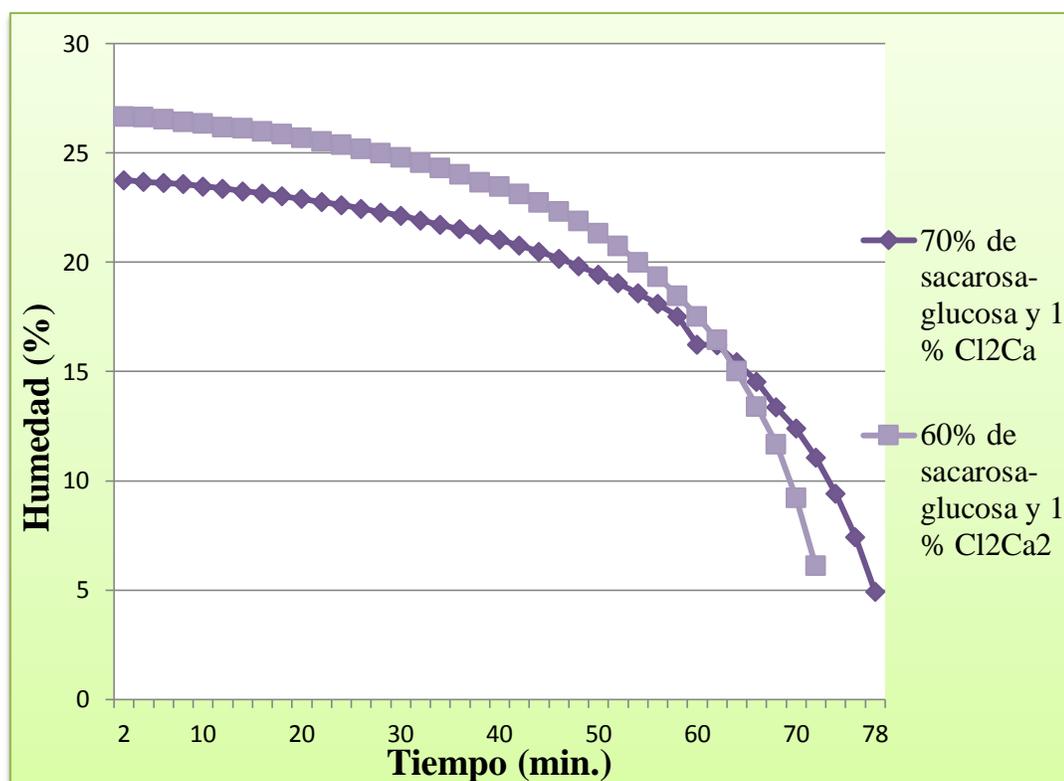
Continuación de la tabla III-9.

58	15,43	15,02
60	14,54	13,4
62	13,37	11,68
64	12,4	9,23
66	11,07	6,11
68	9,41	
70	7,43	
72	4,92	

Fuente: Elaboración propia, 2018

La humedad contenida en las rebanadas deshidratadas de palta es siempre mayor cuando se deshidrata en una solución osmótica de menor concentración en sacarosa-glucosa ya que se deshidrata menos. La pérdida de humedad alcanzada es de 35,04 respecto de su valor inicial cuando se trabaja con una solución osmótica de 60 % m/m de sacarosa-glucosa y 1 % m/v de cloruro de calcio. Este valor es apreciablemente menor si se compara con el obtenido al deshidratar el producto en una solución de 70 % m/m de sacarosa- glucosa y 1% m/v de cloruro de calcio que es de 38,42 %. Este fenómeno puede observarse en la Figura 3-4 en la que se presentan los datos experimentales de humedad de las rebanadas de palta en función del tiempo para distintas concentraciones de sacarosa en la solución (60 % m/m y 70 % m/m) y restantes variables similares a las condiciones de operación finales.

Figura 3-4: Humedad de las rebanadas de palta en función del tiempo para distintas concentraciones de sacarosa-glucosa en la solución (60% m/m y 70% m/m), concentración de Cl_2Ca 1% m/v, relación masa de solución a masa de palta de 25, temperatura de 40°C , nivel de agitación 350-700 rpm y rebanadas de 3mm de espesor



Fuente: Elaboración propia, 2018

Se llegó a la conclusión que cuando el propósito en la deshidratación osmótica de un producto es maximizar la pérdida de agua, y se quiere limitar la impregnación del mismo solo a las capas externas, es conveniente usar altas concentraciones de solución (del orden de 60-70 % m/m) y tiempos de deshidratación osmótica cortos (entre 2:30 y 3:30 h). Si lo que se desea es la impregnación del producto es más conveniente emplear una concentración relativamente baja y tiempos largos de deshidratación.

3.6 ANÁLISIS DE LA GANANCIA DE SÓLIDOS EN EL PRODUCTO DURANTE EL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

En las Figura 3-5 y 3-6, se puede apreciar la ganancia en el caso del producto y reducción en el agente osmótico de sólidos en función del tiempo para las distintas experiencias de deshidratación osmótica realizadas en soluciones de diferente concentración de sacarosa-glucosa (60 % m/m) y concentración de cloruro de calcio, 1%*m/v*.

En la tabla III-10, muestra la reducción de sólidos solubles para la concentración (60°Brix) del agente osmótico a las temperaturas de (40-50)°C y tiempos de 2:30 y 3:30 horas.

Tabla III-10:

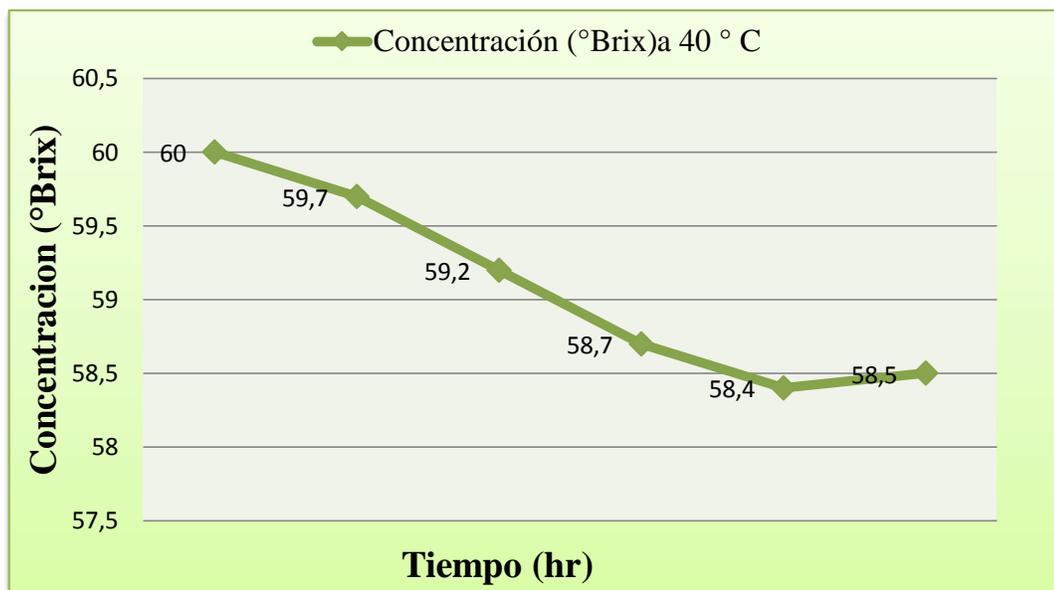
Reducción de sólidos soluble (60°Brix) del agente osmótico a las temperaturas de (40-50) °C y Tiempos de 2:30 y 3:30 horas y media

N° de Experimento	Concentración (°Brix)	Temperatura (°C)	Tiempo (h)	°Brix (cada media hora)							
1	60	40	2:30	60,3	59,8	59,3	59	59,1	59		
3	60	50	2:30	60,1	59,5	59	58,6	58,4	58,4		
5	60	40	3:30	60,1	59,8	59,5	59,1	58,8	58,8	59,2	59,2
7	60	50	3:30	60	59,7	59,4	59,1	58,8	58,7	58,8	58,8
9	60	40	2:30	60	58,4	57,5	56,3	55,9	55,9		
11	60	50	2:30	61	58,1	57,2	56,1	55,8	55,8		
13	60	40	3:30	61,7	61	59,3	58,9	58,6	58,6	59,9	59,9
15	60	50	3:30	60,2	59,8	59,5	58,7	58,5	59	59,1	59,1

Fuente: Elaboración propia, 2018

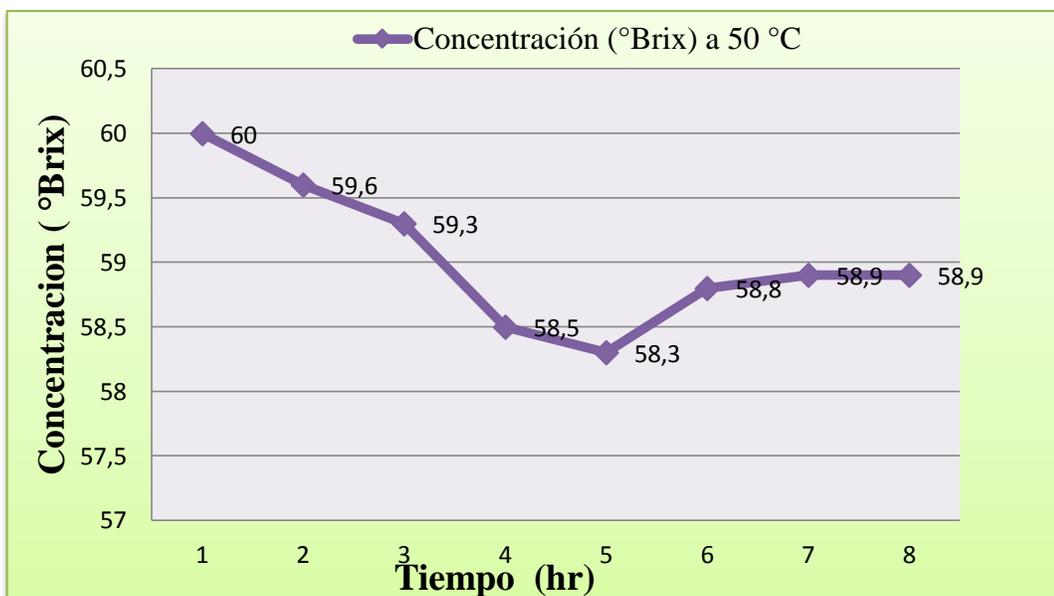
En las figuras 3-5, se observa la reducción de 60°Brix del agente osmótico a la temperatura de 40 °C durante 3:30 horas.

Figura 3-5: Reducción de 60°Brix del agente osmótico a la temperatura de 40 °C durante 2:30 horas



Fuente: Elaboración propia, 2018

Figura 3-6: Reducción de solidos solubles en la solución a la temperatura de 50°C durante 3:30 horas



Fuente: Elaboración propia, 2018

En la tabla III-11, se observa datos de la reducción sólidos solubles en el agente osmótico desde la concentración inicial 70°Brix hasta la concentración final de 67,3°Brix, medidos cada media hora durante el proceso a las temperaturas de (40-50)°C y tiempos de 2:30 y 3:30 horas y media.

En las figuras 3-7 y 3-8 se puede observar que la ganancia de sólidos por el producto, es inferior a altas concentraciones de sacarosa-glucosa debido probablemente a la formación de una capa de sacarosa-glucosa superficial sobre el producto que impide el ingreso de sólidos dentro del mismo (como se mencionó anteriormente). Este fenómeno fue observado también por otros autores (Rocca, P. 2010).

Tabla III-11:

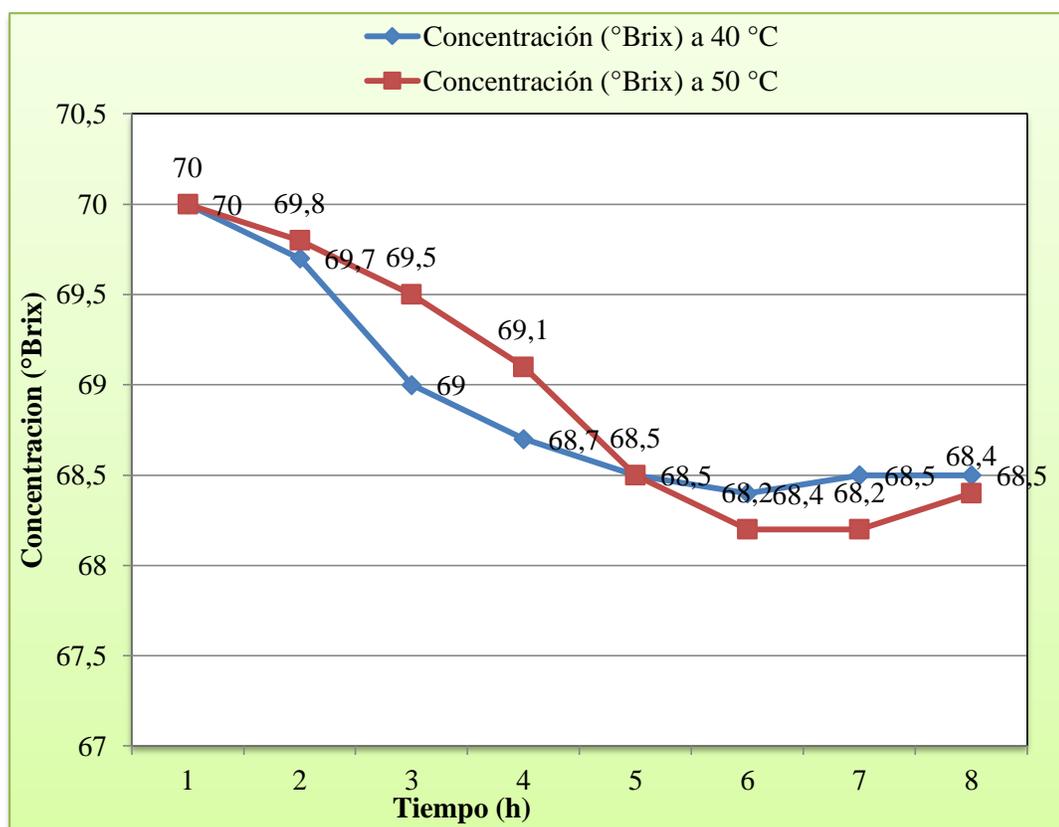
Reducción de la concentración de 70°Brix del agente osmótico a las temperaturas de (40-50) °C y Tiempos de (2:30 y 3:30) horas

N° de Experimento	Concentración (°Brix)	Temperatura (°C)	Tiempo (h)	°Brix (Datos obtenidos cada media hora)								
2	70	40	2:30	70	69,6	68,5	68,6	68,6	68,7			
4	70	50	2:30	70	69,7	69,3	68,7	68,9	68,9			
6	70	40	3:30	70	69,7	69	68,7	68,5	68,4	68,5	68,5	
8	70	50	3:30	69,9	69,5	69,1	68,7	68,6	68,3	68,4	68,4	
10	70	40	2:30	71	70,5	70,1	69,8	69,8	69,7			
12	70	50	2:30	70,1	68	67,7	67,4	67,2	67,3			
14	70	40	3:30	70,5	69,7	68,9	68,2	68,1	68,1	68,3	68,3	
16	70	50	3:30	70	69,8	69,5	69,1	68,5	68,2	68,2	68,4	

Fuente: Elaboración propia, 2018

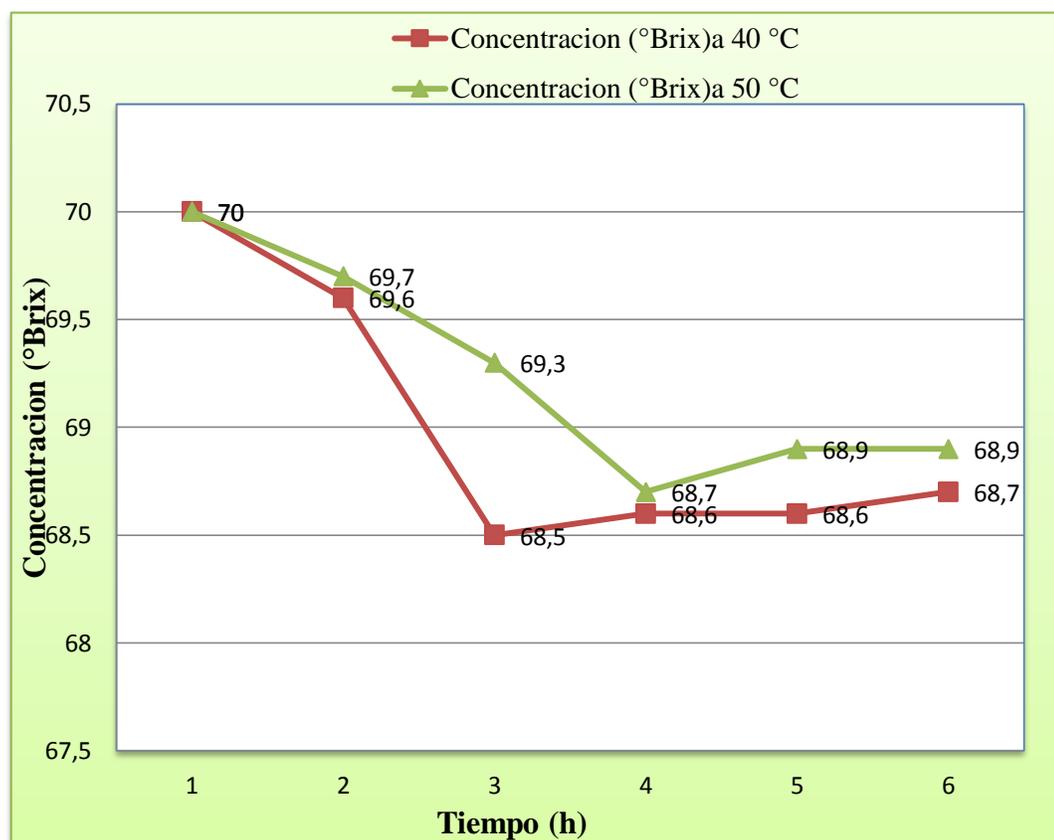
En las figura 3-7 y 3-8, se observa la reducción de los sólidos solubles iniciales en la solución de 70 % m/m hasta solidos solubles finales de 68,4 % m/m durante los tiempos de deshidratación (3:30 y 2:30 horas). En la curva correspondiente a la mayor concentración de sacarosa-glucosa en la solución, 70 % m/m se observa un máximo de aproximadamente 1 hora a la cual disminuye con mayor proporción los sólidos en la solución deshidratante. Luego de este tiempo los valores disminuyen en concordancia con una disminución en la entrada de sólidos por la formación de dicha capa y un incremento en la salida del agua que arrastra consigo los iones solventados del calcio desde el interior del producto hacia la solución.

Figura 3-7: “Concentración vs Tiempo” disminución de los sólidos solubles en la solución deshidratante medido cada media hora de operación (3:30) horas



Fuente: Elaboración propia, 2018

Figura 3-8: “Concentración vs Tiempo” disminución de los sólidos solubles en la solución deshidratante medido cada media hora de operación (2:30) horas



Fuente: Elaboración propia, 2018

En las Figuras 3-7 y 3-8 se puede apreciar la disminución de sólidos solubles en la solución y la ganancia de sólidos en función del tiempo para las distintas experiencias de deshidratación osmótica, realizadas en soluciones para los diferentes ensayos al 70 % m/m de concentración de sacarosa-glucosa y la concentración de $CaCl_2$ 1 % m/v.

En la tabla III-12, se observa datos obtenidos en la etapa experimental de reducción de solutos en la solución para distintas concentraciones (70 % m/m y 60% m/m), que tiene en cuenta toda la transferencia de solutos desde el interior del sólido hacia la solución como de los solutos que ingresan al producto proveniente de la misma, incrementa. Ambos efectos: disminución en la pérdida de agua y aumento en la

ganancia de sólidos, provocan que la concentración de sólidos solubles en la solución aumente hasta hacerse casi constante, luego de dos horas de deshidratación osmótica.

Tabla III-12:

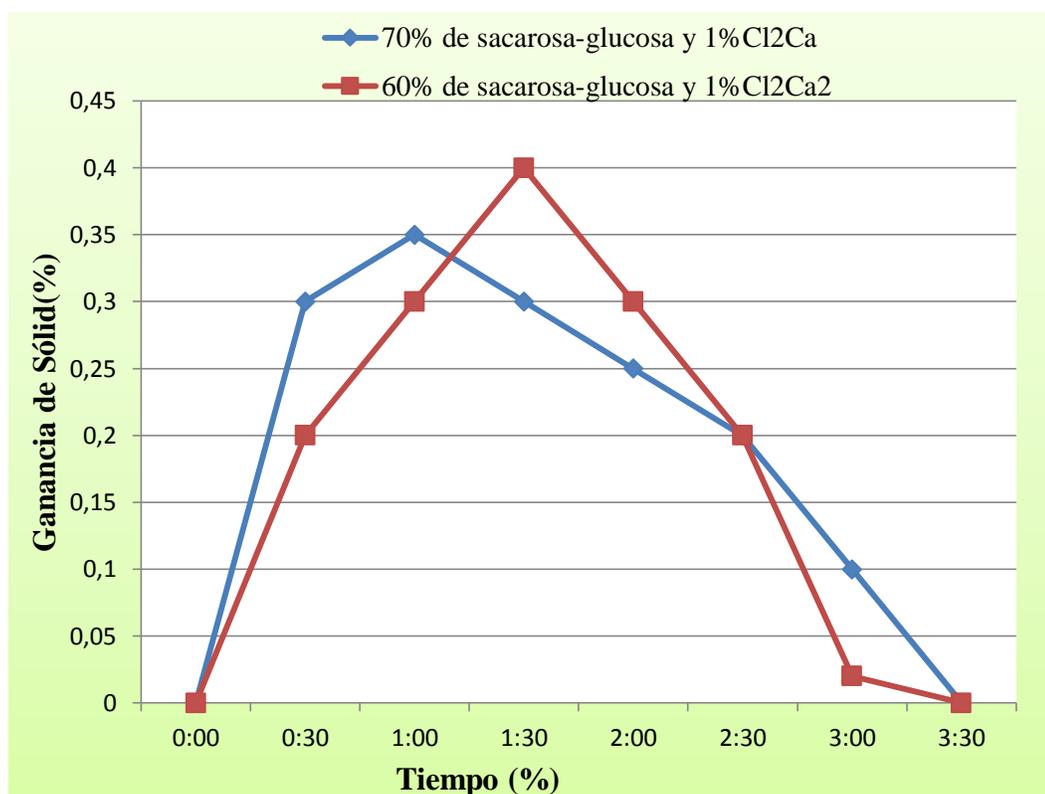
Sólidos solubles adheridos en las rebanadas deshidratadas de palta en la solución de 70 °Brix del agente osmótico a las condiciones de proceso (3:30 horas y 40 °C

Tiempo (hr)	70% de sacarosa-glucosa y 1%Cl₂Ca	60% de sacarosa-glucosa y 1%Cl₂Ca₂
00:00	0	0
00:30	0,3	0,2
01:00	0,35	0,3
01:30	0,3	0,4
02:00	0,25	0,3
02:30	0,2	0,2
03:00	0,1	0,02
03:30	0	0

Fuente: Elaboración propia, 2018

En la figura 3-9 se observa la ganancia de sólidos por el producto en función del tiempo en las distintas experiencias de deshidratación osmótica con diferentes concentraciones de sacarosa-glucosa y la misma concentración de Cl₂Ca en la solución, 1 % m/v. Los valores de las restantes variables son iguales a las de las condiciones de operación óptimas finales.

Figura 3-9: Concentración (sólidos solubles) adherida en las rebanadas deshidratadas de palta a las distintas concentraciones de la solución



Fuente: Elaboración propia, 2018

En la figura 3-9, se observa que la ganancia de sólidos es inferior a altas concentraciones de sacarosa debido probablemente a la formación de una capa de sacarosa superficial sobre el producto que impide el ingreso de sólidos dentro del mismo (como se mencionó anteriormente). Este fenómeno fue observado también por otros autores (Rocca, P. 2010 y Bedoya G. 2003). Según estos investigadores, la solución más diluida puede penetrar mejor en el interior de los tejidos, en contraste con las soluciones concentradas que son más viscosas. Esta película posee un espesor mayor para concentraciones de sacarosa en la solución superior. Por consiguiente, resulta mayor el impedimento para el ingreso de sólidos al producto. En la curva correspondiente a la mayor concentración de sacarosa-glucosa en la solución, 70 % m/m se observa un máximo de 0,35 % aproximadamente en 1 hora. Luego de este tiempo los valores disminuyen en concordancia con una disminución en la entrada de

sólidos por la formación de dicha capa y un incremento en la salida del agua. En el L.O.U. (laboratorio de operaciones unitarias); medidos en el equipo (secador infrarrojo), la humedad es menor 61,7%.

3.7 RESULTADOS DEL DISEÑO FACTORIAL

Con los datos obtenidos para cada ensayo dado por el diseño de experimentos, se realiza el análisis de varianza, obteniéndose la ecuación que modela la humedad y el rendimiento en función de las variables de proceso estudiadas.

3.7.1 INFLUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN, TEMPERATURA Y TIEMPO EN LA DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DE REBANADAS DESHIDRATADAS

Se realiza el análisis de varianza (ANOVA) para los resultados experimentales mostrados en la tabla III-14, para ello se toma en cuenta todos los efectos que se muestran en la tabla III-13. La nomenclatura utilizada se describe en la tabla III-13.

Tabla III-13:
Nomenclatura utilizada en el análisis estadístico

Variables	Descripción	Tipo de Efecto
A	Concentración	Efecto principal
B	Temperatura	Efecto principal
C	Tiempo	Efecto principal
AB	Concentración- temperatura	Interacción
AC	Concentración-tiempo	Interacción
BC	Temperatura- tiempo	Interacción
ABC	Concentración - temperatura- tiempo	Interacción

Fuente: Elaboración propia, 2018

El análisis de la varianza reparte la variabilidad de la respuesta porcentaje de humedad en segmentos separados para cada uno de los efectos, luego prueba la significancia estadística de cada efecto por comparación de la media cuadrada contra una estimación del error experimental. Los efectos principales de Tiempo (A), Temperatura (B), Concentración (C) y los efectos combinados Tiempo-temperatura (AB), Tiempo- concentración (AC), Temperatura- concentración (BC) y Tiempo-temperatura- concentración (ABC) no son significativos.

En base a los resultados de la suma de cuadrados, se procede a construir la tabla.

El cuadro de ANVA para el diseño factorial 2^3 , se muestra en la tabla de análisis de varianza (ANVA) de la prueba estadística de Fisher (F).

Nivel de significación: 0.05 (95%)

Tabla III-14:

Análisis de varianza del diseño experimental 2^3 en el proceso de obtención de rebanadas deshidratadas de pulpa de palta (*Persea americana Hass*) para un nivel de significancia del 5%

Fuente de variación (FV)	Suma de cuadrados (SC)	Grados de libertad (GL)	Cuadrados medios (CM)	Fisher calculado (Fcal.)	Fisher tabulado (Ftab.)
Total	53.227	16-1=15			
Concentración	0.6202	2-1 = 1	0.6202	0.0997	5.318
Temperatura	0.2093	2-1 = 1	0.2093	0.0336	5.318
Tiempo	0.0473	2-1 = 1	0.0473	0.0076	5.318
Concentración-temperatura	0.7876	2-1 = 1	0.7876	0.1266	5.318
Concentración-Tiempo	0.0352	2-1 = 1	0.0352	0.0056	5.318
Temperatura-Tiempo	0.9850	2-1 = 1	0.9850	0.1583	5.318
Concentración-temperatura-Tiempo	0.7876	2-1 = 1	0.7876	0.1266	5.318
Error	49.7548	$2^3=8$			

Fuente: Elaboración propia, 2018

Nivel de significación: 0.05 (95%)

Los tres efectos principales son significativos (Fcal.) pero el tiempo es más significativo que la temperatura y está más significativa que la concentración.

3.8 RESULTADO DE LA CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LAS REBANADAS DESHIDRATADAS OBTENIDAS A PARTIR DE PULPA DE PALTA (*Persea americana miller Hass*)

Concluyendo con el análisis factorial de obtención de rebanadas deshidratadas, se obtiene el mejor resultado para la humedad aplicando los parámetros del experimento 6: concentración de 70°Brix; temperatura de 40°C y tiempo de 3:30 horas, el cual presenta menor porcentaje de agua: 23,37%.

El mayor rendimiento se obtiene aplicando los parámetros del experimento 8: concentración de 70°Brix; temperatura 50°C y tiempo de 3:30 horas.

A pesar de que el mayor rendimiento se obtiene en el experimento 8, la humedad para el mismo experimento es más alta: 23,99%, por lo tanto, se elige el experimento 6 como óptimo para este estudio, en el cual se obtiene un producto con menor porcentaje de humedad y el cuarto de mayor rendimiento (21,872%).

El producto final (rebanadas de palta deshidratadas osmóticamente) obtenidas a los parámetros óptimos se emplea para la caracterización físico-química.

A continuación se presenta los resultados del análisis fisicoquímico y se hace una comparación del aspecto del producto final.

3.8.1 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL PRODUCTO FINAL

En la tabla III-15, se muestran los parámetros fisicoquímicos de las rebanadas deshidratadas determinados en laboratorio del C.E.A.N.I.D. (Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo):

Tabla III-15:
Propiedades fisicoquímicas de las rebanadas deshidratadas de pulpa de palta

Parámetro o Características	Técnica y / o Método de ensayo	Unidad	Rebanadas deshidratadas de palta(Experimental)*
Valor energético	Cálculo	Kcal/100 g	428,47
Proteína total (Nx6,25)	NB/ISO 8968-1:08	%	3,46
Hidratos de Carbono	NB 313010:05	%	75,42
Grasa	NB 313019:06	%	12,55
Humedad	Cálculo	%	7,20
Sólidos solubles		° Brix	-
Fibra	Gravimétrico	%	12,52
Ceniza	NB 39034:10	%	1,40

Fuente: Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (C.E.A.N.I.D.) 2017.

Como se aprecia en la tabla III-15, las características fisicoquímicas de las rebanadas deshidratadas de pulpa de palta obtenida experimentalmente presentó un bajo índice de proteína total obtenido (3,46%), debido a que la materia prima también presentó un bajo contenido de proteína total del (1,46%). El porcentaje de fibra (12,52%), cenizas (1,40%) y humedad (7,20%), que se determinaron en las rebanadas deshidratadas de pulpa de palta se encuentra dentro de los rangos permitidos por los datos bibliográficos.

3.9 COMPARACIÓN DEL ASPECTO DE LAS REBANADAS DE PALTA PARA DIFERENTES TIEMPOS DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA Y DISTINTAS CONCENTRACIONES DE SACAROSA-GLUCOSA LUEGO DE UNA SEMANA EN CONDICIONES AMBIENTALES

Las rebanadas de palta deshidratadas osmóticamente se dejaron en condiciones atmosféricas durante 7 días, para evaluar cambios en su aspecto (variaciones de coloración, observación a simple vista de ataque por hongos, etc.). Se llevaron a cabo dos experiencias de deshidratación osmótica, DO: una de ellas en solución con una concentración de sacarosa- glucosa del 70 % m/m y la otra en una del 60 % m/m,

manteniendo las restantes variables iguales en ambas experiencias: concentración de cloruro de calcio 1 % m/v, temperatura 40 °C, relación masa de solución a masa de palta de 25, nivel de agitación de 350- 700 rpm y rebanadas de 3mm de espesor y 2,5 cm de largo aproximadamente. Las muestras de rebanadas de palta se trataron durante los siguientes tiempos: 2:30 y 3:30 horas para las dos experiencias.

En la Fotografía 3-1 se presentan las muestras de rebanadas de palta provenientes de las dos experiencias durante los diferentes tiempos de deshidratación. Las rebanadas de palta tratadas en la solución de mayor concentración, 70 %, conservaron el color y no parecían a simple vista presentar deterioro por microorganismos. Sin embargo las deshidratadas en la solución al 60 % m/m de sacarosa estaban ennegrecidas y habían sufrido el ataque de microorganismos. Las rebanadas de palta que habían recibido un tratamiento durante más largo tiempo estaban menos afectadas. Entonces, se puede concluir que las rebanadas deshidratadas osmóticamente a concentraciones superiores (70 %) y durante tiempos más largos (3:30 h) eran más estables, sufrían menor deterioro microbiano y la enzima polifenoloxidasa era inhibida por las altas concentraciones de sacarosa-glucosa, no apareciendo el pardeamiento enzimático en los tejidos de palta. También, la presencia de azúcar sobre la superficie de la muestra es un obstáculo para el contacto con el oxígeno y reduce entonces las reacciones oxidativas (Castillo García, C. 2007).

Fotografía 3-1: Rebanadas de palta deshidratadas osmóticamente en solución de concentraciones de sacarosa-glucosa 70% y 60% m/m durante distintos tiempos de tratamiento 2:30 y 3:30 horas, luego de transcurrida una semana al ambiente sin ningún tipo de tratamiento químico y/o físico para su conservación

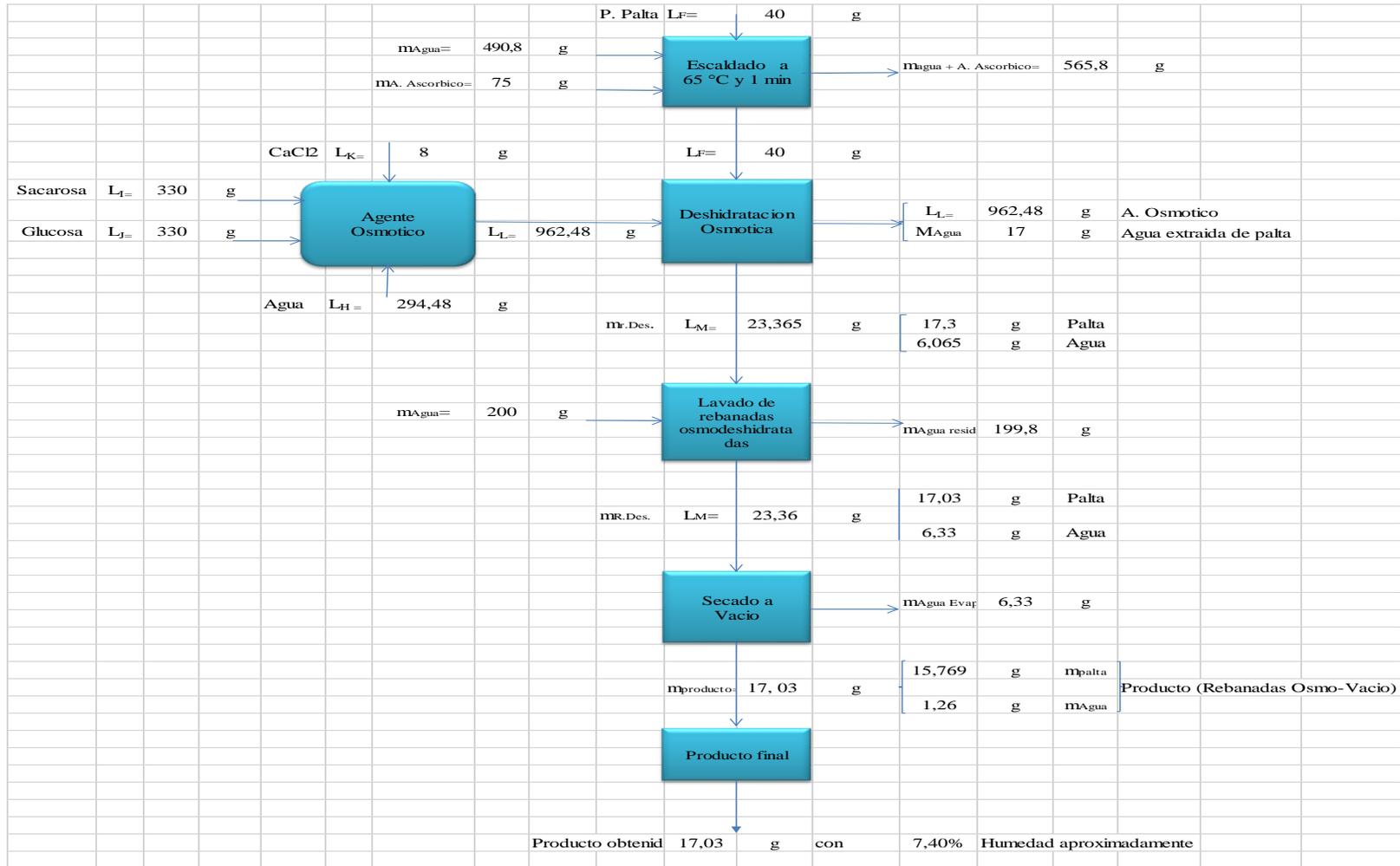


Fuente: Elaboración propia, 2018

3.10 BALANCE DE MATERIA EN LAS ETAPAS DEL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN

El balance de materia se hizo solamente en aquellas etapas que lo requieren, es decir, en aquellos casos en los que existe diferencia de masa en la salida respecto de la entrada. Para realizar el balance se tomó como base de cálculo el peso de una palta 150,121 gramos (variedad *persea americana hass*) a nivel experimental.

Figura 3-10: Balance de materia en las etapas del proceso de deshidratación



Fuente: Elaboración propia, 2018

3.10.1 BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA EN EL PROCESO

El balance de materia se realizó solamente en aquellas etapas que lo requieren, es decir, en aquellos casos en los que existe diferencia de masa en la salida respecto de la entrada. Para realizar el balance se tomó como una base de cálculo el peso de una palta de 150, 121 gramos al 61,7 % de humedad. El proceso de obtención se realizó en las condiciones óptimas; a una relación (fruta-agente osmótica) de 1:20, 70 °Brix del agente osmótico, 3:30 horas y media y 40 °C de temperatura. Se seleccionó una temperatura de 40 °C ya que es la adecuada; a esta temperatura se obtiene un producto de mejor calidad, sabor más agradable, 70 °Brix de la soluciones la más adecuada según bibliografía en el método de deshidratación osmótica en palta y 3:30 horas y media, es el tiempo en el cual se logró extraer mayor cantidad de agua a la temperatura mencionada anteriormente.

Cabe recalcar que para cada experimento se tomó una muestra de 40 gramos. En la tabla III-16, se muestran los datos experimentales para el balance de materia.

Tabla III-16:**Datos del proceso de obtención de las rebanadas osmodeshidratadas**

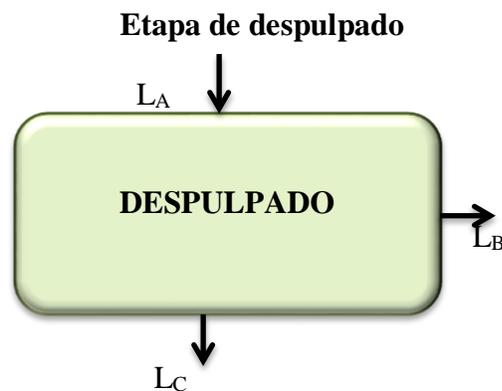
Deshidratado		
LA	150,121 g	Peso de una palta
LB	19,96 g	Peso cáscara extraída (Desperdicio) y pepa
LC	130,161 g	Pulpa de palta
LD	22,86 g	Retazos de palta sobrante del corte
LE	107,301 g	Palta cortada en rebanadas en el tamaño correspondiente
LF	40 g	Pesado de palta lista para introducir al agente osmótico
LG	67,301 g	Peso sobrante palta cortada
LH	294,48 g	Agua utilizada para preparación del agente osmótico
LI	330 g	Peso de sacarosa introducido para la preparación del agente osmótico
LJ	330 g	Peso de glucosa introducido para la preparación del agente osmótico
LK	8 g	Peso de cloruro de calcio introducido para la preparación del agente osmótico
LL	962,48 g	Peso del agente osmótico utilizado para la deshidratación
LM	23,365 g	Peso final de las rebanadas de palta osmodeshidratadas (g)
LN	979,11 g	Peso final de la solución (g)
LO	0,383	Fracción de pérdida de agua
LP	68,7 °Brix	Sólidos solubles presentes en la solución al final de la deshidratación osmótica (°Brix)
LQ	0,7	Fracción de sólidos solubles
LR	0,617	Fracción de la humedad inicial de la palta (%)
LS	0,306	Fracción de agua en el agente osmótico
LT	61,7%	Humedad inicial de la palta
Lu	23,37%	Humedad final de las rebanadas osmodeshidratadas

Fuente: Elaboración propia, 2018

3.10.1.1 BALANCE DE MATERIA EN LA ETAPA DE DESPEPADO

En la figura 3-11, se muestra el diagrama de bloque para el balance de materia en la etapa de despulpado.

Figura 3-11:



Datos:

$$L_A = 150,121 \text{ g}$$

$$L_B = 19,96 \text{ g}$$

$$L_C = ? \text{ g}$$

Balance de materia global en la etapa de despulpado:

$$L_A = L_B + L_C \quad \text{ecuación (3-1)}$$

Despejando L_C de la ecuación (3-1)

$$L_C = L_A - L_B \quad \text{ecuación (3-2)}$$

Reemplazando datos en la ecuación (3-2)

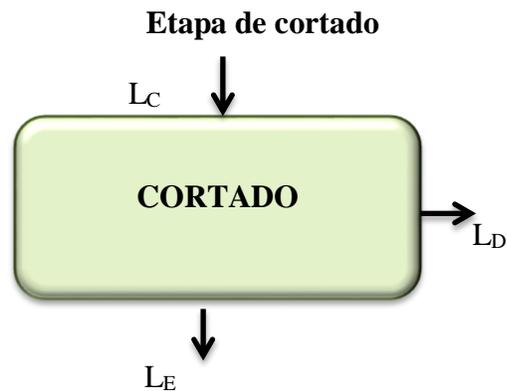
$$L_C = 150,121 \text{ g} - 19,96 \text{ g}$$

$$L_C = 130,161 \text{ g de pulpa de palta}$$

3.10.1.2 BALANCE DE MATERIA EN LA ETAPA DE CORTADO

En la figura 3-12, se muestra el diagrama de bloque para el balance de materia en la etapa de cortado.

Figura 3-12:



Datos:

$$L_C = 130,161 \text{ g}$$

$$L_D = 22,86 \text{ g}$$

$$L_E = ? \text{ g}$$

Balance de materia global en la etapa de cortado:

$$L_C = L_D + L_E \quad \text{ecuación (3-3)}$$

Despejando L_E de la ecuación (3-3)

$$L_E = L_C - L_D \quad \text{ecuación (3-4)}$$

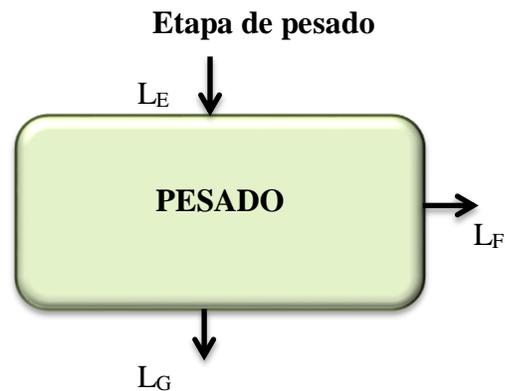
Reemplazando datos en la ecuación (3-4)

$$L_E = 130,161 \text{ g} - 22,86 \text{ g}$$

$$L_E = 107,301 \text{ g Palta cortada en rebanadas en el tamaño correspondiente}$$

3.10.1.3 BALANCE DE MATERIA EN LA ETAPA DE PESADO DE LAS REBANADAS DE PULPA DE PALTA

En la figura 3-13, se muestra el diagrama de bloque para el balance de materia en la etapa de pesado:

Figura 3-13:

Datos:

$L_E = 107,301 \text{ g}$ palta cortada en rebanadas en el tamaño correspondiente

$L_F = 40 \text{ g}$ pesado de palta lista para introducir al agente osmótico

$L_G = ? \text{ g}$ peso sobrante de palta cortada en rebanadas

Balance de materia global en la etapa de pesado de las rebanadas de pulpa de palta:

$$L_E = L_F + L_G \quad \text{ecuación (3-5)}$$

Despejando L_G de la ecuación (3-5)

$$L_G = L_E - L_F \quad \text{ecuación (3-6)}$$

Reemplazando datos en la ecuación (3-6)

$$L_G = 107,301 \text{ g} - 40 \text{ g}$$

$$L_G = 67,301 \text{ g Pesado sobrante de palta cortada}$$

3.10.1.4 BALANCE DE MATERIA EN LA ETAPA DE PREPARACIÓN DEL AGENTE OSMÓTICO (JARABE)

En la figura 3-14, se muestra el diagrama de bloque para el balance de materia en la etapa de preparación del agente osmótico.

Figura 3-14:



Datos:

$$L_H = 294,48 \text{ g}$$

$$L_I = 330 \text{ g}$$

$$L_J = 330 \text{ g}$$

$$L_K = 8 \text{ g}$$

$$L_L = ? \text{ g}$$

$$\rho_{H_2O} = 0,9816 \text{ g/ml}$$

Balance de materia global en la etapa de preparación del agente osmótico:

$$L_H + L_I + L_J + L_K = L_L \quad \text{ecuación (3-7)}$$

Despejando L_I de la ecuación (3-7)

$$L_L = L_H + L_I + L_J + L_K \quad \text{ecuación (3-8)}$$

Reemplazando datos en la ecuación (3-8)

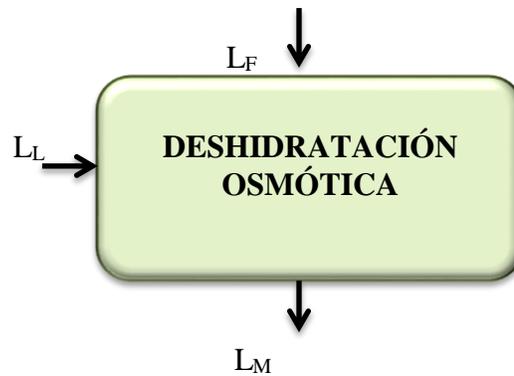
$$L_L = 294,48 \text{ g} + 330 \text{ g} + 330 \text{ g} + 8 \text{ g}$$

$$L_L = 962,48 \text{ g de agente osmótico}$$

3.10.1.5 BALANCE EN EL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA Y AGITACIÓN

En la figura 3-15, se muestra el diagrama de bloque para el balance de materia en la etapa del proceso de obtención de las rebanadas deshidratadas.

Figura 3-15:
Etapas de deshidratación osmótica



$L_F = 40 \text{ g}$ peso inicial de las rebanadas (g)

$L_L = 962,48 \text{ g}$ peso inicial de la solución (g)

$L_M = 23,37 \text{ g}$ Peso final de las rebanadas de palta osmodeshidratadas (g)

Para saber el peso de la solución inicial se determinó la densidad de la misma siendo esta $\rho_{mez} = 1,3945 \text{ g/ml}$ para sustituirla en la fórmula de la densidad que es igual a la Masa/Volumen.

Nota: La humedad inicial de la palta se la determinó mediante el secador infrarrojo siendo esta 61,7%.

Determinación del peso final de la solución

$$L_N = L_F + L_L - L_M \quad \text{ecuación (3-9)}$$

Reemplazando datos en la ecuación (3-9)

$$L_N = 40 \text{ g} + 962,48 \text{ g} - 23,37 \text{ g}$$

$L_N = 979,11 \text{ g}$ Peso final de la solución

3.10.2 BALANCE DE ENERGÍA PARA EL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE LA PALTA

▪ Consumo de energía en el secador infrarrojo o balanza de humedad

La capacidad máxima de trabajo del secado infrarrojo es 700w y 200°C. La temperatura a la que se trabajó para el secado de la palta osmodeshidratada fue 105°C.

Se programó la balanza de humedad para que se realizara el secado de la muestra de rebanadas (5,00 gramos) a 105°C, hasta llegar a peso constante

Para la obtención de los Watts de energía que utiliza el secador infrarrojo se toma su comportamiento como comportamiento lineal, se realiza una selección entre las temperaturas y la energía utilizada por el secador infrarrojo.

$$X = \frac{700W * 105^{\circ}C}{200^{\circ}C}$$

$$X = \text{Energía} = 367,5W = 0,368kw$$

El costo de 1 KW/h en servicios eléctricos de Tarija-Setar tiene un costo de 0.600 Bs teniendo el costo del KW/h obtenemos que el costo de los 0,378Kw que consume el secador infrarrojo es de:

$$X = \frac{0,368 Kw * 0,600 Bs}{1Kw}$$

$$X = \text{Costo de } 0,368 \text{ KW/h es de } 0,221 \text{ Bs}$$

Para la cantidad de experimentos hechos más su repetición el costo de 5,888 KW/h es de 3,533 Bs.

El costo promedio de energía que consume el secador infrarrojo para sacar la palta osmodeshidratada en 3:30 horas es de: 11,658 Bs aproximadamente.

▪ Consumo de energía en el Agitador Magnético (proceso de deshidratación)

En el proceso de deshidratación osmótica y secado a vacío se calcula la cantidad de energía eléctrica consumida por el agitador magnético y el secador a vacío.

La tabla III-17, muestra la potencia y el tiempo que se utilizaron tanto en el agitador como el secador a vacío en el proceso de obtención de rebanadas deshidratadas de pulpa de palta, y mediante cálculo se encontró la energía eléctrica consumida por el agitador magnético y el secador a vacío.

Tabla III-17:

Potencia y tiempo de trabajo del agitador magnético y secador a vacío en el proceso de obtención de rebanadas deshidratadas de pulpa de palta

Operación	Potencia (Kw)	Tiempo (h)	Energía (Kw/h)
Deshidratación Osmótica	0,64	3,5	2,24
Secado a Vacío	1,4	5	7

Fuente: Elaboración propia, 2018

- Cálculo de la energía eléctrica consumida en el agitador magnético

Las condiciones de deshidratación osmótica son:

Potencia (P) = 640 W

$$P = 640 \text{ W} * \left(\frac{1 \text{ kw}}{1000 \text{ w}} \right) = 0,64 \text{ Kw}$$

Temperatura (T) = 350°C

Tiempo (t) = 3,5 h

Para calcular la energía eléctrica consumida por el agitador magnético en el proceso de deshidratación osmótica, se utilizó la ecuación matemática (3-30), citada por (Coakley, T. 2010)

$$P = \frac{\varepsilon}{t} \quad \text{ecuación (3-10)}$$

Donde:

P = Potencia eléctrica (Kw)

\mathcal{E} = Energía consumida en una unidad de tiempo (Kwh)

t = Tiempo (h)

Despejando \mathcal{E} de la ecuación (3-10), tenemos:

$$\mathcal{E} = P * t \quad \text{ecuación (3-11)}$$

Reemplazando datos en la ecuación (3-11), tenemos:

$\mathcal{E} = 0,64 \text{ Kw} * 3,5 \text{ h} = 2,24 \text{ Kwh}$ de energía eléctrica que se consume en el agitador magnético en el proceso de deshidratación osmótica en la obtención de rebanadas osmodeshidratadas de pulpa de palta.

▪ **Consumo de energía en el Secador a Vacío (Proceso de Secado)**

- Cálculo de energía eléctrica consumida en el proceso de secado a vacío

Las condiciones de secado a vacío son:

Tiempo (t) = 5 h

Temperatura de secado a vacío (T) = 40°C

Potencia del secador a vacío (P) = 1,4 kw

Para calcular la energía eléctrica consumida por el secador a vacío, se utilizó la expresión matemática (3-32), citada por (Coakley, T. 2010).

$$P = \frac{\mathcal{E}}{t} \quad \text{ecuación (3-12)}$$

Donde:

P = Potencia eléctrica (Kw)

\mathcal{E} = Energía consumida en una unidad de tiempo (kwh)

t = Tiempo (t)

Despejando \mathcal{E} de la ecuación (3-12), tenemos:

$$\mathcal{E} = P * t \quad \text{ecuación (3-13)}$$

Reemplazando datos en la ecuación (3-13), tenemos:

$E = 1,4 \text{ kw} * 5 \text{ h} = 7 \text{ kwh}$ de energía que fue consumida por el secador a vacío en el proceso de secado en la obtención de rebanadas deshidratadas de pulpa de palta.

3.10.3 BALANCE DE ENERGÍA EN EL AGITADOR MAGNÉTICO (PROCESO DE DESHIDRATACIÓN)

En los procesos de deshidratación osmótica y secado a vacío, ocurrieron transferencias de energía en forma de calor, donde, para la aplicación del balance total de energía se aplicaron las siguientes ecuaciones citadas por Barderas, (1994):

Ecuación para realizar el balance total de energía:

Calor saliente del sistema–Calor entrante al sistema=Acumulación Ecuación (3-14)

En la ecuación (3.34) la acumulación es igual a 0 debido a que la energía entrante es igual a la saliente, por lo que se simplificaría a:

$$Q_{\text{Cedido}} = - Q_{\text{Ganado}} \text{ o } Q_{\text{cedido}}=Q_{\text{ganado}} \text{ o } Q_{\text{ga}}=-Q_{\text{ced}} \quad \text{ecuación (3-15)}$$

La ecuación para calcular el calor ganado o perdido por una sustancia (sin cambio de fase) es igual a:

$$Q = m C_p (T_f - T_o) \quad \text{ecuación (3.16)}$$

Donde:

$Q = \text{Calor}$

$m = \text{masa del cuerpo}$

$C_p = \text{Capacidad calorífica del cuerpo}$

$T_f = \text{Temperatura final}$

$T_o = \text{Temperatura inicial}$

La ecuación para calcular el calor ganado o perdido por una sustancia (con cambio de fase) es igual a:

$$Q_{\text{latente}} = m_a * \lambda_{\text{vap}} \quad \text{ecuación (3.17)}$$

Donde:

Q_{latente} = Calor cedido o ganado durante un cambio de fase

m_a = Masa del cuerpo

λ_{vap} = Lambda de vaporización del cuerpo

$$m_{\theta} * C_{p_{\theta}} * (\Delta T)_{\theta} = - [m_p * C_{p_p} * (\Delta T)_p]$$

$$[m_{\text{H}_2\text{O}} * C_{p_{\text{H}_2\text{O}}} * (\Delta T)_{\text{H}_2\text{O}} + m_s * C_{p_s} * (\Delta T)_s + m_G * C_{p_G} * (\Delta T)_G + m_{\text{CaCl}_2} * C_{p_{\text{CaCl}_2}} * (\Delta T)_{\text{CaCl}_2}] = - [m_p * C_{p_p} * (\Delta T)_p]$$

$$[m_{\text{H}_2\text{O}} * C_{p_{\text{H}_2\text{O}}} * (T_f - T_i)_{\text{H}_2\text{O}} + m_s * C_{p_s} * (T_f - T_i)_s + m_G * C_{p_G} * (T_f - T_i)_G + m_{\text{CaCl}_2} * C_{p_{\text{CaCl}_2}} * (T_f - T_i)_{\text{CaCl}_2}] = - [m_p * C_{p_p} * (T_f - T_i)_p]$$

Datos:

$$C_{p_{\text{palta}}} = 0,00072 \text{ kcal/g } ^\circ \text{C}$$

$$C_{p_{\text{H}_2\text{O}}} = 0,001 \text{ kcal/ g } ^\circ \text{C}$$

$$C_{p_{\text{sacarosa}}} = 0.0003 \text{ kcal/g } ^\circ \text{C}$$

$$C_{p_{\text{Glucosa}}} = 0,0418 \text{ Kcal/g } ^\circ \text{C}$$

$$C_{p_{\text{CaCl}_2}} = 0,043 \text{ kcal/g } ^\circ \text{C}$$

$$m_{\text{palta}} = 40 \text{ g}$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 287,4 \text{ g}$$

$$m_{\text{sacarosa}} = 300 \text{ g}$$

$$m_{\text{glucosa}} = 300 \text{ g}$$

$$m_{\text{CaCl}_2} = 8 \text{ g}$$

$$[m_{\text{H}_2\text{O}} * C_{p_{\text{H}_2\text{O}}} * (T_f - T_i)_{\text{H}_2\text{O}} + m_s * C_{p_s} * (T_f - T_i)_s + m_G * C_{p_G} * (T_f - T_i)_G + m_{\text{CaCl}_2} * C_{p_{\text{CaCl}_2}} * (T_f - T_i)_{\text{CaCl}_2}] = - [m_p * C_{p_p} * (T_f - T_i)_p]$$

$$(287,4 \text{ g} * 0,001 \text{ kcal/ g } ^\circ \text{C} * (40 - 25 ^\circ \text{C})) + (300 \text{ g} * 0.0003 \text{ kcal/g } ^\circ \text{C} * (40 - 25 ^\circ \text{C})) + (300 \text{ g} * 0,0418 \text{ Kcal/g } ^\circ \text{C} * (40 - 25 ^\circ \text{C})) + (8 \text{ g} * 0,043 \text{ kcal/g } ^\circ \text{C} * (40 - 25 ^\circ \text{C})) = - [40 \text{ g} * 0,00072 \text{ kcal/g } ^\circ \text{C} * (40 - 25 ^\circ \text{C})]$$

$$4,311 \text{ kcal} + 1,35 \text{ kcal} + 188,1 \text{ kcal} + 5,16 \text{ kcal} = - 0,432 \text{ kcal}$$

Entonces el calor total del sistema para realizar el proceso de deshidratación osmótica es:

$$Q_{\text{Total}} = 199,355 \text{ kcal}$$

▪ **Balance de energía en el Secador a Vacío (proceso de secado)**

El calor total del sistema es:

$$Q_{\text{Total}} = m_p * C_{p_p} * (\Delta T)_p + m_{vH2O} * \lambda_{vH2O}$$

Dónde:

Masa de las rebanadas deshidratadas osmóticamente (m_p) = 23, 37 g

Calor específico de la palta (C_{p_p}) = 0,00072 kcal/g ° C

Cambio de temperatura en el secado a vacío ($(\Delta T)_p$) = (40-25) ° C

Masa de agua evaporada (m_{vH2O}) = m Rebanadas deshidratadas osmóticamente - m Rebanadas secadas a vacío

$$m_{vH2O} = 23, 37 \text{ g} - 17, 03 \text{ g} = 6, 34 \text{ g}$$

$$\lambda_{vH2O} = 0, 5394 \text{ kcal/g}$$

$$Q_{\text{Total}} = 23, 37 \text{ g} * 0, 00072 \text{ kcal/g} \cdot \text{° C} * (40-25) \text{ ° C} + 6, 34 \text{ g} * 0, 5394 \text{ kcal/g}$$

$$Q_{\text{Total}} = 3, 672 \text{ kcal}$$

Entonces el calor total en el proceso de obtención de rebanadas deshidratadas es:

$$Q_{\text{Total en el proceso}} = Q_{\text{Total en el agitador}} + Q_{\text{Total en el secador a vacío}}$$

$$Q_{\text{Total en el proceso}} = 199,355 \text{ kcal} + 3, 672 \text{ kcal}$$

$$Q_{\text{Total en el proceso}} = 203,27 \text{ Kcal}$$

3.11 DETERMINACIÓN DEL COSTO DE OBTENCIÓN DE REBANADAS DESHIDRATADAS DE PALTA A ESCALA LABORATORIO

Para determinar los costos de producción se toman en cuenta los datos empleados en el balance de materia y los gastos energéticos de los equipos utilizados durante el proceso de obtención de pectina.

3.11.1 Costos de la materia prima y reactivos

En la tabla III-18, se detallan la cantidad de materia prima y reactivos utilizados en el proceso y sus costos respectivos:

Tabla III-18: Costo de materia prima y reactivos

Materia prima e insumos	Cantidad	Unidad	Costo Global (Bs)
Palta	2,000	kg	60
Ácido ascórbico (Sólido)	5,100	kg	178,5
Cloruro de calcio (Sólido)	0,340	kg	15
Glucosa (Sólido)	11,900	kg	238
Sacarosa (Sólido)	11,900	kg	83,3
Total			574,8

Fuente: Elaboración propia, 2018

3.11.2 Costos de energía eléctrica

Para estimar los costos de energía eléctrica se toma como dato referencial 0,60 Bs el costo del Kwh, que es la tarifa de electricidad en Bolivia.

En la tabla III-19, siguiente se detalla la energía eléctrica consumida por los equipos durante el proceso.

Tabla III-19: Costo de Energía eléctrica

Equipos	Potencia (Kw)	Tiempo (h)	Energía (Kwh)	Costo Global (Bs.)
Calentador-agitador magnético	0,64	3,5	2,24	1,344
Secador a vacío	1,4	5	7	4,20
Secador infrarrojo	0,111	0,3	0,368	0,221
Total				5,765

Fuente: Elaboración propia, 2018

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

Referente a los resultados obtenidos del presente proyecto de investigación, se tienen las siguientes conclusiones.

- La palta utilizada para el proceso de obtención es de la variedad Hass (Persea americana millar) producida en el departamento de Tarija provincia Gran Chaco, siendo estas con grado de madurez B. Los parámetros físico-químicos determinados por el C.E.A.N.I.D de la U.A.J.M.S. son: Valor energético: 128,42 kcal/100 g. Proteína total: 1,46 %. Hidratos de carbono: 8,55 %. Grasa: 9,82 %. Fibra: 9,90 %. Cenizas: 1,2% y Humedad: 78,97 %.
- Las variables estudiadas en el proceso de obtención de rebanadas deshidratadas a partir de pulpa de palta (variedad Hass Persea americana Millar) son concentración, temperatura y tiempo. En los ensayos preliminares de obtención se determina que las condiciones óptimas de proceso son concentración de 70 °Brix del agente osmótico, temperatura del proceso de obtención de 40 °C y tiempo de deshidratación de 3:30 horas. A estas condiciones se obtiene rebanadas deshidratadas de palta con una humedad promedio de 23,37 % p/p, rendimiento promedio de 23,356 g p/p y mejor calidad con propiedades organolépticas (olor, color y sabor, etc.), siendo las variables determinantes temperatura y concentración del agente osmótico.
- En la obtención de rebanadas osmodeshidratadas de palta, resulta más adecuado trabajar con concentración 70°Brix, temperatura 40°C y tiempo de 3:30 horas a estos parámetros se obtiene un producto de menor porcentaje de humedad de mejor calidad. Y a los parámetros de 60°Brix, temperatura 50°C y tiempo de 2:30 horas; este parámetro de temperatura afecta las propiedades organolépticas de las rebanadas osmodeshidratadas (olor, sabor, etc.).
- Los parámetros físico-químicos de las rebanadas que se determinan experimentalmente en el Laboratorio de Operaciones Unitarias (L.O.U) de la

U.A.J.M.S. tienen los siguientes resultados: Humedad en el proceso de deshidratación osmótica: 23,37 %. Humedad de secado a vacío 7,4 %. °Brix sólidos solubles en la solución al final del proceso: 68,3 °Brix. Sólidos solubles adheridos en las rebanadas deshidratadas 2,98 °Brix en el C.E.A.N.I.D. de la U.A.J.M.S. Se determina: Valor energético: 428,47 kcal/100g. Proteína total: 3,46 %. Hidratos de carbono: 75,42%. Grasa: 12,55%. Fibra: 12,52 %. Ceniza 1,40 % y Humedad de las rebanadas OSMO-VACÍO es de 7,20%.

- De 40gramos de pulpa de palta al 61,7% de humedad, se obtiene 23,356 gramos de rebanadas osmodeshidratadas de la pulpa de palta, es decir, que de 40 gramos de pulpa de palta se obtiene 23 gramos de palta deshidratada osmóticamente.
- Las rebanadas obtenidas de pulpa de palta en las condiciones óptimas a una concentración, tiempo de proceso y temperatura tiene un porcentaje de humedad definitivo de 23,37 % p/p; este valor está en el rango reportado para frutas deshidratadas.
- Debido al gran tamaño de moléculas promedio del agente osmótico utilizado (sacarosa-glucosa), no hay diferencia entre la pérdida de peso y pérdida de agua para cualquiera de las temperaturas y concentración del agente osmótico utilizado, indicando una ganancia de sólidos casi despreciable.
- La deshidratación osmótica como pre tratamiento antes del secado combinado contribuyó a impedir el deterioro de la estructura y la pérdida de aroma y sabores que se originarían en el producto si se sometiera a altas temperaturas como en el caso del secado a vacío empleado, es un tipo de secador por conducción. La deshidratación osmótica es un proceso eficiente desde el punto de vista energético

4.2 RECOMENDACIONES

- A las autoridades del sector de industrialización de la palta
- Evaluar los resultados obtenidos tanto técnica como económicamente, para estudiar la posibilidad de realizar un mejor aprovechamiento de la palta. Producir subproductos que sean apreciados por sus cualidades y precios, como son las rebanadas osmodeshidratadas obtenidas a partir de palta que por el momento son utilizadas solamente en fresca y debido a la falta de industrialización no se consume todo el año desperdiciando una gran cantidad de nutrientes.
- A futuras investigaciones:
 - Para futuros estudios sobre la deshidratación de palta, se debe estudiar el efecto de la temperatura respecto a la misma, debido a que la palta se degrada a cualquier temperatura mayor a la temperatura ambiente.
 - Uno de los parámetros que tiene mayor influencia en el proceso de obtención es la temperatura, por lo que al no ser estrictamente controlada puede deteriorar el producto.
 - Para futuros estudios también se recomienda, mejorar el proceso de obtención de rebanadas deshidratadas; la deshidratación osmótica no disminuye la actividad acuosa del alimento de manera tal de estabilizarlo totalmente, sino que solo extiende su vida útil. Para ello es necesario aplicar otros procesos posteriores como secado, congelado o liofilizado, entre otros posibles.
 - También la Fundación para Innovación Agraria (FIA) en 1997 en México DF. obtuvo polvo de aguacate, secado por atomización, la que presentó buena estabilidad en relación al color y actividad microbiana; sin embargo, se dejó como recomendación estudiar más acabadamente los tiempos y temperaturas del proceso, ya que el desarrollo de sabores extraños redujo la calidad del producto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. **Cornejo, V. (2010)**.Deshidratación de rebanadas de Palta variedad *Hass* por el método OSMO-VAC (osmótico-vacío) y evaluación de la calidad del producto “TESIS para obtener grado de maestro en ciencias con especialidad en alimentos” [en línea]. Disponible en: <http://www.google.com.bo/search?q=deshidratacion+de+Palta+pdf&oq=deshidracion+d e+Palta&aqs=chrome.1.69i57j0l3.10473j0j4&client=ms-unknown&sourceid=chrome-mobile&ie=UTF-8> [2016,28 de mayo].
- [2]. **“Anacafe” (Asociación Nacional del Café)**, Cultivo de Palta, junio 2004. [En línea]. Disponible en: (<httpportal.anacafe.orgPortalDocumentsDocuments200412335Cultivo%20de%20Palta.pdf>). (2016, 28 de mayo).
- [3]. **Gallegos, P. (2002)** Situación actual de la palta en el mercado nacional y en el mercado de Estados Unidos, Quillota, Chile. [En línea]. Disponible en: (httpwww.avocadosource.compapersChile_Papers_A-ZG-H-IGallegosPaula2002.pdf). [2016, 29 de mayo].
- [4]. **Sánchez, J. (1999)**. Revista Chapingo Serie Horticultura Recursos genéticos de Palta (*Persea americana* mill.) y especies afines en México. [En línea]. Disponible en: (httpwww.avocadosource.comWAC4WAC4_p007.pdf) [2016, 29 de mayo].
- [5]. **ENA (Encuesta Nacional Agropecuaria)**, Bolivia, 2008. [En línea]. Disponible en: (httpwww.ine.gob.bopdfENA2008ENA_II.pdf) [2016, 30 de mayo].
- [6]. **FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), Bolivia, 2012**. [En línea]. Disponible en: (<http://apps.fao.org>) [2016, 30 de mayo].
- [7]. **Vargas, J. (2011)**. Deshidratación solar de Palta. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), México. [En línea]. Disponible en: http://www.oikos.unam.mx/ecotecnias2013/Memorias_files/PE_J.Vargas.pdf [2016,

15 de junio].

[8]. **Sánchez, J.** RECURSOS GENÉRICOS DE AGUACATE (Persia americana Miller) Y ESPECIES AFINES EN MÉXICO. [En línea]. Disponible en: [Httpwww.cofupro.org.mx/cofuprooldarchivo/fondo_sectorialMichoacan23michoacan.pdf](http://www.cofupro.org.mx/cofuprooldarchivo/fondo_sectorialMichoacan23michoacan.pdf) [2016, 9 de junio].

[9]. **Rodríguez, A. y Edgar M. (2008).** SECADO DE UCHUVA (Physalis peruviana L) POR AIRE CALIENTE CON PRETRATAMIENTO DE OSMODESHIDRATACIÓN DRY GOOSEBERRY (Physalis peruviana L) WITH PRETREATMENT OF OSMOTIC DEHYDRATION, 2008. [En línea]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/vitae/v15n2/v15n2a04.pdf>.

[2016, 2 de julio].

[10]. **Doradea, J. (2013).** Evaluación del Rendimiento y Calidad del Aceite Fijo de Pulpa de Aguacate (Persea americana Hass) Obtenido por Presión en Frío en Función del Proceso de Secado “TRABAJO DE GRADUACIÓN” Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería Química.

[11]. **Restrepo A. (2012).** Alternativas para la conservación de aguacate (Persea americana Mill, variedad Hass) en la inhibición del pardeamiento enzimático “para optar el título de Especialista en Alimentación y Nutrición” CORPORACIÓN UNIVERSITARIA LA SALLISTA Facultad de Ingeniería Especialización en Alimentación y Nutrición Caldas.

[12]. **Chávez S. (2010).** Efecto de la potencia y el tiempo de escaldado en horno microondas sobre la actividad de la polifenoloxidasas, características fisicoquímicas y sensoriales del puré refrigerado de palta (Persea americana Millar) variedad Fuerte. “TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL”, UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO; FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS, TRUJILLO – PERÚ.

[13]. **Gallegos, P. (2002).** Situación Actual de la Palta en el Mercado Nacional y en el Mercado de Estados Unidos, “Taller de Licenciatura”, UNIVERSIDAD CATÓLICA

DE VALPARAÍSO FACULTAD DE AGRONOMÍA; QUILLOTA-CHILE.

[14]. **Sánchez, K. (2004)**. Perfil de mercado de la palta. PROGRAMA DE DESARROLLO RURAL SOSTENIBLE. Cajamarca (Perú).

[15]. **CHEFTEL, JEAN-CLAUDE Y CHEFTEL HENRY** “Introducción a la Bioquímica de los alimentos y tecnología de los alimentos” 1^{ra} Edición Editorial Acriba Zaragoza-España (1976). Pag. 219-317.

[16]. **Parzanese, M. ()**. Tecnología para la Industria Alimentaria “DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA de Alimentos Argentinos” [En línea]. Disponible en:<http://www.alimentosargentinos.gob.ar.pdf>. [2016, 2 de diciembre].

[17]. **Rastogi, N. Raghavarao, K. (2004)**. Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple considering Fickian diffusion in cubical configuration, Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie, 37 (1), 43-47

[18]. **Roca, D. (2010)**. Secado de alimentos por métodos combinados: DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA Y SECADO POR MICROONDAS Y AIRE CALIENTE “Tesis de Maestría en TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS” en Universidad Tecnológica Nacional (Facultad Regional Buenos Aires) [En línea].

[19]. **Rodríguez, M.I., (1998)**, Estudio de la penetración de microorganismos en frutas mediante el modelo hidrodinámico, Tesis, Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Central de Venezuela.

[20]. **Rodríguez, M.M., Gori, L.M., Mascheroni, R.H., Pagano, A.M. (2010)**. Modeling of dehydration kinetics of european plum (*Prunus domestica* L.) by combined methods. 17th International Drying Symposium – IDS 2010. Magdeburg, Germany (aceptado).

[21]. **Alzamora, S.M., Salvatori, D., Tapia, M.S., Lopez-Malo, A., Welti-Chanes, J., Fito, P., (2005)**, Novel functional foods from vegetable matrices impregnated with biologically active compounds, Journal of Food Engineering, Vol 67, Issues 1-2, 205-214.

[22]. **Alzamora S. M., Tapia M., Argaiiz A y Welti J., (2000)**, Application of

combined methods technology in minimally processed fruits., Food Research International, 26: 12.

[23]. **Granados, M. (2011)**. “SITUACIÓN Y POTENCIAL EXPORTADOR DE LA PALTA HASS EN LA REGIÓN LAMBAYEQUE”. Extraído de la página web. <http://es.slideshare.net/rojascorporation/palta-hass>

[24]. **Pointing J.D., Watters G.G., Forrey, R.R., Jackson, R., Stanley, W.L., (1966)**, Osmotic dehydration of fruits, Food Technology, 20, 125.

[25]. **Rahman M., Lamb J., (1990)**, Osmotic dehydration of pineapple., Journal of Food Science and Technology, 27, 150-152.

[26]. **Rahman, S. and Perera C., (1996)**, Osmotic dehydration: a pretreatment for fruit and vegetables to improve quality and process efficiency. The Food Technologist, 25: 144-147.

[27]. **Ramallo L., Schvezov C. Y Mascheroni R., (2002)**, Transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de ananá: un modelo matemático sencillo, tesis de maestría, Universidad Nacional de Misiones.

[28]. **Torreggiani D. (1993)**. Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. Food Research International 26: 59-68.

[29]. **Wais, N; Agnelli, M.E and Mascheroni, R.H., (2005)**. Combined osmotic dehydration-microwave drying of fruits: application to apple cubes, 2^a Mercosur Congress on Chemical Engineering, ENPROMER, Brasil.

[30]. **Guzman, r. R., Segura, V.E.,(1991)**, Introducción a la tecnología de alimentos. Bogotá: Unisur. 664p.

[31]. **Baroni A. y Hubinger M.,** Osmotic dehydration of tomatoes in binary and ternary Solutions, Dehydration Processes.

[32]. **Rahman M., Lamb J., (1990)** Osmotic dehydration of pineapple. Journal of Food Science and Technology.

[33]. **El cultivo del aguacate (Persea americana Millar), fruta de extraordinarias propiedades alimenticias, curativas e industriales (primera parte)**
Bol_Insumos_oct_2015

[34]. **Islam M., Flink J., Dehydration of potato II** (1983),. Osmotic concentration and its effect on air drying behaviour. Journal of Food Technology, 17, 387-403.

[35]. **Stephens, T. S., et al, 1957.** The effect of thickening agent in reducing the watery separation of frozen and thawed guacamole products, J. Rio Grande val, Hort. SOC.

[36].**Covarrubias, G.I... 1984,** Comportamiento de la pulpa de aguacate (Persea americana Mill) variedad Hass ante diferentes aditivos y variación de temperatura, Tesis profesional, Universidad Autónoma Chapingo, México.

[37].**Dorantes, A, L. 1978.** Purificación y estudio de algunas características de la Polifenoloxidasa del Aguacate, Tesis de Maestría, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (E. N. C.B.), Instituto Politécnico Nacional (I. P. N.), México.

[38].**FAO. 1990.** III Reunión técnica de la red latinoamericana de agroindustria de frutas Tropicales Federación Nacional de Cafeteros de Colombia.

[39]. **Guerra, A., Vega, J. y Bernal, C. (2009).** ELABORACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS “ACEITE DE PALTA” Universidad Nacional Mayor de San Marcos Perú; Escuela Académica Profesional de Ingeniería Química. En línea.

[40]. **Peralta, L. (2010);** EXPORTACIÓN DE PALTA HASS A HOLANDA, Plan de negocio para la exportación. Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Industrial y de Sistemas; Curso: Comercio Internacional.

[41].https://es.m.wikipedia.org/wiki/Aguacate_Hass

[42]. **Chavez, S. (2010);** EFECTO DE LA POTENCIA Y EL TIEMPO DE ESCALDADO EN HORNO MICROONDAS SOBRE LA ACTIVIDAD DE LA POLIFENOLOXIDASA, CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS Y SENSORIALES DEL PURÉ REFRIGERADO DE PALTA (PERSEA

AMERICANA MILLAR) VAR. FUERTE. Universidad Nacional de Trujillo, Facultad de Ciencias Agropecuarias. TRIJILLO- PERÚ.

[43]. **Camacho, G. (2011).** CONSERVACIÓN DE FRUTAS MEDIANTE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DIRECTA. I.C.T.A. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

[44]. **Bedoya G. (2003),** Arango Vélez L., Márquez Cardozo C, Osmodeshidratación de Mora de Castilla (Rubus Glaucus Benth) con tres agentes edulcorantes www.scielo.org.co

[45]. **Castilho García, C., Mauro, M.A., Kimura, M., (2007),** Kinetics of osmotic dehydration and air-drying of pumpkins (Cucurbita Moschata), Journal of Food Engineering.

[46]. **Avodehy Dehydrated Avocado, Uruapan Michoacán México Paseo Lázaro**

<http://hechoenmexicob2b.com/home/products/view/4307>

[47]. **Villamil Galindo, E.** Ingeniería de alimentos; Secadores al Vacío.

<http://www.telstar->

lifesciences.com/es/tecnologias/sistemas+de+secado/drymega+v+.htm#

ANEXOS

ANEXO 1

INFORME DE ANÁLISIS FÍSICA-QUÍMICO DE LA PALTA (MATERIA PRIMA)



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
 FACULTAD DE "CIENCIAS Y TECNOLOGIA"
 CENTRO DE ANALISIS, INVESTIGACION Y DESARROLLO "CEANID"
 Laboratorio Oficial del Ministerio de Salud y Deportes
 Red de Laboratorios Oficiales de Análisis de Alimentos
 Red Nacional de Laboratorios de Micronutrientes
 Laboratorio Oficial del "SENASAG"



INFORME DE ENSAYO

I. INFORMACIÓN DEL SOLICITANTE

Cliente:	Zulma Lopez Ríos				
Solicitante:	Zulma Lopez Ríos				
Dirección:	Barrio 3 de mayo				
Teléfono/Fax:	74544609	Correo-e:	****	Código:	AL 029/17

II. INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

Descripción de la muestra:	Palta (materia prima)		
Código de muestreo:	*****	Fecha de vencimiento:	*****
Fecha y hora de muestreo:	2017-01-06		
Procedencia (Localidad/Prov/ Dpto)	Tarija - Cercado - Tarija Bolivia		
Lugar de muestreo:	Laboratorio de Operaciones Unitarias		
Responsable de muestreo:	Zulma Lopez Ríos		
Código de la muestra:	090 FQ 056	Fecha de recepción de la muestra:	2017-03-06
Cantidad recibida:	1250 g	Fecha de ejecución de ensayo:	De 2017-03-06 al 2017-03-17

III. RESULTADOS

PARÁMETRO	TECNICA y/o MÉTODO DE ENSAYO	UNIDAD	RESULTADO	LIMITES PERMISIBLES		REFERENCIA DE LOS LIMITES
				Min.	Max.	
Ceniza	NB 39034:10	%	1,20	Sin Referencia	Sin Referencia	Sin Referencia
Fibra	Gravimétrico	%	9,90	Sin Referencia	Sin Referencia	Sin Referencia
Grasa	NB 313019:06	%	9,82	Sin Referencia	Sin Referencia	Sin Referencia
Hidratos de Carbono	NB 313010:05	%	8,55	Sin Referencia	Sin Referencia	Sin Referencia
Humedad	Cálculo	%	78,97	Sin Referencia	Sin Referencia	Sin Referencia
Proteína total (Nx6,25)	NB/ISO 8968-1:08	%	1,46	Sin Referencia	Sin Referencia	Sin Referencia
Valor energetico	Cálculo	Kcal/100 g	128,42	Sin Referencia	Sin Referencia	Sin Referencia

NB: Norma Boliviana
 % : Porcentaje

Kcal: Kilocalorias
 ISO: Organización Internacional de Normalización

- 1) Los resultados reportados se remiten a la muestra ensayada en el Laboratorio
- 2) El presente informe solo puede ser reproducido en forma parcial y/o total, con la autorización del CEANID
- 3) Los datos de la muestra y el muestreo, fueron suministrados por el cliente

Tarija, 17 de marzo de 2017


 Ing. Agalid Aceituno Cáceres
 JEFE DEL CEANID



Original: Cliente
 Copia: CEANID

ANEXO 2

**INFORME DE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO
DE LAS REBANADAS
OSMODESHIDRATADAS DE PALTA**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE "CIENCIAS Y TECNOLOGÍA"
CENTRO DE ANÁLISIS, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO "CEANID"
Laboratorio Oficial del Ministerio de Salud y Deportes
Red de Laboratorios Oficiales de Análisis de Alimentos
Red Nacional de Laboratorios de Micronutrientes
Laboratorio Oficial del "SENASAG"



INFORME DE ENSAYO

I. INFORMACIÓN DEL SOLICITANTE

Cliente:	Zulma Lopez Ríos				
Solicitante:	Zulma Lopez Ríos				
Dirección:	Barrio 3 de mayo				
Teléfono/Fax:	74544609	Correo-e:	****	Código:	AL 029/17

II. INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

Descripción de la muestra:	Rebanadas osmodeshidratadas de palta		
Código de muestreo:	*****	Fecha de vencimiento:	*****
Fecha y hora de muestreo:	2017-01-15		
Procedencia (Localidad/Prov/ Dpto)	Tarija - Cercado - Tarija Bolivia		
Lugar de muestreo:	Laboratorio de Operaciones Unitarias		
Responsable de muestreo:	Zulma Lopez Ríos		
Código de la muestra:	089 FQ 055	Fecha de recepción de la muestra:	2017-03-06
Cantidad recibida:	190 g	Fecha de ejecución de ensayo:	De 2017-03-06 al 2017-03-17

III. RESULTADOS

PARÁMETRO	TECNICA y/o MÉTODO DE ENSAYO	UNIDAD	RESULTADO	LIMITES PERMISIBLES		REFERENCIA DE LOS LIMITES
				Min.	Max.	
Ceniza	NB 39034:10	%	1,40	Sin Referencia	Sin Referencia	Sin Referencia
Fibra	Gravimétrico	%	12,52	Sin Referencia	Sin Referencia	Sin Referencia
Grasa	NB 313019:06	%	12,55	Sin Referencia	Sin Referencia	Sin Referencia
Hidratos de Carbono	NB 313010:05	%	75,42	Sin Referencia	Sin Referencia	Sin Referencia
Humedad	Cálculo	%	7,20	Sin Referencia	Sin Referencia	Sin Referencia
Proteína total (Nx6,25)	NB/ISO 8968-1:08	%	3,46	Sin Referencia	Sin Referencia	Sin Referencia
Valor energetico	Cálculo	Kcal/100 g	428,47	Sin Referencia	Sin Referencia	Sin Referencia

NB: Norma Boliviana
%: Porcentaje

Kcal: Kilocalorias
ISO: Organización Internacional de Normalización

- 1) Los resultados reportados se remiten a la muestra ensayada en el Laboratorio
- 2) El presente informe solo puede ser reproducido en forma parcial y/o total, con la autorización del CEANID
- 3) Los datos de la muestra y el muestreo, fueron suministrados por el cliente

Tarija, 17 de marzo de 2017

Ing. Adalid Aceituno Caceres
JEFE DEL CEANID



Original: Cliente
Copia: CEANID

ANEXO 3

CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD DE LAS REBANADAS OSMODESHIDRATADAS DE PALTA (VARIEDAD HASS) OBTENIDA EN FORMA EXPERIMENTAL

Tabla 3.1
Porcentaje de humedad de las rebanadas osmodeshidratadas de palta (variedad hass) obtenida en forma experimental de cada ensayo para el diseño experimental 2³

N° DE EXPERIMENTOS	FACTORES			RESPUESTA I	RESPUESTA II
	Concentración agente osmótico (%)	Tiempo de obtención (hr)	Temperatura (°C)	Humedad (Y %)	Humedad (Y%)
1	60	2:30	40	23.71	23.57
2	70	2:30	40	25.53	22.91
3	60	2:30	50	25.67	23.62
4	70	2:30	50	26.92	22.41
5	60	3:30	40	24.46	23.08
6	70	3:30	40	24.76	21.97
7	60	3:30	50	25.66	22.56
8	70	3:30	50	26.46	21.52

Fuente: Elaboración propia, 2018

ANEXO 4

DISEÑO FACTORIAL

ANEXO 4.1

3.7.1 RESULTADOS DEL DISEÑO FACTORIAL

Con los datos obtenidos para cada ensayo dado por el diseño de experimentos, se realiza el análisis de varianza, obteniéndose la ecuación que modela la humedad y el rendimiento en función de las variables de proceso estudiadas.

3.7.1.1 INFLUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN, TEMPERATURA Y TIEMPO EN LA DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DE REBANADAS DESHIDRATADAS

Se realiza el análisis de varianza (ANOVA) para los resultados experimentales mostrados en la tabla III-15; para ello se toma en cuenta todos los efectos que se muestran en la tabla III-14. La nomenclatura utilizada se describe en la tabla III-14.

Tabla N° III-14:

Nomenclatura utilizada en el análisis estadístico

Variables	Descripción	Tipo de Efecto
A	Concentración	Efecto principal
B	Temperatura	Efecto principal
C	Tiempo	Efecto principal
AB	Concentración-temperatura	Interacción
AC	Concentración-tiempo	Interacción
BC	Temperatura- tiempo	Interacción
ABC	Concentración - temperatura- tiempo	Interacción

Fuente: Elaboración propia, 2018

Tabla III-15:

Porcentaje de humedad de las rebanadas osmodeshidratadas de palta del diseño experimental en el proceso de obtención

Experi mento	Combinación de Tratamientos	Concen tración (%)	Temperatura de la solución (°C)	Tiempo (horas)	Variables Respuesta Y	Replicas		Total	Simbolo gía
						I	II		
1	A bajo, B bajo, C bajo	-1	-1	-1	y ₁	23.71	23.57	47.28	(1)
2	A alto, B bajo, C bajo	+1	-1	-1	y ₂	25.53	22.91	48.44	a
3	A bajo, B alto, C bajo	-1	+1	-1	y ₃	25.67	23.62	49.29	b
4	A alto, B alto, C bajo	+1	+1	-1	y ₄	26.92	22.41	49.33	ab
5	A bajo, B bajo, C alto	-1	-1	+1	y ₅	24.46	23.08	47.54	c
6	A alto, B bajo, C alto	+1	-1	+1	y ₆	27.76	21.97	49.73	ac
7	A bajo, B alto, C alto	-1	+1	+1	y ₇	25.66	22.56	48.22	bc
8	A alto, B alto, C alto	+1	+1	+1	y ₈	26.46	21.52	47.98	abc

Fuente: Elaboración propia, 2018

El análisis de la varianza reparte la variabilidad de la respuesta porcentaje de humedad en segmentos separados para cada uno de los efectos, luego prueba la significancia estadística de cada efecto por comparación de la media cuadrada contra una estimación del error experimental. Los efectos principales de Tiempo (A), Temperatura (B), Concentración (C) y los efectos combinados Tiempo-temperatura (AB), Tiempo- concentración (AC), Temperatura- concentración (BC) y Tiempo-temperatura- concentración (ABC) no son significativos.

3.7.2 METODOLOGÍA DEL DISEÑO EXPERIMENTAL (2³)

Según Ramírez, E. (2010), para realizar el análisis del diseño experimental el desarrollo del trabajo de investigación, consta de los siguientes pasos:

1. Planteamiento de hipótesis

Hp: no hay diferencia entre los factores.

Ha: si hay diferencia entre los factores.

2. Nivel de significación: 0.05 (95%)

3. Prueba de significación: “Fisher”

4. Suposiciones:

Los datos siguen una distribución normal (-N).

Los datos son extraídos de un muestreo al azar.

5. Criterios de aceptación o rechazo.

Se acepta Hp si $F_{cal} \leq F_{tab}$

Se acepta Hp si $F_{cal} \geq F_{tab}$

6. Construcción del cuadro ANVA

Para la construcción del cuadro de ANVA, se tomó en cuenta las siguientes expresiones matemáticas.

Donde:

$$a = 2$$

$$b = 2$$

$$c = 2$$

$$r = 2$$

En base a los resultados de la suma de cuadrados, se procede a construir la tabla de ANVA

Tabla III-16: ANVA para el diseño factorial 2³

Fuente de variación (FV)	Suma de cuadrados S(SC)	Grados de libertad (GL)	Cuadrados medios (CM)	Fisher calculado (Fcal.)	Fisher tabulado (Ftab.)
Total	SC(T)	(abcr-1)			
Efecto A (Tiempo)	SC(A)	(a-1)	$\frac{SC(A)}{(a-1)}$	$\frac{CM(A)}{CM(E)}$	$\frac{V1 - GLsc(A)}{V2 GLsc(E)}$
Efecto B (Temperatura)	SC(B)	(b-1)	$\frac{SC(B)}{(b-1)}$	$\frac{CM(B)}{CM(E)}$	$\frac{V1 - GLsc(B)}{V2 GLsc(E)}$
Efecto C (Concentración)	SC©	(c-1)	$\frac{SC(C)}{(c-1)}$	$\frac{CM(C)}{CM(E)}$	$\frac{V1 - GLsc(C)}{V2 GLsc(E)}$
Interacción AB (Tiempo-temperatura)	SC(AB)	(a-1)*(b-1)	$\frac{SC(AB)}{(a-1) * (b-1)}$	$\frac{CM(AB)}{CM(E)}$	$\frac{V1 - GLsc(AB)}{V2 GLsc(E)}$
Interacción AC (Tiempo-concentración)	SC(AC)	(a-1)*(c-1)	$\frac{SC(AC)}{(a-1) * (c-1)}$	$\frac{CM(AC)}{CM(E)}$	$\frac{V1 - GLsc(AC)}{V2 GLsc(E)}$
Interacción BC (Temperatura-concentración)	SC(BC)	(b-1)*(c-1)	$\frac{SC(BC)}{(b-1) * (c-1)}$	$\frac{CM(BC)}{CM(E)}$	$\frac{V1 - GLsc(BC)}{V2 GLsc(E)}$
Interacción ABC (Tiempo-temperatura-concentración)	SC(ABC)	(a-1)*(b-1)*(c-1)	$\frac{SC(ABC)}{(a-1) * (b-1) * (c-1)}$	$\frac{CM(ABC)}{CM(E)}$	$\frac{V1 - GLsc(ABC)}{V2 GLsc(E)}$
Error	SC€	abc*(r-1)	$\frac{SC(E)}{abc * (r-1)}$		

Fuente: Ramírez, E. 2010.

Tomando en cuenta las ecuaciones del diseño experimental según Ramírez,(2010) se tiene:

Para la estimación de los efectos promedios de los factores principales e interacciones se utilizara el método detallado

Efecto de la concentración (A):

$$A = \frac{1}{4n}[a + ab + ac + abc - (1) - b - c - bc]$$

$$A = \frac{1}{4 \cdot 2}[48.44 + 49.33 + 49.73 + 47.98 - 47.28 - 49.29 - 47.54 - 48.22]$$

$$A = 0.394$$

Efecto de la temperatura (B):

$$B = \frac{1}{4n}[b + ab + bc + abc - (1) - a - ac - c]$$

$$B = \frac{1}{4 \cdot 2}[49.29 + 49.33 + 48.22 + 47.98 - 47.28 - 48.44 - 49.73 - 47.54]$$

$$B = 0.228$$

Efecto del tiempo(A):

$$C = \frac{1}{4n}[c + ac + bc + abc - (1) - a - b - ab]$$

$$C = \frac{1}{4 \cdot 2}[47.54 + 49.73 + 48.22 + 47.98 - 47.28 - 48.44 - 49.29 - 49.33]$$

$$C = -0.109$$

Efecto Concentración-temperatura (AB):

$$AB = \frac{1}{4n}[abc - bc + ab - b - ac + c - a + (1)]$$

$$AB = \frac{1}{4 \cdot 2}[47.28 - 48.22 + 49.33 - 49.29 - 49.73 + 47.54 - 48.44 + 47.28]$$

$$AB = -0.531$$

Efecto Concentración- tiempo y (AC):

$$AC = \frac{1}{4n}[(1) - a + b - ab - c + ac - bc + abc]$$

$$AC = \frac{1}{4 \cdot 2}[47.28 - 48.44 + 49.29 - 49.33 - 47.54 + 49.73 - 48.22 + 47.98]$$

AC = 0.094

Efecto Temperatura-tiempo (BC):

$$BC = \frac{1}{4n}[(1) + a - b - ab - c - ac + bc + abc]$$

$$BC = \frac{1}{4 \cdot 2}[47.28 + 48.44 - 49.29 - 49.33 - 47.54 - 49.73 + 48.22 + 47.98]$$

BC = -0.496

Efecto Concentración-temperatura-tiempo, (ABC):

$$ABC = \frac{1}{4n}[abc - bc - ac + c - ab + b + a - (1)]$$

$$ABC = \frac{1}{4 \cdot 2}[47.98 - 48.22 - 49.73 + 47.54 - 49.33 + 49.29 + 48.44 - 47.28]$$

ABC = -0.164

Encontrando los contrastes para los efectos principales e interacciones

Ya que los contrastes son el resultado de lo que se encuentra entre paréntesis de los efectos; se tiene:

$$\text{Contraste}_A = a + ab + ac + abc - (1) - b - c - bc$$

$$\text{Contraste}_A = 48.44 + 49.33 + 49.73 + 47.98 - 47.28 - 49.29 - 47.54 - 48.22$$

Contraste_A = 3.15

$$\text{Contraste}_B = b + ab + bc + abc - (1) - a - c - ac$$

$$\text{Contraste}_B = 49.29 + 49.33 + 48.22 + 47.98 - 47.28 - 48.44 - 47.54 - 49.73$$

Contraste_B = 1.83

$$\text{Contraste}_C = c + ac + bc + abc - (1) - a - b - ab$$

Contraste $C = 47.54 + 49.73 + 48.22 + 47.98 - 47.28 - 48.44 - 49.29 - 49.33$

Contraste $C = -0.87$

Contraste $AB = abc - bc + ab - b - ac + c - a + (1)$

Contraste $AB = 47.98 - 48.22 + 49.33 - 49.29 - 49.73 + 47.54 - 48.44 + 47.28$

Contraste $AB = -3.55$

Contraste $AC = (1) - a + b - ab - c + ac - bc + abc$

Contraste $AC = 47.28 - 48.44 + 49.29 - 49.33 - 47.54 + 49.73 - 48.22 + 47.28$

Contraste $AC = 0.75$

Contraste $BC = (1) + a - b - ab - c - ac + bc + abc$

Contraste $BC = 47.28 + 48.44 - 49.29 - 49.33 - 47.54 - 49.73 + 48.22 + 47.98$

Contraste $BC = -3.97$

Contraste $ABC = abc - bc + ab - b - ac + c - a + (1)$

Contraste $ABC = 47.98 - 48.22 + 49.33 - 49.29 - 49.73 + 47.54 - 48.44 + 47.28$

Contraste $ABC = -3.55$

Calculando la suma de cuadrados de los contrastes:

La suma de cuadrados del factor A:

$$SS(A) = \frac{\sum_{i=1}^a Y_{2i}^2}{n} - \frac{(y_{..})^2}{abcr}$$

$$SS(A) = \frac{(\text{Contraste A})^2}{8n} = \frac{(3.15)^2}{8*2}$$

SS (A) = 0.620

La suma de cuadrados del factor B:

$$SS(B) = \frac{\sum_{i=1}^b Y_{2i}^2}{n} - \frac{(y_{..})^2}{abcr}$$

$$SS(B) = \frac{(\text{Contraste B})^2}{8n} = \frac{(1.83)^2}{8*2}$$

$$SS (B) = 0.209$$

La suma de cuadrados del factor C:

$$SS (C) = \frac{\sum_{i=1}^c Y2i}{n} - \frac{(y..)^2}{abcr}$$

$$SS (C) = \frac{(\text{Contraste C})^2}{8n} = \frac{(-0.87)^2}{8*2}$$

$$SS (C) = 0.047$$

La suma de cuadrados de la interacción de los factores AB:

$$SS (AB) = \frac{\sum_{i=1}^{ab} Y2i}{n} - \frac{(y..)^2}{abcr}$$

$$SS (AB) = \frac{(\text{Contraste AB})^2}{8n} = \frac{(-3.55)^2}{8*2}$$

$$SS (AB) = 0.787$$

La suma de cuadrados de la interacción de los factores AC:

$$SS (AC) = \frac{\sum_{i=1}^{ac} Y2i}{n} - \frac{(y..)^2}{abcr}$$

$$SS (AC) = \frac{(\text{Contraste AC})^2}{8n} = \frac{(0.75)^2}{8*2}$$

$$SS (AC) = 0.035$$

La suma de cuadrados de la interacción de los factores BC:

$$SS (BC) = \frac{\sum_{i=1}^{bc} Y2i}{n} - \frac{(y..)^2}{abcr}$$

$$SS (BC) = \frac{(\text{Contraste BC})^2}{8n} = \frac{(-3.97)^2}{8*2}$$

$$SS (BC) = 0.985$$

La suma de cuadrados de la interacción de los factores ABC:

$$SS (ABC) = \frac{\sum_{i=1}^{abc} Y2i}{n} - \frac{(y..)^2}{abcr}$$

$$SS (ABC) = \frac{(\text{Contraste ABC})^2}{8n} = \frac{(-3.55)^2}{8*2}$$

$$SS (ABC) = 0.787$$

La suma de cuadrados del total de los factores T:

$$SS (T) = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 \sum_{l=1}^2 Y_{ijkl}^2 - \frac{T^2}{8n}$$

$$SS (T) = (23.71)^2 + (25.53)^2 + (25.67)^2 + (26.92)^2 + (24.46)^2 + (27.76)^2 + (25.66)^2 + (26.46)^2 + (23.57)^2 + (22.91)^2 + (23.62)^2 + (22.41)^2 + (23.08)^2 + (21.97)^2 + (22.56)^2 + (21.52)^2 - \frac{(387.81)^2}{8 \cdot 2}$$

$$SS (T) = 9453.014 - 9399.787$$

$$SS (T) = 53.227$$

La suma de cuadrados del error de los factores E:

$$SS (E) = SS (T) - SS (A) - SS (B) - SS (C) - SS (AB) - SS (AC) - SS (BC) - SS (ABC)$$

$$SS (E) = 53.227 - 0.6202 - 0.2093 - 0.0473 - 0.7876 - 0.0352 - 0.9850 - 0.7876$$

$$SS (E) = 49.7548$$

En base a los resultados de la suma de cuadrados, se procede a construir la tabla.

El cuadro de ANVA para el diseño factorial 2^3 , se muestra la tabla de análisis de varianza (ANVA) de la prueba estadística de Fisher (F).

Nivel de significación: 0.05 (95%)

Tabla III-17:

Análisis de varianza del diseño experimental 2^3 en el proceso de obtención de rebanadas deshidratadas de pulpa de palta (*Persea americana Hass*) para un nivel de significancia del 5%

Fuente de variación (FV)	Suma de cuadrados (SC)	Grados de libertad (GL)	Cuadrados medios (CM)	Fisher calculado (Fcal.)	Fisher tabulado (Ftab.)
Total	53.227	16-1=15			
Concentración	0.6202	2-1 = 1	0.6202	0.0997	5.318
Temperatura	0.2093	2-1 = 1	0.2093	0.0336	5.318
Tiempo	0.0473	2-1 = 1	0.0473	0.0076	5.318
Concentración-temperatura	0.7876	2-1 = 1	0.7876	0.1266	5.318
Concentración-Tiempo	0.0352	2-1 = 1	0.0352	0.0056	5.318
Temperatura-Tiempo	0.9850	2-1 = 1	0.9850	0.1583	5.318
Concentración-temperatura-Tiempo	0.7876	2-1 = 1	0.7876	0.1266	5.318
Error	49.7548	$2^3=8$			

Fuente: Elaboración propia, 2018

Nivel de significación: 0.05 (95%)

Los tres efectos principales son significativos (Fcal.) pero el tiempo es más significativo que la temperatura y está más significativa que la concentración.