



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



**“EFECTO DE LA LIOFILIZACIÓN CON ENCAPSULANTES SOBRE
EL COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DE LA PULPA DE MANGO
(*Mangifera Indica L.*) DE VARIEDAD EDWARD”**

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

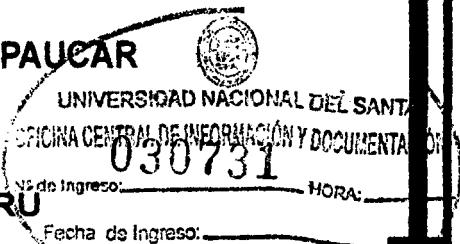
TESISTAS:

**Bach. GAMBOA ALARCÓN, PEDRO WILFREDO
Bach. SUYÓN MARTINEZ, JUAN ALBERTO**

ASESOR:

Dr. GILBERT NILO RODRIGUEZ PAUCAR

**NUEVO CHIMBOTE - PERU
2015**





UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



"Año de la Diversificación Productiva y del Fortalecimiento de la Educación"

HOJA DE CONFORMIDAD DE ASESOR

El presente trabajo de tesis titulado:

"EFECTO DE LA LIOFILIZACIÓN CON ENCAPSULANTES SOBRE EL COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DE LA PULPA DE MANGO (*Mangifera Indica L.*) DE VARIEDAD EDWARD."

Ha contado con el asesoramiento respectivo, de quien dejó constancia de su aprobación.

Por tal motivo, firmo el presente trabajo en calidad de **ASESOR**, designado por Resolución N° 703-2014-UNS-FI

.....
Dr. Gilbert Rodríguez Paucar

Asesor



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



"Año de la Diversificación Productiva y del Fortalecimiento de la Educación"

HOJA DE CONFORMIDAD DEL JURADO

TITULO:

"EFECTO DE LA LIOFILIZACIÓN CON ENCAPSULANTES SOBRE EL COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DE LA PULPA DE MANGO (*Mangifera Indica L.*) DE VARIEDAD EDWARD."

TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL

Revisado y aprobado por el jurado evaluador, designado mediante
Resolución N° 415-2015-UNS-CFI

.....
M.Sc. Víctor Castro Zavaleta
Presidente

.....
Ms. Williams Castillo Martínez

Secretario

.....
Dr. Gilbert Rodríguez Paucar

Integrante

DEDICATORIA

A mis padres,

***Alejandro y Dorina por su cariño,
confianza y apoyo incondicional en
todas las decisiones que tome en mi
formación profesional.***

***A mi hermano Luis , que me
encamino y me enseñó la
importancia de estudiar y
trazarme metas sin rendirme.***

***A Dios , por guiarme en
Mi caminar y por permitir que
yo pueda superar los obstáculos
en mi vida y con fe seguir adelante.***

Juan Suyón M.

*A mis padres,
Teodora y Rufino por su apoyo
Incondicional durante toda
mi vida universitaria*

*A mis Tios Guillermo e Isabel
Por sus consejos, que me enseñaron
a seguir un camino y hombre de bien*

*A mis hermanas Edwin y
Luz por su apoyo moral durante
los cinco años de estudio*

Pedro Gamboa A.

AGRADECIMIENTOS

A todos los profesores de mi escuela por las enseñanzas y consejos que me dieron en su momento cuando albergaba dudas y buscaba respuestas.

Al Ing. Gilbert Rodríguez Paucar, por su orientación en la elaboración del presente informe de tesis.

A los Ing. Lenin Palacios y Ing. Jhon Gonzales, por habernos apoyado durante el tiempo que duro nuestra investigación

Un sincero agradecimiento a Silvia Huamani (Biblioteca Especializada), por brindarnos de su tiempo en la búsqueda de información

A todos mis amigos de la Escuela de Ingeniería Agroindustrial, en especial a la Promoción 2007, que siempre está ahí de alguna manera alentando a seguir adelante y brindándome su apoyo.

ABSTRACT

This research is intended to determine the effect of lyophilization with encapsulants on the rheological behavior in mango pulp (*Mangifera indica L.*) Variety Edward. The methodology consists of three stages. The first stage involves the construction of flow curves in pulp samples fresh mango pulp samples are lyophilized and reconstituted handle (incorporating the extracted moisture content) at different concentrations of encapsulants (MD-2% 0% GA, 1.5 % MD-GA 0.5%, 1% -1% GA MD, MD-0.5% 1.5% 0% GA and MD-2% GA). These curves rheological flow model best correlates for the rheological parameters (flow behavior index, consistency index and apparent viscosity) on this way to determine by rheograms apparent viscosity rheological behavior of each of the samples. Digital Rheometer R / S Plus Model BROOKFIELD R / S-CC Reo3000 used with the software, the shear rate was programmed from 0 to 300 s⁻¹ with a running time of four minutes per each sample. The second stage involves the construction of rheograms (viscosity vs. shear rate) for each of the concentrations before and after encapsulating the lyophilized and compare if this process affects their rheological parameters. The third stage involves ANOVA statistical analysis of these rheological parameters before and after lyophilization.

For pulp samples of fresh mango and pulp samples and reconstituted lyophilized handle different concentrations of encapsulating a non-Newtonian pseudoplastic behavior was obtained, being the model and Berk Mizarhi which best correlates for all samples. Also, you can see a decrease in viscosity values and consistency index after treatment Lyophilization experienced by lyophilized and reconstituted samples. Statistical analysis could confirm that there are significant differences for viscosity (before and after treatment lyophilization) as well as their concentrations (mixtures) and their interactions.

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo determinar el efecto de la liofilización con encapsulantes sobre el comportamiento reológico de la pulpa de mango (*Mangifera indica L.*) variedad Edward. La metodología consiste en tres etapas. La primera etapa consiste en la construcción de curvas de fluidez en muestras de pulpa de mango fresca y muestras de pulpa de mango liofilizada y reconstituida (incorporación del contenido de humedad extraído) a diferentes concentraciones de encapsulantes (2%MD-0%GA, 1.5%MD-0.5%GA, 1%MD-1%GA, 0.5%MD-1.5%GA y 0%MD-2%GA). Estas curvas de fluidez se ajustan al modelo reológico que mejor se correlacione para obtener los parámetros reológicos (índice de comportamiento al flujo, índice de consistencia y viscosidad aparente) y así poder determinar mediante reogramas de viscosidad aparente el comportamiento reológico de cada una de las muestras. Se utilizó el Reómetro Digital R/S Plus Modelo BROOKFIELD R/S-CC con el software Reo3000, el ritmo cortante se programó de 0 a 300 s^{-1} con un tiempo de ejecución de 4 minutos por cada muestra. La segunda etapa consiste en la construcción de reogramas (viscosidad vs ritmo cortante) para cada una de las concentraciones de encapsulantes para antes y después del liofilizado y comparar si este proceso incide en sus parámetros reológicos. La tercera etapa consiste en el análisis estadístico ANVA de estos parámetros reológicos para antes y después de la liofilización.

Para las muestras de pulpa de mango fresca y muestras de pulpa de mango liofilizada y reconstituida a diferentes concentraciones de encapsulantes se obtuvo un comportamiento no newtoniano del tipo pseudoplástico, siendo el modelo de Mizarhi y Berk el que mejor se correlaciona para todas las muestras. Así también se puede visualizar una disminución de los valores de viscosidad e Índice de Consistencia después del tratamiento de Liofilización. Para el análisis estadístico se pudo corroborar que existe diferencia significativa para la viscosidad (antes y después del tratamiento de liofilización), así como en sus concentraciones (mezclas) y sus interacciones.

INDICE GENERAL

I	INTRODUCCION.....	1
II	MARCO TEORICO.....	3
	2.1. MANGO.....	3
	2.1.1. Definición.....	3
	2.1.2. Composición Nutricional del Mango.....	6
	2.1.3. Variedades.....	7
	2.1.4. Estacionalidad.....	7
	2.1.5. Pulpa de Mango.....	8
	2.2. LIOFILIZACION.....	9
	2.2.1. Definición.....	9
	2.2.2. Etapas de la Liofilización.....	10
	a. Congelación.....	12
	b. Secado Primario.....	14
	c. Secado Secundario.....	15
	2.3. AGENTES ENCAPSULANTES.....	16
	2.3.1. Maltodextrina.....	17
	2.3.2. Goma Arábica.....	18
	2.4. VISCOSIDAD.....	19
	2.4.1. Definición.....	19
	2.4.2. Tipos de Viscosidad.....	20
	a. Viscosidad Absoluta.....	20
	b. Viscosidad Aparente.....	21
	c. Viscosidad Cinemática.....	21
	2.4.3. Variables que afectan la Viscosidad.....	21
	a. Temperatura.....	21
	b. Presión.....	23
	c. Concentración.....	23
	d. Velocidad de Deformación y Cizalla.....	24

2.5. REOLOGIA DE FLUIDOS ALIMENTARIOS.....	24
2.5.1. Fluidos Independientes del Tiempo.....	25
2.5.1.1.Fluidos Newtonianos.....	25
2.5.1.2.Fluidos No Newtonianos.....	26
2.5.2. Fluidos Dependientes del Tiempo.....	27
2.5.2.1.Fluido Tixotrópico.....	27
2.5.2.2. Fluido Reopéctico.....	28
2.6. MODELOS DE AJUSTE PARA FLUIDOS NO NEWTONIANOS.....	29
2.6.1. Modelo de Ostwald – Waele.....	29
2.6.2. Modelo de Herschel – bulkley.....	30
2.6.3. Modelo de Bingham.....	30
2.6.4. Modelo de Casson.....	31
2.6.5. Modelo de Sisko.....	31
2.6.6. Modelo de Mizahri Berk.....	32
III MATERIALES Y METODOS.....	33
3.1. LUGAR DE EJECUCION.....	33
3.2. MATERIALES Y EQUIPOS.....	33
3.2.1. Materia Prima.....	33
3.2.2. Materiales.....	34
3.2.3. Reactivos.....	34
3.2.4. Equipos y Herramientas.....	35
3.3. METODOS.....	36
3.3.1. Análisis Fisicoquímico.....	36
3.3.1.1. Determinación de humedad.....	36
3.3.1.2. Determinación de acidez	36
3.3.1.3. Determinación del contenido de Vitamina C.....	36
3.3.1.4. Determinación de pH.....	37
3.3.1.5. Determinación de solidos solubles.....	37
3.3.1.6. Determinación de solidos totales.....	37
3.3.1.7. Determinación de Fibra.....	37
3.4. DESCRIPCION DEL PROCESO.....	37

3.4.1. Acondicionamiento de la Materia Prima.....	37
3.4.2. Acondicionamiento de las Muestras.....	40
3.4.3. Evaluación Reológica antes del tratamiento.....	41
3.4.4. Liofilización de las Muestras.....	43
3.4.5. Reconstitución de las Muestras.....	45
3.4.6. Evaluación Reológica después del tratamiento.....	45
3.4.7. Análisis de comportamiento reológico.....	45
3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	47
3.6. DISEÑO ESTADISTICO.....	48
IV RESULTADOS Y DISCUSION.....	50
4.1. Caracterización Fisicoquímica de la Pulpa de Mango.....	50
4.2. Determinación del Comportamiento Reologico de la Pulpa de Mango Fresca.....	51
4.2.1. Comportamiento Reológico de la pulpa de mango independiente del tiempo.....	51
4.2.1.1.Determinación del modelo reológico de la Pulpa de Mango Variedad Edward	51
4.2.1.2.Comportamiento Reológico de la pulpa de mango Edward ajustado al Modelo Mizrahi – Berk.....	52
4.2.2. Comportamiento Reológico de la pulpa de mango dependiente del tiempo.....	55
4.3. Determinación del Comportamiento Reologico de la Pulpa de Mango Liofilizadas y Reconstituidas.....	56
4.3.1. Comportamiento Reológico de la pulpa de mango liofilizadas y reconstituidas independiente del tiempo.....	56
4.3.1.1. Determinación modelo Reológico de la pulpa de mango Edward liofilizadas y reconstituidas.....	56
4.3.1.2. Comportamiento Reológico de la pulpa de mango Edward liofilizada y reconstituida ajustado al Modelo Mizrahi – Berk.....	57

4.3.2.	Comportamiento Reológico de la pulpa de mango liofilizadas y reconstituidas dependiente del tiempo.....	59
4.4.	Comparación del comportamiento Reológico de la pulpa de mango fresca y pulpa de mango liofilizada y reconstituida.....	60
4.4.1.	Comparación del comportamiento Reológico de la pulpa de mango fresca y pulpa de mango liofilizada y reconstituida independiente del tiempo.....	60
4.4.2.	Comparación del comportamiento Reológico de la pulpa de mango fresca y pulpa de mango liofilizada y reconstituida dependiente del tiempo.....	63
4.5.	Comportamiento Reológico de la Pulpa de Mango con encapsulantes... 65	
4.5.1.	Influencia de los encapsulantes en la pulpa de mango variedad Edward.....	65
4.5.2.	Determinación del modelo Reológico de la pulpa de mango Edward con encapsulantes.....	66
4.5.3.	Comportamiento Reológico de las mezclas de pulpa de mango Edward con encapsulantes ajustados al Modelo Mizrahi – Berk... 68	
4.6.	Perfiles de Temperatura durante la Liofilización de la Pulpa de Mango con Encapsulantes.....	74
4.6.1.	Perfil de temperatura de la liofilización de la pulpa de mango variedad Edward (Testigo).....	74
4.6.2.	Perfil de temperatura de la liofilización de la pulpa de mango variedad Edward (2%Maltodextrina).....	75
4.6.3.	Perfil de temperatura de la liofilización de la pulpa de mango variedad Edward (1.5%Maltodextrina-0.5%Goma Arábiga).....	76
4.6.4.	Perfil de temperatura de la liofilización de la pulpa de mango variedad Edward (1%Maltodextrina-1%Goma Arábiga).....	77
4.6.5.	Perfil de temperatura de la liofilización de la pulpa de mango variedad Edward (0.5%Maltodextrina-1.5%Goma Arábiga).....	78

4.6.6. Perfil de temperatura de la liofilización de la pulpa de mango variedad Edward (2%Goma Arábica).....	79
4.7. Comportamiento Reológico de la Pulpa de Mango con Encapsulantes...	80
4.7.1. Determinación del modelo Reológico de la pulpa de mango Edward con encapsulantes liofilizada y reconstituida.....	80
4.7.2. Determinación del modelo Reológico de las mezclas de pulpa de mango Edward con encapsulantes liofilizadas y reconstituidas ajustados al Modelo Mizrahi – Berk.....	82
4.8. Comportamiento Reológico de la Pulpa de Mango con Encapsulantes Liofilizada y Reconstituidas.....	87
V CONCLUSIONES.....	91
VI RECOMENDACIONES.....	93
VII REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	94
VIII ANEXOS.....	99

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Flores del Mango.....	5
Figura 2: Morfología del mango.....	5
Figura 3: Transferencia de Calor y de Masa en el secado por Congelación.....	10
Figura 4: Etapas del proceso de Liofilización.....	11
Figura 5: Esquema de secado por sublimación en el que se muestran las resistencias a los distintos mecanismos de transferencia de calor.....	12
Figura 6: Visión esquemática de los procesos de congelación de una sustancia pura (agua) y de un alimento (a dos velocidades congelación).....	14
Figura 7: Diagrama temperatura-concentración del agua y una solución acuosa en el que se muestran los pasos del proceso de liofilización (escala parcial).....	15
Figura 8: Historia térmica de un proceso de liofilización.....	16
Figura 9: Estructura de la Maltodextrina.....	18
Figura 10: Fluido newtoniano que fluye entre una placa fija y una placa móvil (F = fuerza actuando sobre la placa, v = velocidad del fluido en movimiento).....	19
Figura 11: Curva de fluidez para representar la viscosidad dinámica y aparente...20	
Figura 12: Representación de un fluido Newtoniano.....	25
Figura 13: Curvas características para un fluido Newtoniano.....	25
Figura 14: Viscosidad aparente.....	26
Figura 15: Ciclo de histéresis mostradas por los fluidos tixotrópicos y reopécticos.....	28
Figura 16: Mango Variedad Edward.....	33
Figura 17: Reómetro Digital R/S Plus Modelo BROOKFIELD R/S-CC.....	35
Figura 18: Liofilizador, Marca Labconco FreeZone 6.....	36
Figura 19: Selección de la Materia Prima.....	37

Figura 20: Escaldado de la Materia Prima.....	38
Figura 21: Pelado de la Materia Prima.....	39
Figura 22: Pulpeado de la Materia Prima	39
Figura 23: Tamizado de la Materia Prima.....	40
Figura 24: Acondicionamiento de las mezclas	41
Figura 25: Evaluación reológica de la pulpa de mango.....	41
Figura 26: Termorregulador de Baño María.....	42
Figura 27: Spin CC-25.....	42
Figura 28: Bandejas con pulpa de mango para liofilizar.....	43
Figura 29: Software Data logger.....	44
Figura 30: Sensores de Temperatura Data Trace.....	44
Figura 31: Diagrama de Flujo Experimental.....	47
Figura 32: Opciones de Regresión No Lineal.....	121

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación científica del mango.....	4
Tabla 2: Composición Nutricional del Mango.....	6
Tabla 3: Estacionalidad de Abastecimiento en el Mercado Mundial.....	8
Tabla 4: Tipos de Coberturas utilizadas en Micro encapsulación.....	17
Tabla 5: Valores de coeficiente de consistencia (m), índice de comportamiento al flujo (n) y esfuerzo inicial (τ_0) para algunos alimentos.....	30
Tabla 6: Acondicionamiento de las mezclas.....	40
Tabla 7: Parámetros para la liofilización de la pulpa de mango con Encapsulantes.....	44
Tabla 8: Tabla de experimento Factorial DCA.....	48
Tabla 9: Tabla ANVA para evaluar el efecto sobre los parámetros reológicos....	49
Tabla 10: Análisis Físicoquímicos de la Pulpa mango variedad Edward.....	50
Tabla 11: Parámetros estadísticos del ajuste de los datos obtenidos de la pulpa de mango a los modelos reológicos.....	51
Tabla 12: Parámetros reológicos de la pulpa de mango Edward ajustados al modelo Mizrahi – Berk.....	53
Tabla 13: Parámetros estadísticos del ajuste de los datos obtenidos de la pulpa de mango liofilizadas y reconstituidas a los modelos reológicos.....	57
Tabla 14: Parámetros reológicos de la pulpa de mango Edward liofilizada y reconstituida ajustados al modelo Mizrahi – Berk.....	58
Tabla 15: Análisis físicoquímico de la pulpa de mango con encapsulantes.....	65

Tabla 16: Parámetros estadísticos del ajuste de los datos obtenidos de la pulpa de mango con encapsulantes a los modelos reológicos.....	68
Tabla 17: Parámetros reológicos de las mezclas de pulpa de mango Edward con encapsulantes ajustados al modelo Mizrahi – Berk.....	70
Tabla 18: Parámetros estadísticos del ajuste a los datos obtenidos de las mezclas de pulpa de mango con encapsulantes liofilizadas y reconstituidas a los modelos reológicos.....	82
Tabla 19: Parámetros reológicos de las mezclas de pulpa de mango Edward con encapsulantes liofilizadas y reconstituidas ajustados al modelo Mizrahi – Berk.....	84
Tabla 20: Datos de los valores obtenidos para Viscosidad para la pulpa de mango fresca (antes de liofilizar) y la pulpa Liofilizada y rehidratada a una temperatura de 30°C y a 1 atm de Presión.....	99
Tabla 21: Análisis de Varianza para los datos obtenidos de la Viscosidad para la pulpa de mango fresca (antes de liofilizar) y la pulpa Liofilizada y rehidratada a una temperatura de 30°C y a atm de Presión.....	99
Tabla 22: Promedio de las formulaciones para la Viscosidad.....	101
Tabla 23: Tabla de Comparación con el valor crítico de Tuckey para la Viscosidad.....	102
Tabla 24: Mezclas que no difieren significativamente para la viscosidad.....	102
Tabla 25: : Datos de los valores obtenidos para el Índice de Consistencia para la pulpa de mango fresca (antes de liofilizar) y la pulpa Liofilizada y rehidratada.....	103
Tabla 26: Análisis de Varianza para los datos obtenidos del Índice de Consistencia para la pulpa de mango fresca (antes de liofilizar) y la pulpa Liofilizada y rehidratada.....	103

Tabla 27: Promedio de las formulaciones para el Índice de Consistencia.....	107
Tabla 28: Tabla de Comparación con el valor critico de Tuckey para el Índice de Consistencia.....	106
Tabla 29: : Datos de los valores obtenidos para el Índice de Comportamiento al flujo para la pulpa de mango fresca (antes de liofilizar) y la pulpa Liofilizada y rehidratada.....	107
Tabla 30: Análisis de Varianza para los datos obtenidos del Índice de Comportamiento al Flujo para la pulpa de mango fresca (antes de liofilizar) y la pulpa Liofilizada y rehidratada.....	107
Tabla 31: Promedio de las formulaciones para el Índice de comportamiento al Flujo.....	109
Tabla 32: Tabla de Comparación con el valor critico de Tuckey para el Índice de Consistencia.....	110
Tabla 33: Mezclas que difieren significativamente para el Índice de comportamiento al flujo.....	110
Tabla 34: Valores de L1 y L2 para la determinación de la Vitamina C.....	112
Tabla 35: Valores de L1 y L2 de la muestra de pulpa de mango para la determinación de la Vitamina C.....	113
Tabla 36: Concentración de Encapsulantes de las muestras.....	115
Tabla 37: Pesos de las muestras liofilizadas.....	118
Tabla 38: Datos de la pulpa de mango obtenidos del Reómetro Digital R/S Plus Modelo BROOKFIELD R/S-CC mediante el software Rheo3000.....	119
Tabla 39: Datos de esfuerzo cortante y ritmo cortante de las muestras de pulpa de mango Edward.....	120

Tabla 40: Datos ajustados al modelo reológico Mizrahi – Berk.....	122
Tabla 41: Viscosidad aparente de la pulpa de mango Edward.....	123
Tabla 42: Datos de la pulpa de mango liofilizada y reconstituida obtenidos del Reómetro Digital R/S Plus Modelo BROOKFIELD R/S-CC mediante el software Rheo3000.....	123
Tabla 43: Datos de esfuerzo cortante y ritmo cortante de las muestras de pulpa de mango Edward.....	124
Tabla 44: Datos ajustados al modelo reológico Mizrahi – Berk.....	125
Tabla 45: Viscosidad aparente de la pulpa de mango Edward.....	126
Tabla 46: Datos de la pulpa de mango con encapsulantes obtenidos del Reómetro Digital R/S Plus Modelo BROOKFIELD R/S-CC mediante el software Rheo3000.....	127
Tabla 47: Datos ajustados al modelo reológico Mizrahi – Berk.....	128
Tabla 48: Viscosidad aparente de la pulpa de mango Edward.....	128
Tabla 49: Datos de la pulpa de mango con encapsulantes obtenidos del Reómetro Digital R/S Plus Modelo BROOKFIELD R/S-CC mediante el software Rheo3000.....	129
Tabla 50: Datos ajustados al modelo reológico Mizrahi – Berk.....	130
Tabla 51: Viscosidad aparente de la pulpa de mango Edward.....	131

INDICE DE GRAFICOS

Grafico 1: Curva de fluidez (ritmo cortante vs esfuerzo cortante) de la pulpa de mango Edward.....	51
Grafico 2: Comportamiento reológico de la pulpa de mango independiente del tiempo.....	54
Grafico 3: Reograma de Viscosidad de la pulpa de mango Edward dependiente del tiempo.....	55
Grafico 4: Curva de fluidez (ritmo cortante vs esfuerzo cortante) de la pulpa de mango Edward.....	56
Grafico 5: Comportamiento reológico de la pulpa de mango liofilizada y reconstituida independiente del tiempo.....	58
Grafico 6: Reograma de Viscosidad de la pulpa de mango Edward liofilizada y reconstituida dependiente del tiempo.....	59
Grafico 7: Índice de Consistencia de las muestras de pulpa de mango fresca y pulpa de mango liofilizada y reconstituida.....	60
Grafico 8: Índice de Comportamiento al flujo de las muestras de pulpa de mango fresca y pulpa de mango liofilizada y reconstituida.....	61
Grafico 9: Viscosidad aparente de las muestras de pulpa de mango fresca y pulpa de mango liofilizada y reconstituida.....	62
Grafico 10: Comportamiento reológico de la pulpa de mango fresca y pulpa de mango liofilizada y reconstituida independiente del tiempo.....	62
Grafico 11: Comportamiento reológico de la pulpa de mango fresca y pulpa de mango liofilizada y reconstituida dependiente del tiempo.....	64
Grafico 12: Curva de fluidez (ritmo cortante vs esfuerzo cortante) de las mezclas de pulpa de mango con encapsulantes.....	67
Grafico 13: Curva de fluidez (ritmo cortante vs esfuerzo cortante) de las mezclas de pulpa de mango con encapsulantes ajustadas al Modelo Mizrahi - Berk.....	69
Grafico 14: Valores de Índice de Consistencia K_M de las mezclas de pulpa de mango con encapsulantes.....	70

Grafico 15: Valores de Índice de Comportamiento al flujo n de las mezclas de pulpa de mango con encapsulantes.....	71
Grafico 16: Valores de Viscosidad aparente de las mezclas de pulpa de mango con encapsulantes.....	71
Grafico 17: Comportamiento reológico de las mezclas de pulpa de mango con encapsulantes.....	73
Grafico 18: Perfil de temperaturas de la Pulpa de Mango liofilizada(Testigo).....	74
Grafico 19: Perfil de temperaturas de la liofilización de la Pulpa de Mango con 2 % de Maltodextrina.....	75
Grafico 20: Perfil de temperaturas de la liofilización de la Pulpa de Mango con 1.5 % de Maltodextrina y 0.5% de Goma Arábiga.	76
Grafico 21: Perfil de temperaturas de la liofilización de la Pulpa de Mango con 1% de Maltodextrina y 1% de Goma Arábiga.....	77
Grafico 22: Perfil de temperaturas de la liofilización de la Pulpa de Mango con 0.5% de Maltodextrina y 1.5% de Goma Arábiga.....	78
Grafico 23: Perfil de temperaturas de la liofilización de la Pulpa de Mango con 0.0% de Maltodextrina y 2.0% de Goma Arábiga.....	79
Grafico 24: Curva de fluidez (ritmo cortante vs esfuerzo cortante) de las mezclas liofilizadas y reconstituidas de pulpa de mango con encapsulantes.....	81
Grafico 25: Curva de fluidez (ritmo cortante vs esfuerzo cortante) de las mezclas de pulpa de mango con encapsulantes ajustadas al Modelo Mizrahi - Berk.....	83
Grafico 26: Valores de Índice de Consistencia K_M de las mezclas de pulpa de mango con encapsulantes liofilizadas y reconstituidas.....	84
Grafico 27: Valores de Índice de Comportamiento al flujo n de las mezclas de pulpa de mango con encapsulantes liofilizadas y reconstituidas.....	85
Grafico 28: Valores de Viscosidad aparente de las mezclas de pulpa de mango con encapsulantes liofilizadas y reconstituidas.....	86

Grafico 29: Comportamiento reológico de las mezclas de pulpa de mango con encapsulantes liofilizadas y reconstituidas.	86
Grafico 30: Índice de Consistencia de las mezclas de pulpa de mango fresca con encapsulantes y mezclas de pulpa de mango con encapsulantes liofilizada y reconstituida.....	88
Grafico 31: Índice de Comportamiento al flujo de las muestras de pulpa de mango con encapsulantes y pulpa de mango con encapsulantes liofilizada y reconstituida.....	88
Grafico 32: Viscosidad aparente de las muestras de pulpa de mango con encapsulantes y pulpa de mango con encapsulantes liofilizada y reconstituida.....	89
Grafico 33: Reograma de viscosidad de las mezclas de pulpa de mango con encapsulantes y mezclas de pulpa de mango liofilizada y reconstituida.	90
Grafico 34: Curva de calibración vitamina C.....	112

I INTRODUCCION

El mango es una fruta muy versátil que puede consumirse en sus diferentes etapas de maduración, además el milenar esfuerzo de los cultivadores nos ha legado una gran variedad de mangos que deleitan nuestro paladar con sus diferentes características. Los mangos son considerados como una fruta rica en nutrientes, su contenido nutricional cambia según la variedad de mango y su grado de madurez. Son una buena fuente de beta-carotenos (que nuestro cuerpo puede utilizar para sintetizar vitamina A, aportan cantidades importantes de vitamina C, también son una buena fuente de potasio, de magnesio y de fibra.

Los mangos pueden disfrutarse como fruta, en ensaladas, en licuados, jugos y aguas, para preparar salsas, encurtidos (mango verde), deshidratado y de múltiples formas. La deshidratación es el método industrial más confiable para conservar un alimento.

Los alimentos liofilizados son secos, luminosos, porosos y generalmente logran retener la forma y textura del producto original al ser reconstituidos. Así mismo, una vez envasados pueden ser almacenados durante poco más de un año y conservar la mayoría de las características físicas, químicas y organolépticas del producto en estado original.

Alguna formulación involucrada en el proceso de liofilización deriva a partir del recubrimiento total de un componente activo en una envoltura o capsula, lo cual confiere distinta capacidad fisicoquímica al compararse con dicho componente en su forma original.

El secado de pulpas de fruta, al igual que el de otros productos con alto contenido de azúcares, presenta dificultades técnicas debido a su alta higroscopicidad y termo plasticidad a condiciones de altas temperaturas y humedad. Por esta razón, se ha innovado en la utilización de sustancias como maltodextrina, gomas, pectinas, silicato de calcio y carboximetilcelulosa como vehículo para favorecer el secado durante la producción de polvos de fruta.

Por otro lado, el estudio de las características reológicas de un producto alimenticio es de suma importancia en la actualidad. Este además de contribuir al conocimiento de la estructura del producto analizado, permite a la agroindustria controlar los procesos involucrados en la elaboración de alimentos, la frecuentemente medidas reológicas sobre las materias primas y flujos en procesos, enfocados en la aceptación del producto por parte del consumidor. Así mismo presta una valiosa ayuda en el diseño de maquinaria requerida, al precisar el tipo de tolvas, tuberías, bombas entre otros, que más se adecuan a las características del producto utilizado.

Atraídos por una creciente demanda por productos frutícolas procesados y magníficos precios, muchos manufactureros y distribuidores se están especializando en el proceso y comercialización de estos productos, al mismo tiempo que se obtienen unos altos estándares de productividad con calidad de exportación

II MARCO TEORICO

2.1. MANGO

2.1.1. Definición

El mango es el fruto de la planta del mismo nombre, pertenece a la familia de las Anacardiaceas, la cual contiene unas 430 especies, de las que varias son frutales de importancia comercial (Coello *et al.*, 1997)

El mango es una especie tropical arbórea de hojas perennes, que puede alcanzar entre 10 o 40m de altura; de tronco generalmente recto, con ramas altas y largas que le dan una forma globulosa a la copa del árbol (los arboles injertados son generalmente más pequeños). Las hojas son de forma lanceolada de unos 25 cm. De largo, de color verde oscuro y consistencia algo coriácea, con un periodo corto. En cuanto a sus raíces estas son profundas (entre 6 y 8 m y lateralmente hasta 10 m del tallo) lo que le da una gran resistencia a la sequía y tolerancia a las sales (Minaya, 1999).

La clasificación que se presenta a continuación proviene de Bompard (1993) citado por Galán (2009, p. 26), donde clasifican al mango en sub-géneros de acuerdo a la siguiente tabla.

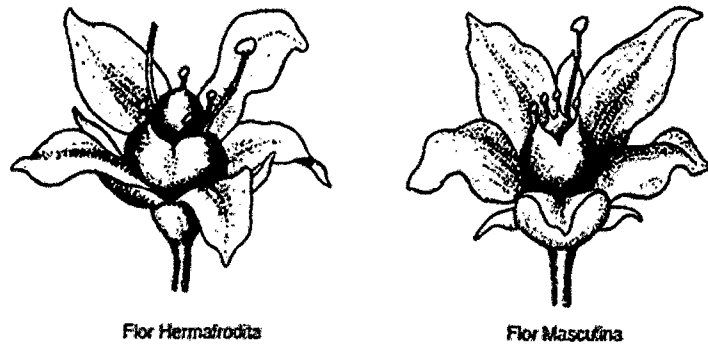
Tabla 1: Clasificación científica del mango

División	Angiospermaea
Clase	Dicotiledónea
Sub-clase	Archyclamydeae
Orden	Sapindales
Sub-orden	Anacardineae
Familia	Anacardiaceae
Tribu	Anacardieae
Genero	<i>Mangifera</i>
Sub-género	<i>Limus</i> (Marchand) Kost.
Sub-género	<i>Mangifera</i> (Marchand) Kost.
Sección	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Marchandora</i> Pierre - <i>Euantherae</i> Pierre - <i>Rawa</i> Kost - <i>Mangifera</i> Din Hou
Especie	<i>Mangifera Indica</i> L.

Fuente: (Bompard, 1993)

Este presenta varias brotaciones durante el año, de las que se generan yemas. Por lo general, de las yemas terminales de las ramillas se forman inflorescencias. La inflorescencia es una panícula terminal ramificada, donde se desarrollan numerosas flores masculinas y hermafroditas (**ver figura 1**). Ambos tipos de flores poseen 4-5 sépalos pequeños y verdes y 5 pétalos pequeños de color variable con tonos rojos, verdes o amarillos. Las flores poseen normalmente un estambre funcional y 4 estaminoides. El ovario en las flores hermafroditas es supero, globoso y brillante, de color amarillo, siendo el estilo curvado hacia arriba, liso y con un solo estigma La inflorescencia puede tener hasta 8000 flores. (Coello et al., 1997)

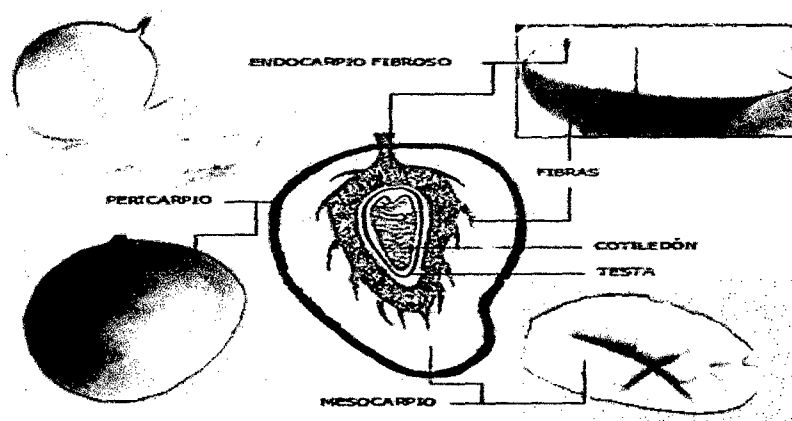
Figura 1: Flores del Mango



Fuente: (Coello et al., 1997)

El fruto del árbol es una drupa de variadas formas de acuerdo con el cultivo, que contiene un carozo duro. La pulpa (que es la parte comestible) puede ser firme o acuosa, con o sin fibras, de color amarillo o anaranjado y de sabor variable. Las variedades mejoradas presentan fibras más cortas en el carozo. La cascara del fruto es de un grosor variable. El peso del fruto a la madurez varía desde 100 g hasta 2 Kg por unidad (Minaya, 1999). La morfología del mango, según Torres, 2007 se presenta en la figura N°2.

Figura 2: Morfología del mango



Fuente: (Torres, 2007)

2.1.2. Composición Nutricional del Mango

El valor alimenticio del mango, en general, es muy apreciado (Galán, 1999). El mango es una fruta rico en calcio, magnesio, potasio y fosforo, vitamina C y algunas proteínas (Minaya, 1999), tal como se aprecia en la Tabla N°2.

Tabla 2: Composición Nutricional del Mango

<i>Nombre del Alimento</i>	<i>Mango P.C.</i>
Energía <ENERC> kcal	60
Energía <ENERC> Kj	251
Agua <WATER> g	83.0
Proteínas <PROCNT> g	0.4
Grasa total <FAT> g	0.2
Carbohidratos totales <CHOCDF> g	15.9
Carbohidratos disponibles <CHOAVL> g	14.1
Fibra cruda g	1.0
Fibra dietaria <FIBTG> g	1.8
Cenizas <ASH> g	0.5
Calcio <CA> mg	17
Fósforo <P> mg	15
Zinc <ZN> mg	0.04
Hierro <FE> mg	0.40
Retinol µg	159.00
Vitamina A equivalentes totales <VITA> µg	38.0
Tiamina <THIA> mg	0.03
Riboflavina <RIBF> mg	0.11
Niacina <NIA> mg	0.39
Vitamina C <VITC> mg	24.80

Fuente: (Tablas Peruanas de Composición de Alimentos, 2009)

2.1.3. Variedades

En el Perú se cultivan dos tipos de mangos: las plantas francas (no injertadas y poliembriónicas) y las variedades mejoradas (injertadas y monoembriónicas). En los primeros tenemos: el "Criollo de Chulucanas", el "Chato de Ica", el "Rosado de Ica", etc. Los frutos de estas plantas por sus características de color amarillo, tamaño, fibrosidad de la pulpa y agradable sabor, vienen siendo utilizados últimamente para la elaboración de Pulpa y jugos Concentrados, los cuales son exportados al mercado europeo principalmente. (Minaya, 1999).

Entre las segundas encontramos, principalmente a las variedades rojas: Haden, Kent, Tommy Atkins y Edward; traídas de Florida, Estados Unidos y son preferidas por los principales importadores y son exportadas en estado fresco (Minaya, 1999).

2.1.4. Estacionalidad

El 87% de la cosecha nacional se realiza entre los meses de Noviembre y Febrero. La producción para exportación se lleva a cabo desde la segunda quincena de Noviembre hasta fines de Marzo. Las variedades criollas aparecen en los mercados internos desde mediados de octubre hasta comienzos de mayo. El Perú es uno de los pocos países que produce de Noviembre a Marzo, siendo sus principales competidores en el mercado internacional: Brasil, Sudáfrica y Ecuador como se puede apreciar en la Tabla N°3 (Minaya, 1999).

Tabla 3: Estacionalidad de Abastecimiento en el Mercado Mundial

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
País												
Sudáfrica												
Ecuador												
Perú												
México												
Costa de Marfil												
India												
Filipinas												
Pakistán												
Venezuela												
Israel												

Fuente: (Minaya, 1999)

2.1.5. Pulpa de Mango

La pulpa de mango se obtiene al separar la pulpa, o parte carnosa del fruto, de la semilla y la cáscara. Las variedades de mango más recomendables para el procesamiento son: la Criolla, y Haden. En los procesos Industriales se siguen los siguientes pasos: Recepción y selección. Lavado Escaldado Pelado y troceado Despulpado Tratamiento térmico, Envasado y Enfriamiento

2.2. LIOFILIZACION

2.2.1. Definición

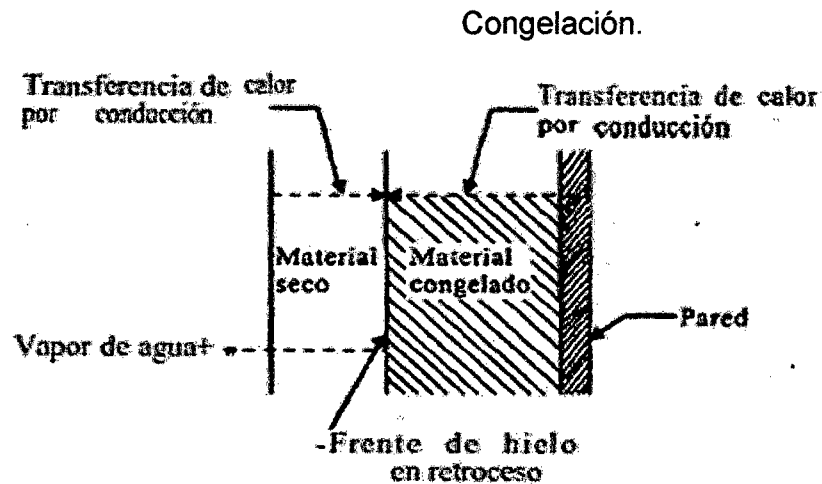
La liofilización es un proceso de secado mediante sublimación. Se ha desarrollado con el fin de reducir las pérdidas de los compuestos responsables del sabor y el aroma en los alimentos, los cuales se pierden durante los procesos convencionales de secado. El proceso de liofilización consta principalmente de dos pasos; el primero consiste en congelar el producto y el segundo paso el producto es secado por sublimación directa del hielo bajo presión reducida (Orrego, 2008).

En este proceso, el material a secarse es congelado y el vapor de agua eliminado por sublimación. La temperatura debe ser mantenida lo suficientemente baja para evitar derretir los cristales de hielo presentes, por lo que la aplicación de calor de sublimación debe ser cuidadosamente controlada. Como la presión del vapor del hielo es considerablemente menor que la presión atmosférica, la liofilización requiere un alto vacío en la cámara de secado. Si el agua presente en el material estuviera en estado de pureza, entonces teóricamente sería posible liofilizar productos a, o cerca de 0 °C a una presión de 4.6 mmHg. abs. (4600 micras). Sin embargo, el agua usualmente existe en forma de solución, una mezcla eutéctica, o en estado de combinación con otros elementos. Por eso es necesario enfriar el producto a temperatura bajo 0 °C para mantener el agua en la fase sólida. Es importante anotar que el calor de sublimación es menor a menor temperatura del hielo. (Barreto, 1966).

En la figura N°3, se ilustra la liofilización de un material. El calor transferido desde la fase gaseosa por conducción, convección o radiación, llega a la superficie seca y se transfiere por conducción hasta la capa congelada. En algunos casos, el calor también pasa a través del material congelado para llegar al plano de sublimación. El tiempo total de secado debe ser lo suficientemente largo como para que el contenido final de humedad sea inferior al 5% en peso, y evitar así la degradación del producto final durante su

almacenamiento. La temperaturas máximas que se alcanzan en alimentos secos y productos congelados deben ser bastante bajas para mantener la degradación a un mínimo (Geankoplis, 1998).

Figura 3: Transferencia de Calor y de Masa en el secado por



Fuente: (Geankoplis, 1998)

2.2.2. Etapas de la Liofilización

En la liofilización se distinguen tres fases o etapas que se esquematizan en la figura 4. Las tres fases que se distinguen son:

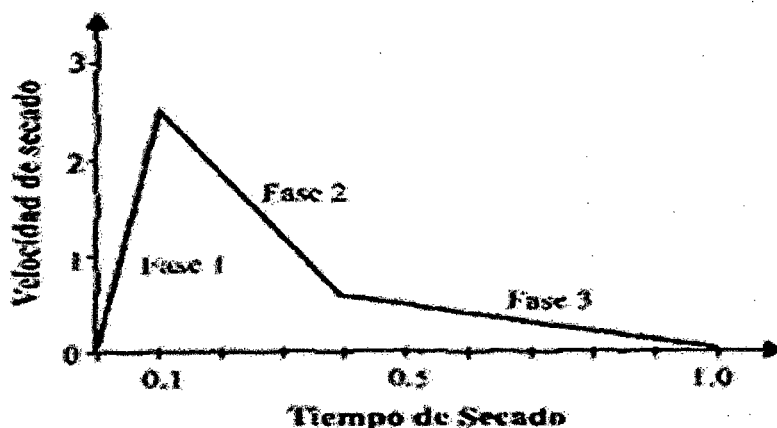
Fase 1: Llamada etapa conductiva. Inicialmente, por el calentamiento de la muestra, la velocidad de sublimación crece rápidamente hasta llegar a un máximo. El tiempo para agotar esta fase es relativamente corto, entre un 10 y 15% del tiempo total del proceso.

Fase 2: Primera etapa difusiva. Muestra un descenso importante de la velocidad de sublimación debido a la formación de una capa porosa de material seco que opone resistencia creciente al flujo de calor y al vapor a medida que procede el secado.

Las fases 1 y 2 se denominan secado primario; en ellas se lleva a cabo la mayor parte de remoción de agua del producto (entre un 75-90 %).

Fase 3: Segunda etapa difusiva, llamada también secado secundario. La velocidad de sublimación continúa decreciendo de forma que se aproxima a cero. Esto debido a que el calor necesario para retirar el agua ligada es más alto que el calor de sublimación. Puesto que la difusividad de los aromas disminuye sensiblemente cuando la humedad es pequeña, es posible en esta etapa incrementar la temperatura de la calefacción y del producto hasta valores del orden de 50°C, dependiendo del material que se trate. (Orrego, 2008)

Figura 4: Etapas del proceso de Liofilización

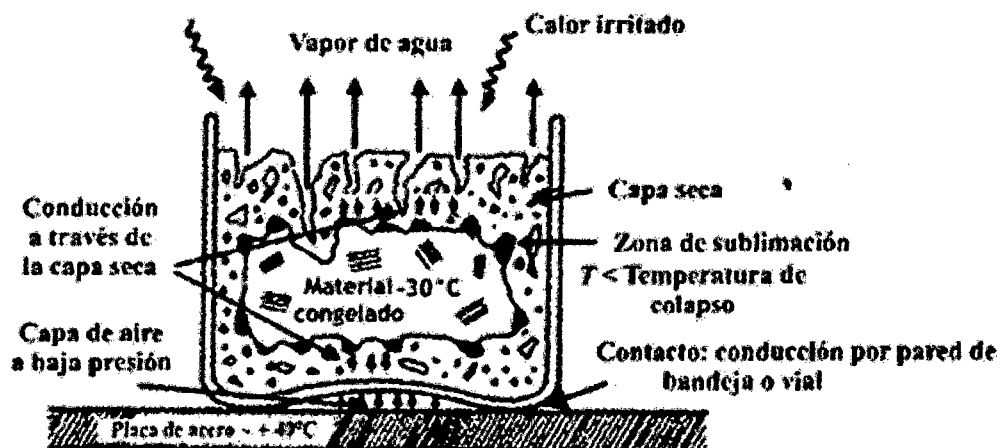


Fuente: (Orrego, 2008).

La curva de velocidad de sublimación de la figura N°4 indica sólo la transferencia de masa. Como en todo proceso de secado, coexisten los fenómenos de transferencia de masa y calor, la curva de transferencia de calor en función del tiempo se obtiene multiplicando la cantidad de agua sublimada por su correspondiente calor de sublimación o desorción. (Orrego, 2008)

En la transferencia de calor y masa se combinan la acción de la temperatura y los gradientes de presión como fuerzas impulsoras, que deben vencer las resistencias puestas por el espesor de la muestra y sus características físicas. El espesor es importante: mientras éste es más delgado, hay menor resistencia para que el flujo de calor y masa pase a través de la muestra. La transferencia de calor se hace por conducción, convección gaseosa y radiación (o una combinación de ambos mecanismos) siendo esta última la preponderante cuando se opera a muy baja presión. (Orrego, 2008)

Figura 5: Esquema de secado por sublimación en el que se muestran las resistencias a los distintos mecanismos de transferencia de



Fuente: (Orrego, 2008)

a. Congelación

Como en el caso de sustancias puras, en este proceso primero se verifica la eliminación del calor sensible por enfriamiento y luego se retira el calor latente durante la congelación, que es la porción energética más considerable; pueden presentarse otros efectos térmicos como el calor de disolución de sales, aunque casi siempre son

muy pequeños. En los alimentos frescos debe eliminarse también el calor generado por la respiración metabólica. Seguidamente se elimina el calor latente de congelación, lo que provoca la formación de cristales de hielo; también se retira el calor latente de otros componentes de los alimentos, como el de las grasas (Orrego, 2008).

Las curvas entalpía-temperatura-composición para la congelación de alimentos demuestran que el proceso no se verifica a temperatura precisa (Orrego, 2008).

Las curvas entalpía-temperatura-composición para la congelación de alimentos demuestran que el proceso no se verifica a temperatura precisa (Orrego, 2003).

El proceso de congelación se discrimina en tres etapas:

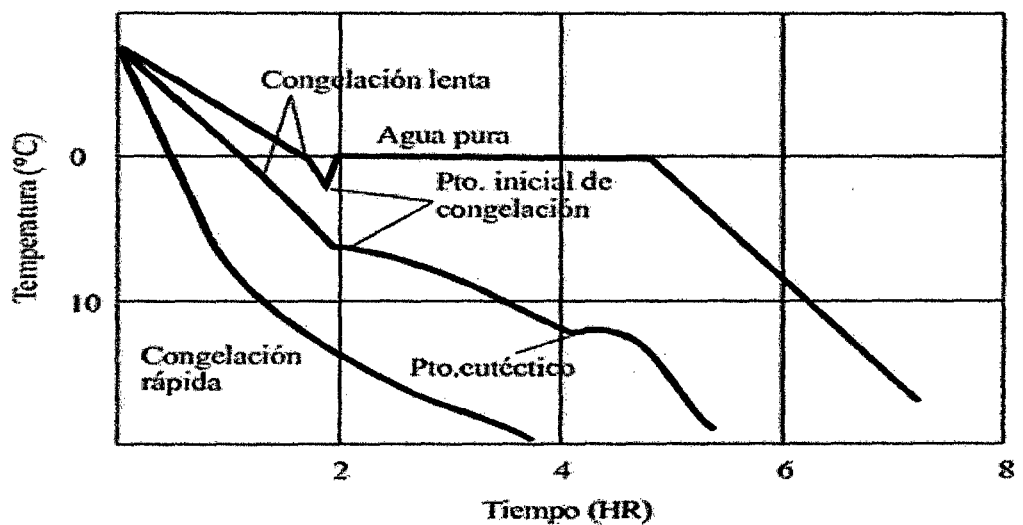
Pre-congelación, que es el período desde el comienzo del enfriamiento hasta que comienza a cristalizarse el agua.

Congelación, que es el período durante el cual la temperatura del material es más o menos constante (cambio de fase) si la sustancia es pura. Antes de iniciar la congelación puede existir un ligero subenfriamiento seguido de un incremento de temperatura hasta el punto de fusión o congelación del material. En la figura N° 6 se aprecia en la línea superior el caso del agua.

Para el caso de un alimento, que como una aproximación puede considerarse como una solución acuosa, la temperatura en la que comienzan a aparecer los primeros cristales de hielo está siempre por debajo de la del punto de fusión del agua. Se puede presentar un subenfriamiento como en el primer caso pero el cambio de fase se hace con temperatura variable, cristalizando inicialmente solo agua pura hasta un punto en el que se comienzan a formar los cristales del "soluto" (o del alimento o solución concentrada), lo que nuevamente causa un pequeño salto en la temperatura conocido como punto

eutéctico, seguido por una "meseta" de congelación (se ha dibujado horizontal pero generalmente es curva) que finaliza en un punto generalmente difícil de determinar, en donde se considera que el producto está completamente congelado (Orrego, 2008).

Figura 6: Visión esquemática de los procesos de congelación de una sustancia pura (agua) y de un alimento (a dos velocidades de congelación).



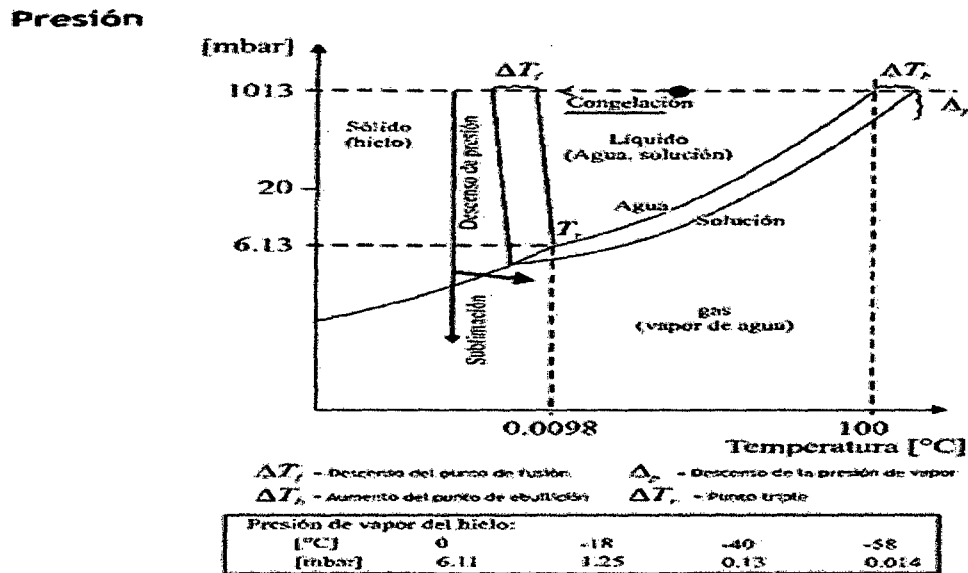
Fuente: (Orrego, 2008)

b. Secado Primario

En el secado primario el hielo se retira de la muestra mediante sublimación desde la fase sólida a la gaseosa. Mientras se disponga de un sistema que constantemente retire este vapor, el proceso de secado por sublimación continuará hasta que se agote el hielo presente. Este papel lo cumple en un liofilizador el condensador (o mejor desublimador), elemento del equipo que ofrece una superficie suficientemente fría como para que el vapor de agua pase nuevamente a la fase sólida. La fuerza impulsora que mantiene la sublimación es el

gradiente de presión de vapor entre la superficie congelada del producto y el condensador (Orrego, 2008).

Figura 7: Diagrama temperatura-concentración del agua y una solución acuosa en el que se muestran los pasos del proceso de liofilización (escala parcial).



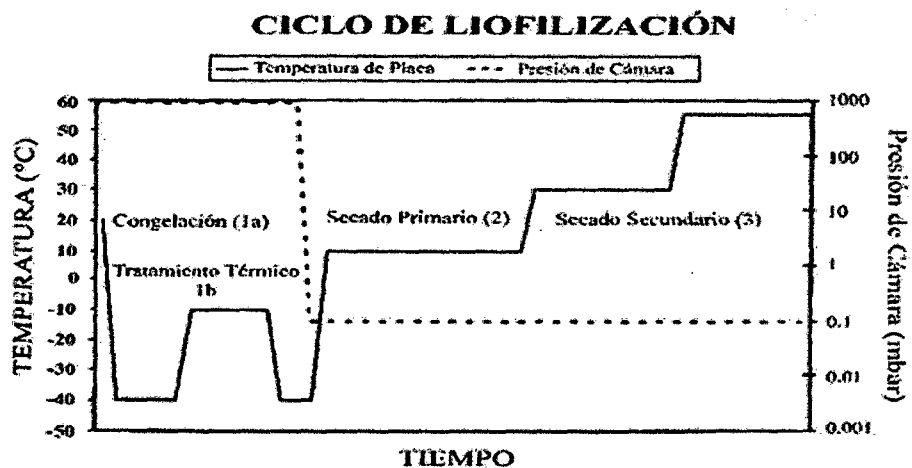
Fuente:(Orrego, 2008).

c. Secado Secundario

Las porciones remanentes de agua no congelada, que no subliman en la primera etapa del secado, lo hacen por evaporación en la segunda etapa al incrementarse la temperatura de la matriz del alimento. Para el caso de matrices cristalinas, el mecanismo de secado es el de desorción y evaporación del agua desde la superficie cristalina. Con sustancias amorfas de hasta un 40% de agua lo preponderante es la difusión del agua a través de la fase vítrea, lo que hace muy prolongado el secado secundario. Las partes secas de la muestra que se liofiliza pueden comenzar su secado secundario aunque haya presencia en el alimento de hielo que sublima en fase

primaria; mientras estas dos fases coexistan, y debido que el hielo que sublima enfría la estructura, permanece controlada la temperatura del alimento. (Orrego, 2008).

Figura 8 Historia térmica de un proceso de liofilización: 1a: Enfriamiento; 1b: Tratamiento térmico (Annealig); 2°: Secado primario; 3°: Secado secundario.



2.3. AGENTES ENCAPSULANTES

Los aditivos encapsulantes son formulaciones involucradas tanto en los procesos de liofilización como de atomización derivan a partir del recubrimiento total de un componente activo en una envoltura o cápsula, lo cual confiere distinta capacidad fisicoquímica al compararse con dicho componente en su forma original. Este procedimiento es conocido como encapsulación y consiste en formar alrededor de una partícula sólida, líquida o gaseosa de interés una capa continua que la contenga manteniendo en perfecto estado sus características importantes ya que puede controlar la liberación de sabores, así como reducir la volatilidad, higroscopicidad y reactividad, aumentan la estabilidad de los productos bajo condiciones ambientales adversas. (Mosquera L., 2010).

Tabla 4 Tipos de Coberturas utilizadas en Micro encapsulación

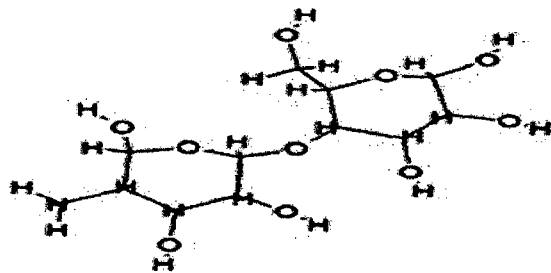
Tipo de Cobertura	Cobertura específica
Gomas	Gomas arábica, agar, alginato de sodio, carragenina.
Carbohidratos	Almidón, dextranos, sacarosa, jarabes de maíz
Celulosas	Carboximetil-celulosa, metilcelulosa, etilcelulosa, metilcelulosa, acetilcelulosa.
Lípidos	Ceras, parafinas, tristearina, ácido esteárico, monoglicéridos, diglicéridos, aceites, grasas.
Materiales inorgánicos	Sulfato de calcio, silicatos

Fuente: (Yáñez *et al.*, 2005)

2.3.1. Maltodextrina

Las maltodextrinas son hidratos de carbono obtenidos por hidrólisis parcial del almidón de maíz mediante enzimas hidrolíticas en medio ácido. Las maltodextrinas se clasifican por su grado equivalente de dextrosa (DE), que es una medida del poder reductor, teniendo como base 100 el de la dextrosa (glucosa monohidratada). A mayor DE, las cadenas lineales son más cortas y con más contenido en maltosa y glucosas (Gil, 2010). Tienen la apariencia de un polvo higroscópico blanco cremoso (color de amarillento a pardo), con un elevado punto de inflamación (>250°C), buena solubilidad en agua (aprox. 500g/L). Al ser oligosacárido aumenta los °Brix (López, B., Carvajal, L. y Millán, L., 2009).

Figura 9: Estructura de la Maltodextrina



Fuente: (López, B., Carvajal, L. y Millán, L., 2009)

La Maltodextrina es una buena solución entre el costo y la efectividad; tiene baja viscosidad a alta proporción de sólidos, son inodoras, incoloras y de baja viscosidad a altas concentraciones, además permiten la formación de polvos de libre flujo sin enmascarar el sabor original (Parra, 2010).

2.3.2. Goma Arábica

La goma arábica es un heteropolisacárido ramificado, formado por una cadena principal de unidades de β -galactopiranosas, a la cual se une L-ramnopiranosas, arabinofuranosas y ácido glucorónico, lo que le da la propiedad de ser un hidrocoloide hidrofílico. Su peso molecular varía entre 250.000 y 1.000.000, y en estado natural es una molécula compacta donde el 95% de este peso lo conforman los polisacáridos y 1-2% las proteínas (López, B., Carvajal, L. y Millán, L., 2009).

La razón por la cual la goma arábica proporciona aumento en la viscosidad es su capacidad de formar gel, es decir, un estado intermedio entre el estado líquido y el sólido, constituido por una red macromolecular que retiene entre sus mallas una fase líquida. En efecto, la asociación de cadenas o de segmentos de cadenas produce un aumento en el espacio y, por tanto, de la viscosidad. En la medida que las cadenas se organizan entre sí, el gel se hace más rígido, lo que indica aumento de las características reológicas. Todas las características anteriores hacen de este un compuesto que puede aumentar la viscosidad pero sin mucha repercusión en los °Brix ((López et al., 2009)

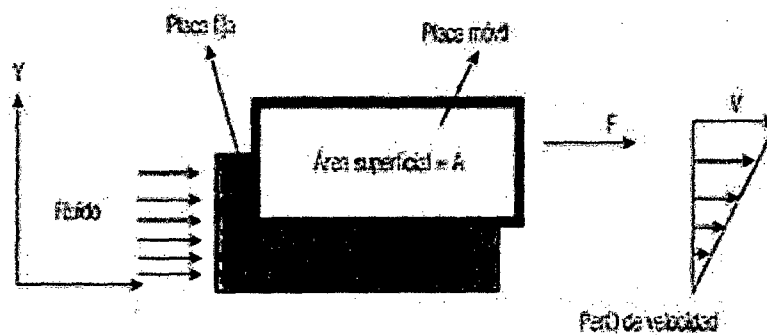
2.4. VISCOSIDAD

2.4.1. Definición

La viscosidad se puede definir como una medida de la resistencia a la deformación del fluido (Ramírez, 2006).

La viscosidad es una propiedad de los líquidos que describe la magnitud de la resistencia originada por fuerzas de corte en el líquido. Cuando se confina un fluido entre dos placas paralelas de dimensiones infinitas, la influencia de la fuerza de corte se muestra en la figura N°10. En este escenario la placa inferior se mantiene fija y la fuerza F se aplica sobre la placa superior para producir una velocidad v . Esto resulta en un perfil de velocidad dentro del fluido. La velocidad cerca de la placa fija es cero, en tanto que el líquido cerca de la placa superior se estará moviendo a velocidad v en m/s. (Sharma et al., 2003).

Figura 10: Fluido newtoniano que fluye entre una placa fija y una placa móvil (F = fuerza actuando sobre la placa, v = velocidad del fluido en movimiento).



Fuente: (Sharma et al., 2003)

La fuerza de corte F sobre el área de la placa A tendrá un esfuerzo cortante o de corte: $\tau = F/A : (N/m^2)$. Como la distancia entre la placa es y , el gradiente de velocidad se describe como dv/dy . Este gradiente es una

medida de la velocidad de deformación o de la velocidad de corte que se está aplicando al fluido. (Sharma et al., 2003)

2.4.2. Tipos de Viscosidad

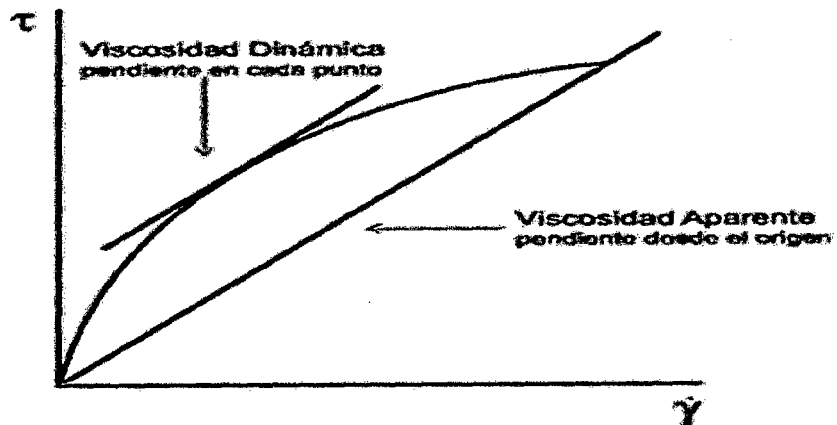
Existen tres tipos de viscosidad: la viscosidad dinámica, la viscosidad cinemática y la viscosidad aparente (Ramírez, 2006)

a. Viscosidad Absoluta

Denominada “ η_{ap} ”. Si se representa la curva de fluidez (esfuerzo cortante frente a velocidad de deformación) se define también como la pendiente en cada punto de dicha curva.

$$\eta_{ap} = \frac{F}{A} \cdot \frac{D}{v_0} = \left[\frac{\text{dina. seg}}{\text{cm}^2} = \text{Poise} \right]$$

Figura 11: Curva de fluidez para representar la viscosidad dinámica y aparente.



Fuente: (Ramírez, 2006)

b. Viscosidad Aparente

Se define como el cociente entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación. Este término es el que se utiliza al hablar de “viscosidad” para fluidos no newtonianos (ver figura N°11).

$$\mu = \frac{\dot{\gamma}}{\tau}$$

c. Viscosidad Cinemática

Este término de viscosidad “ η_r ” denominada viscosidad cinemática, que relaciona la viscosidad dinámica con la densidad del fluido utilizado. Las unidades más utilizadas de esta viscosidad son los centistokes [cst].

$$\eta_r = \frac{\eta_a}{\rho} = \left[\frac{\text{Poise}}{\frac{g}{cm^3}} = \text{stoke (St)} \right]$$

$$\eta_r = \frac{\eta_a}{\rho} = \left[\frac{\text{Poise}}{\frac{g}{cm^3}} = \text{stoke (St)} \right]$$

2.4.3. Variables que afectan la Viscosidad

La viscosidad puede estar muy afectada por variables como el gradiente de velocidad de deformación, la temperatura y la presión entre otros, siendo éstas las más importantes (Ramírez, 2006).

a. Temperatura

La viscosidad es fuertemente dependiente de la temperatura, la mayoría de los materiales disminuyen su viscosidad con la

temperatura; la dependencia es exponencial y puede haber variaciones de hasta un 10% por cada °C modificado. Por ejemplo, la sensibilidad a la temperatura del agua es de 3% por grado centígrado a temperatura ambiente, así que para tener una precisión del 1% requiere que la temperatura sea regulada en 0.3°C. Para líquidos más viscosos esta dependencia es mayor, y ha de tomarse mayores precauciones en el control de la temperatura (Ramírez, 2006).

En el caso de fluidos newtonianos, la expresión que correlaciona la viscosidad con la temperatura es una ecuación tipo Arrhenius. Sin embargo, para fluidos no newtonianos suele relacionarse la viscosidad aparente a una velocidad de deformación fijada, en lugar de viscosidad (Ibarz, A. y Barbosa-Cánovas, G., 2005).

La viscosidad disminuye con la temperatura. Existen varias fórmulas que permiten evaluar la variación de la viscosidad de un líquido al cambiar la temperatura. Las más importantes son:

La ecuación de Arrhenius: La viscosidad disminuye con la temperatura. Esto es debido al hecho de que, conforme aumenta la temperatura, las fuerzas viscosas son superadas por la energía cinética, dando lugar a una disminución de la viscosidad. Por este hecho se deben extremar las precauciones a la hora de medir la viscosidad, teniendo en cuenta que la temperatura debe permanecer prácticamente constante.

$$\mu = \mu_0 \cdot e^{\left(\frac{E_a}{RT}\right)}$$

Dónde: μ es la viscosidad, μ_0 la viscosidad a la temperatura de referencia. E_a la energía de activación, T la temperatura absoluta y R la constante de los gases. Puede utilizarse una gráfica entre $\log\mu$ contra $1/T$, el recíproco de la temperatura absoluta, para determinar los

valores de μ_0 y la energía de activación E_a (Sharma et al., 2003)

La viscosidad e índice de consistencia disminuyen cuando aumenta la temperatura. Y el índice de comportamiento al flujo no suele verse afectado por la variación de temperatura. Sin embargo, en algún caso se ha observado que un aumento de temperatura puede hacer aumentar el índice de comportamiento al flujo pasándose de comportamiento pseudoplástico a newtoniano (Ibarz et al 2005).

b. Presión

La viscosidad aumenta exponencialmente con la presión. El agua a menos de 30 ° C es el único caso en que disminuye. Los cambios de viscosidad con la presión son bastante pequeños para presiones distintas de la atmosférica. Para la mayoría de los casos prácticos, el efecto de la presión se ignora a la hora de hacer mediciones con el viscosímetro. (Ramírez, 2006).

Ecuación de Barus y Kuss: Donde: μ_0 es la viscosidad a presión atmosférica, μ es viscosidad a la presión P . $\mu = \mu_0 \cdot e^{(\alpha P)}$ " α " es un parámetro que, según Worster, equivalen a: $\alpha = (0.6 + 0.965 \cdot \log \mu) \cdot 10^3$

Esta expresión no es más que una aproximación y no es válida para todos los casos. Para presiones muy altas, es preferible utilizar:

$$\mu = \mu_0 \cdot (1 + C \cdot P)^n$$

Dónde: C y n son constantes específicas para una temperatura determinada

c. Concentración

La viscosidad de líquidos newtonianos puede darse por la siguiente ecuación (después de numerosas aproximaciones):

$$\eta = [0.48(r_1/v)m\phi_a(r_1)]^{1/2} \exp\left[\frac{\phi_a(r_1)}{kT}\right]$$

En la que r_1 es la distancia interatómica propia de la densidad del líquido, ϕ_a es el componente de atracción de la energía de interacción entre un par de moléculas aisladas, m es la masa molecular, v es el volumen molar, k es la constante de Boltzmann, y T la temperatura (Ibarz et al 2005).

d. Velocidad de Deformación y Cizalla

Una gran cantidad de fluidos, casi todos de interés industrial, presentan desviaciones de la ley de Newton al ser su viscosidad una función de la velocidad de cizalla aplicada; la diferencia básica entre el comportamiento Newtoniano y el no Newtoniano es la longitud de la molécula del fluido, de forma que aquellos fluidos con moléculas de pequeño tamaño (agua, metanol, etanol, etc.) presentan un comportamiento Newtoniano en contraposición de aquellos (disoluciones de polímeros, polímeros fundidos, etc.) que posean moléculas de mayor tamaño. En general, en cualquier fluido No-Newtoniano la viscosidad depende de la velocidad de cizalla (Ramírez, 2006)

2.5. REOLOGIA DE FLUIDOS ALIMENTARIOS

Los Fluidos son sustancias que se deforma continuamente bajo la aplicación de esfuerzos cortantes. Existen 3 tipos de fluidos: Newtonianos (proporcionalidad entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación); No Newtonianos (no hay proporcionalidad entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación); y viscoelásticos (se comportan como líquidos y sólidos, presentando propiedades de ambos) (Ramírez, 2006).

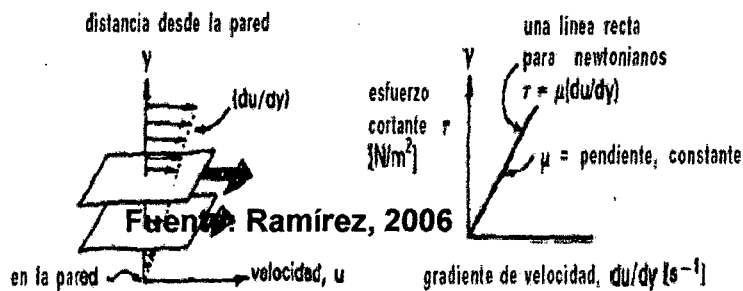
2.5.1. Fluidos Independientes del Tiempo

2.5.1.1. Fluidos Newtonianos

Los fluidos que obedecen la ley de viscosidad de Newton, se llaman fluidos newtonianos. En los fluidos newtonianos existe una relación lineal entre el esfuerzo cortante τ y el gradiente de velocidad dv/dy (velocidad cortante). Esto significa que la viscosidad μ es constante e independiente de la velocidad cortante (Ramírez, 2006).

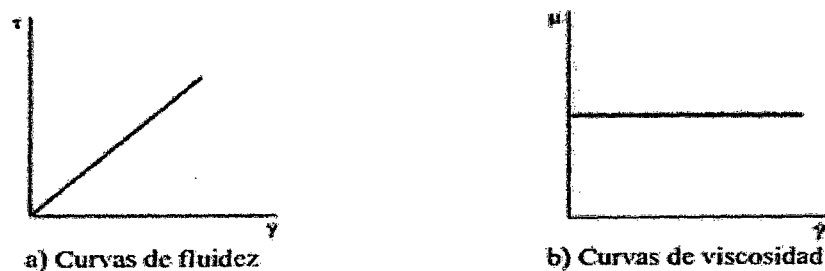
El esfuerzo cortante es una función lineal de la velocidad de corte, y la constante de proporcionalidad para la relación μ se conoce como viscosidad dinámica: (Sharma, Shri K., Mulvaney, Steven J., & Rizvi, Syed S. 2003)

Figura 12: Representación de un fluido Newtoniano



Fuente: (Ramírez, 2006)

Figura 13: Curvas características para un fluido Newtoniano.



Fuente: (Ramírez, 2006)

2.5.1.2. Fluidos No Newtonianos

En los fluidos no newtonianos, la **consistencia** (concepto análogo al de viscosidad, y que relaciona el esfuerzo de corte con la tasa de deformación), depende de la presión tangencial, y, por lo tanto, no es constante sino que puede variar entre amplios límites. Rojas, O., Briceño, M., y Avendaño, J., (2012),

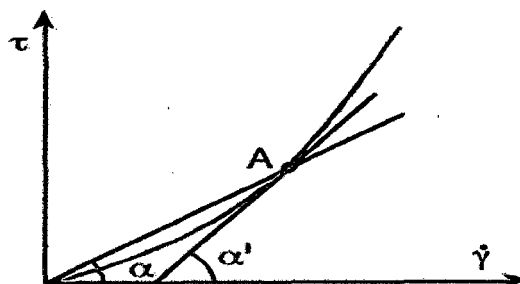
Por otra parte, la consistencia tiene unas dimensiones diferentes de la viscosidad ya que no se cumple: $\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}$, para fluidos no newtonianos.

Por esta razón, en lugar del coeficiente de viscosidad, η , se usa frecuentemente un “**coeficiente de viscosidad aparente**”, η_{ap} que se define como el primero, es decir, como la tensión tangencial dividida por la velocidad de deformación como se muestra en la siguiente ecuación (Quintáns, 2009).

$$\eta_{ap} = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}$$

En los fluidos no-newtonianos se ha utilizado con frecuencia el concepto de **viscosidad aparente** que es la que tendría un fluido newtoniano cuya recta pasara por el mismo punto del reograma (Figura N°14)

Figura 14: Viscosidad aparente



Fuente: (Rojas et al., 2012)

Los fluidos no-newtonianos se caracterizan por los reogramas, que son las representaciones gráficas de sus comportamientos, o bien por sus parámetros reológicos, que son las constantes de las ecuaciones que definen el comportamiento reológico respectivo. Tanto los reogramas como los parámetros reológicos se obtienen a partir de datos experimentales. En general se traza primero el reograma, buscando un sistema de escalas que permita la linealización y, a partir de los datos gráficos, se calculan los parámetros reológicos. En muchos casos se utilizan solamente reogramas (Rojas *et al*, 2012).

2.5.2. Fluidos Dependientes del Tiempo

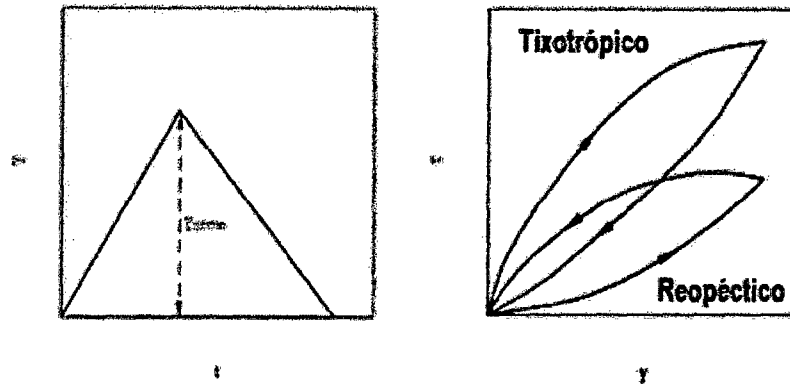
2.5.2.1. Fluido Tixotrópico

Los fluidos tixotrópicos se caracterizan por un cambio de su estructura interna al aplicar un esfuerzo. Esto produce la rotura de las largas cadenas que forman sus moléculas (Ramírez, 2006). La tixotropía es un ablandamiento dependiente del tiempo (Quintáns, 2009).

Dichos fluidos, una vez aplicado un estado de cizallamiento (esfuerzo cortante), sólo pueden recuperar su viscosidad inicial tras un tiempo de reposo. La viscosidad va disminuyendo al aplicar una fuerza y acto seguido vuelve a aumentar al cesar dicha fuerza debido a la reconstrucción de sus estructuras y al retraso que se produce para adaptarse al cambio. Aparece un fenómeno de Histéresis (Ramírez, 2006).

La representación gráfica de t en función de $\dot{\gamma}$ se obtiene aumentando $\dot{\gamma}$ a intervalos definidos, hasta un máximo, y descendiéndola luego del mismo modo hasta que alcance un valor 0. (ver figura N°16).. (Quintáns, 2009).

Figura 15: Ciclo de histéresis mostradas por los fluido tixotrópicos y reopécticos



Fuente: (Quintáns, 2008)

2.5.2.2. Fluido Reopéctico

Los fluidos reopécticos, en cambio, se caracterizan por tener un comportamiento contrario a los tixotrópicos, es decir, que su viscosidad aumenta con el tiempo y con la velocidad de deformación aplicada y presentan una histéresis inversa a estos últimos (Ramírez, 2006). La reopexia es un espesamiento dependiente del tiempo, en el que es curvilíneo el diagrama $\tau - \dot{\gamma}$ y en el que estos dos parámetros no están unívocamente relacionados. Existen dos valores de $\dot{\gamma}$ para cada valor de τ , y a la inversa, si se hacen rutinariamente pruebas cíclicas (ver figura 20) (Quintáns, 2009).

Esto es debido a que si se aplica una fuerza se produce una formación de enlaces intermoleculares conllevando un aumento de la viscosidad, mientras que si cesa ésta se produce una destrucción de los enlaces, dando lugar a una disminución de la viscosidad. (Ramírez 2006)

2.6. MODELOS DE AJUSTE PARA FLUIDOS NO NEWTONIANOS

Se han propuesto en las bibliografías numerosas ecuaciones empíricas para expresar el comportamiento reológico de fluidos no newtonianos. (Quintáns, 2009). A continuación se indican algunos de los modelos más utilizados

2.6.1. Modelo de Ostwald – Waele

Se representa por la relación que se muestra en la ecuación 1 y a menudo recibe el nombre de ley de la potencia.

$$\tau = k \cdot \dot{\gamma}^n \quad \dots(1)$$

Es un modelo de dos parámetros: K (índice de consistencia) y n (índice de comportamiento). Para $n = 1$, el modelo representa el comportamiento newtoniano, con $\eta = k$. Por consiguiente, la desviación del valor de n de la unidad es una medida del grado de desviación del comportamiento newtoniano. Para $n > 1$, el modelo sigue un comportamiento dilatante, mientras que $n < 1$ indica un comportamiento pseudoplástico.

La viscosidad aparente se define por:

$$\tau = \eta_{ap} \cdot \dot{\gamma} \quad \text{ó} \quad \eta_{ap} = k \cdot (\dot{\gamma})^{n-1}$$

La ecuación de Ostwald es sencilla y sirve para interpolar. Tiene el inconveniente que en el origen de coordenadas:

$$\dot{\gamma} \rightarrow 0$$

$$\eta_{ap} \rightarrow \text{indeterminado}$$

El índice de fluidez para emulsiones crudo-agua a menudo está en el rango 0.2-0.6, y tiende a disminuir cuando la concentración de fase dispersa aumenta (Rojas, O., Briceño, M., & Avendaño, J., 2012)

2.6.2. Modelo de Herschel – bulkley

En este modelo (ecuación 2), se ha añadido el término esfuerzo de cadencia (τ_0) para describir el comportamiento plástico y el plástico tipo Casson.

$$\begin{aligned} \tau &\leq \tau_0 & \dot{\gamma} &= 0 \\ \tau &> \tau_0 & \tau &= \tau_0 + k \cdot \dot{\gamma}^n \dots \dots \dots (2) \end{aligned}$$

En este modelo, k es un índice de consistencia y n es el índice de comportamiento. Con $n > 1$, representa un comportamiento plástico dilatante, mientras que para $n < 1$ representa un comportamiento plástico pseudoplástico.

Para $n = 1$, el modelo es equivalente al modelo de Bingham con $k = \eta_0$

Tabla N°5: Valores de coeficiente de consistencia (m), índice de comportamiento al flujo (n) y esfuerzo inicial (τ_0) para algunos alimentos.

Producto	Temperatura, °C	Velocidad de corte, 1/s	m (Pas ²)	n	τ_0
Salda Catsup	25	10 - 560	18,7	0,27	32
Salsa de manzana	20	3,3 - 530	16,7	0,3	0
Puré de plátano (17,7 °Brix)	23,8	28 - 200	6,08	0,43	0
Mayonesa	25	30 - 1300	6,4	0,55	0
Conc. de jugo de tomate (25% sólidos)	32,2	500 - 800	12,9	0,41	0
Chocolate , fundido	46	-	0,57	0,57	1,16
Mostaza	25	30 - 1300	19,1	0,39	0
Puré de durazno (20% sólidos)	26,6	80 - 1000	13,4	0,4	0
Carne molida (15% grasa)	15	300 - 500	694,3	0,16	1,53
Conc. de jugo de naranja (42,5 °Brix)	25	0 - 500	4,1	0,58	0

Fuente: (Ramírez, 2006)

2.6.3. Modelo de Bingham

La curva de esfuerzo cortante contra velocidad de corte puede transformarse en una línea recta elaborando una gráfica de la raíz cuadrada del esfuerzo cortante contra la raíz cuadrada de la velocidad de corte. El chocolate es un ejemplo notable de este tipo de fluido.

$$\tau^{1/2} = m. \left(\frac{dv}{dy}\right)^{1/2} + \tau_0^{1/2} \dots\dots\dots (3)$$

2.6.4. Modelo de Casson

La curva de esfuerzo cortante contra velocidad de corte puede transformarse en una línea recta elaborando una gráfica de la raíz cuadrada del esfuerzo cortante contra la raíz cuadrada de la velocidad de corte. El chocolate es un ejemplo notable de este tipo de fluido.

$$\tau^{1/2} = m. \left(\frac{dv}{dy}\right)^{1/2} + \tau_0^{1/2} \dots\dots\dots (4)$$

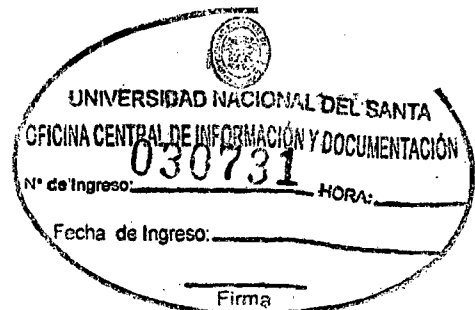
2.6.5. Modelo de Sisko

El modelo desarrollado por Sisko adopta una expresión como la que se muestra en la ecuación 5.

$$\eta_{ap} = K_S. \dot{\gamma}^{n_s-1} + \eta_{\infty} \dots\dots\dots (5)$$

Siendo, igual que en casos anteriores, η_{ap} la viscosidad aparente, $\dot{\gamma}$, el gradiente de velocidad aplicada, K_S el índice de consistencia, n_s , el índice de comportamiento y, η_{∞} la viscosidad a gradiente infinito.

Este modelo puede ser aplicado en operaciones como el bombeo de alimentos líquidos y los procesos de mezcla que implican altos gradientes de velocidad. Este modelo se puede considerar como una generalización de modelo de la potencia, siendo un modelo adecuado para sistemas en lo que bajo ciertas condiciones de operación pueda alcanzar un cierto comportamiento newtoniano



2.6.6. Modelo de Mizahri Berk

Este modelo se basa en el de Casson y fue concebido para explicar el comportamiento reológico del concentrado de naranja. En este modelo se considera la interacción de las partículas en suspensión dentro de un disolvente pseudoplástico. Su expresión es la siguiente:

$$(\sigma)^{0.5} = K_{OM} + K_M(\dot{\gamma})^n$$

En la cual K_{OM} es un término que incluye el umbral de fluencia, que depende de la concentración de partículas suspendidas y de la concentración de pectinas solubles; por otro lado K_M y n se determinan principalmente por las propiedades de disolvente. Esta ecuación se ha utilizado en el estudio de zumos de naranja por varios autores.

III MATERIALES Y METODOS

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

El presente trabajo de investigación se realizó en los siguientes ambientes:

- Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Productos Agroindustriales de la Escuela de Agroindustria-Universidad Nacional del Santa.
- Laboratorio de Análisis y Composición de Productos Agroindustriales de la Escuela de Agroindustria-Universidad Nacional del Santa.
- Laboratorio de Operaciones Unitarias – Universidad Nacional del Santa
- Instituto de Investigación Tecnológica Agroindustrial

3.2. MATERIALES Y EQUIPOS

3.2.1. Materia Prima

La materia prima que se va a utilizar es el mango variedad Edward. La materia prima tiene que tener una buena de calidad, una forma característica de la variedad, bien formada, lisa, además libre de pudriciones y enfermedades para esta investigación la muestra va proceder de la zona agrícola del **distrito de Casma de la Provincia de Casma del Departamento de Ancash**, en estado de madurez de consumo requerido para la investigación y de tamaño homogéneo



Figura 16: Mango Variedad Edward

3.2.2. Materiales

- Vasos de precipitación de 50 y 100 ml.
- Probetas de 50 ml.
- Pipetas de 5 y 10 ml.
- Cuchillo
- Coladores (0.5 mm de diámetro)
- Frasco oscuro de 500ml con tapa para muestra.
- Jarras.
- Tamiz de 2mm.
- Termómetro con medida de 0 a 100°C.
- Papel Toalla
- Papel filtro Whatman #42
- Pilas de Litio

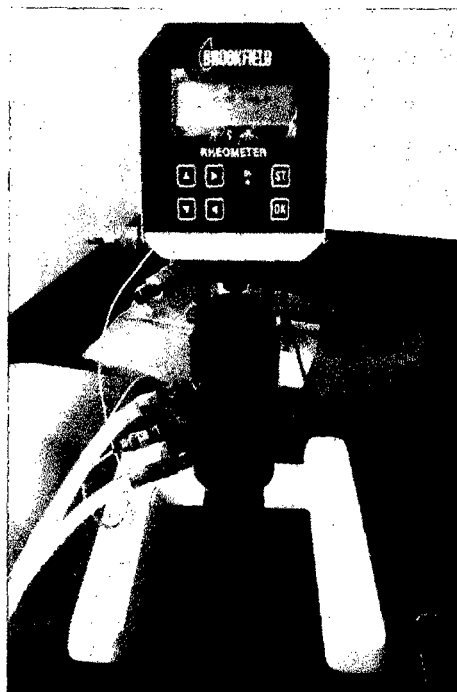
Sensores de temperatura Data Trace

3.2.3. Reactivos

- Fenolftaleína
- Hipoclorito de sodio (lejía comercial) 5%.
- Agua destilada
- Ácido ascórbico 0.1%
- Acido oxálico 0.4%
- Ácido sulfúrico H_2SO_4 , 0.255N
- NaOH , 0.255N
- Colorante 2-6 diclorofenolindofenol

3.2.4. Equipos y Herramientas

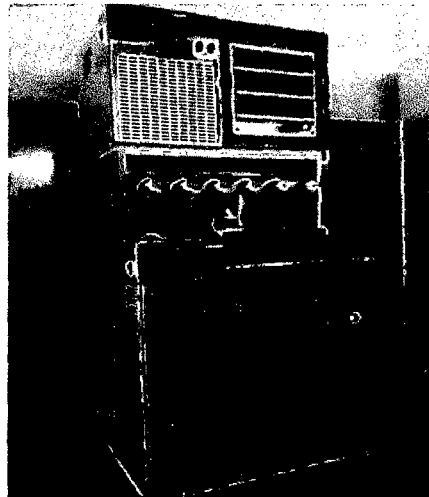
- Estufa eléctrica, modelo U9600.
- Refractómetro tipo Abbe, USA.
- Espectrofotómetro Spectromon 401
- pH meter digital, Mod. P4-506.CRISON.
- Balanza Analítica, Typ U3600, SARTORIUS.
- Licuadora marca Oster.
- Reómetro Digital R/S Plus Modelo BROOKFIELD R/S-CC.



- Máximo torque: 100 mN.m
- Velocidad: 0.01 – 1,300 rpm
- Resolución de torque: 0.15 $\mu\text{N} \cdot \text{m}$
- Unidades: cP, Pa.s, dynes/cm², Pa, °C, °F.

Figura 17: Reómetro Digital R/S Plus Modelo BROOKFIELD R/S-CC.

- Liofilizador, Marca Labconco FreeZone 6, serial N° 190016.



- Sistema de refrigeración libre de CFC ¾ hp
- Colector de temperatura: -50°C, -58°F
- Capacidad de retención de hielo: 6 L.
- Luz roja de alarma
- Interruptor de arranque automático para el colector de enfriamiento y vacío desplegable con los interruptores de accionamiento manual

Figura 18: Liofilizador, Marca Labconco FreeZone 6.

3.3. METODOS

3.3.1. Análisis Físicoquímico

3.3.1.1. Determinación de Humedad

Se determinará mediante el método de secado de estufa, utilizando el método de la AOAC, 930.15 (1990).

3.3.1.2. Determinación de Acidez

La acidez total se determinará según el método AOAC N°950.07 (1984). Sus resultados son expresados en porcentaje de ácido cítrico.

3.3.1.3. Determinación del contenido de Vitamina C

La determinación de la vitamina C se realizará basado en la reducción del colorante 2,6 diclorofenolindofenol (Methods of Vitamin Assay, 1974).

3.3.1.4. Determinación de pH

La determinación del pH se realizará según el método AOAC N° 935.15 (1980)

3.3.1.5. Determinación de Sólidos Solubles

La determinación del contenido en sólidos solubles se realizará mediante un refractómetro tipo ABBE. Por medida del grados Brix y conversión en sólidos solubles mediante fórmula. Las medidas se realizarán a temperatura ambiental.

3.3.1.6. Determinación de Sólidos Totales

El porcentaje se obtendrá por la diferencia de 100 menos el porcentaje de humedad.

3.3.1.7. Determinación de Fibra

La determinación de fibra cruda se realizará por método gravimétrico según el método. A.O.A.C. 962.09 (1990).

3.4. DESCRIPCION DEL PROCESO

3.4.1. Acondicionamiento de la Materia Prima

A. Selección de la materia prima:

La selección de materia prima se realizó con el objetivo de separar los frutos verdes que no alcanzaron la madurez fisiológica, frutos dañados por golpes de transporte y frutos malogrados o que tengan otras impurezas. Se eligió el estadio cinco debido que el fruto está fisiológicamente maduro.



Figura 19: Selección de Materia Prima.

B. Pesado:

Luego de seleccionado los frutos se procederán a pesarlos con el objetivo de obtener su rendimiento de la materia prima en el proceso.

C. Lavado

El lavado se realizó con la finalidad de eliminar los contaminantes presentes en la superficie del fruto con agua potable circulante. Luego se desinfectará sumergiendo la fruta en una solución de hipoclorito de sodio a 100 ppm.

D. Escaldado:

Se realizó el escaldado con el propósito de eliminar las enzimas que deterioran la calidad del producto (enzimas que continuarían con reacciones de degradación), eliminar el oxígeno presente en la fruta (causantes del pardeamiento), reducir los microorganismos presentes en las frutas y ayudar a fijar el color del mango, pues los pigmentos quedan atrapados en los tejidos. Además facilita el ablandamiento del mango (por cocción del calor) permitiendo que los siguientes pasos del proceso se hagan más rápido. El escaldado se realizara por inmersión en agua caliente, se introducirán las frutas por 5 min cuando el agua haiga alcanzado 90°C, luego se sacará e inmediatamente se pasará por un chorro de agua fría.



Figura 20: Escaldado de la Materia Prima

E. Pelado:

El pelado se realizó manualmente, se retiró la cáscara y la pepa mediante un cuchillo casero de acero inoxidable.



Figura 21: Pelado de la Materia Prima

F. Pulpeado:

Para la obtención de la pulpa de mango se empleó una licuadora marca OSTER (de 2 kg de capacidad).

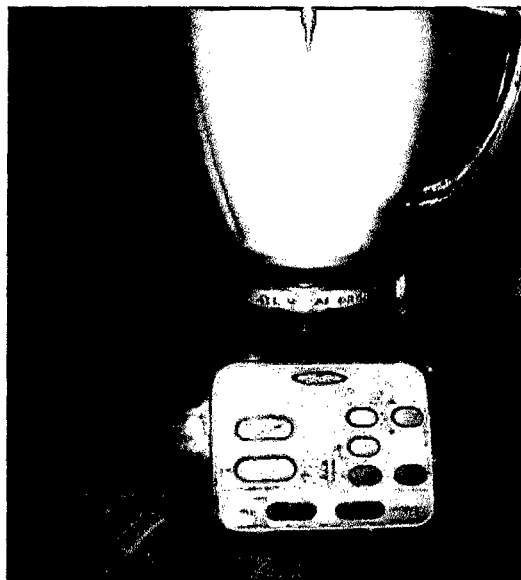


Figura 22: Pulpeado de la Materia Prima

G. Tamizado

El tamizado se realizó con el objetivo de separar completamente las pieles, partículas de celulosa, brumos, etc., que han podido quedarse junto con la pulpa. Para esto se utilizará un tamiz de acero inoxidable malla 65 (las perforaciones en el tamiz tienen un diámetro de 2 mm).



Figura 23: Tamizado de la Materia Prima

3.4.2. Acondicionamiento de las Muestras

Se acondicionó la pulpa con dos tipos de mezcla de Goma arábica y maltrodextrina.

Tabla N°6: Acondicionamiento de las mezclas

<i>MEZCLA</i>	<i>% Encapsulantes</i>
MEZCLA 1	0% Goma Arábica – 0% Maltodextrina
MEZCLA 2	2% Maltodextrina
MEZCLA 3	1.5% Maltodextrina – 0.5% Goma Arábica
MEZCLA 4	1% Maltodextrina – 1% Goma Arábica
MEZCLA 5	0.5% Maltodextrina – 1.5% Goma Arábica
MEZCLA 6	2% Goma Arábica

Fuente: Propia

Estas formulaciones se encuentran directamente relacionadas respecto a la cantidad de sólidos totales de la pulpa de mango, manteniéndose un testigo con fines de comparación. La adición de encapsulantes se realizará haciendo uso de una licuadora Oster con un vaso de capacidad de 500 ml, de esta manera se logrará dar mayor uniformidad a las mezclas. Luego se envasarán en frascos de 500 ml debidamente rotulados para su posterior liofilizado.

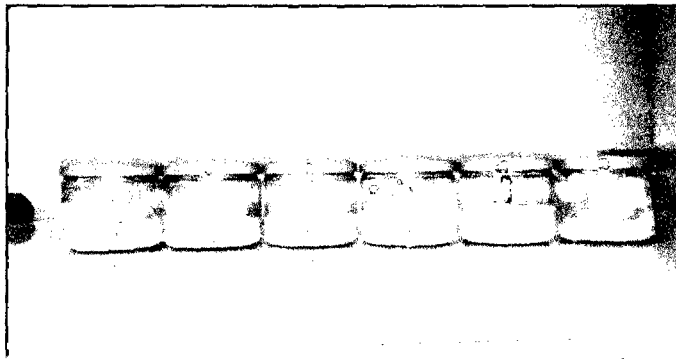


Figura 24: Acondicionamiento de las mezclas

3.4.3. Evaluación Reológica antes del Tratamiento

Para la realización de las curvas de fluidez (ritmo cortante vs esfuerzo cortante) y así poder determinar la viscosidad, Índice de consistencia e Índice de comportamiento al flujo de las muestras se utilizó el Reómetro Digital R/S Plus Modelo BROOKFIELD R/S-CC con el software Rheo3000.

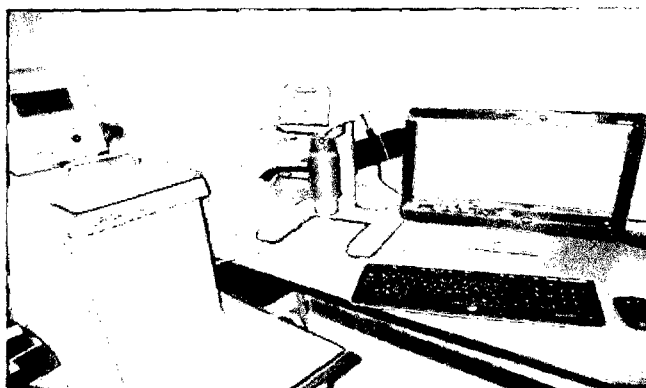


Figura 25: Evaluación reológica de la pulpa de mango

Se fija la temperatura del baño maría a 30°C, debido a que las lecturas reológicas de las mezclas (ver cuadro 8) deben hacerse a la misma temperatura para evitar el efecto de la temperatura en los parámetros reológicos.

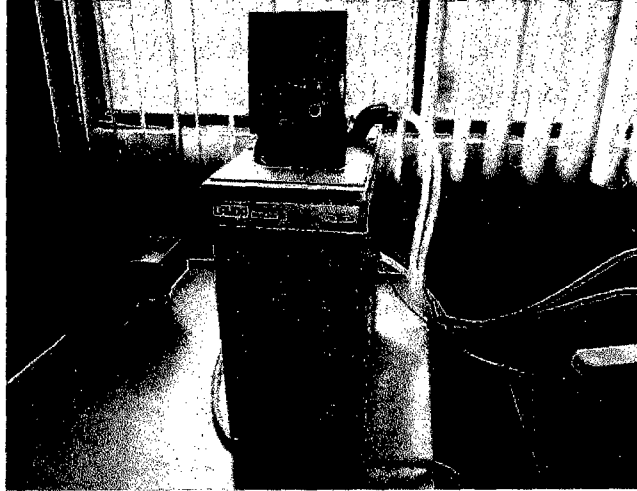


Figura 26: Termorregulador de Baño Maria

Para poder seleccionar el tipo de eje (diámetro) se realizaron análisis previos, y se optó por el spin CC-25 donde se obtuvo el reograma $\tau - \dot{\gamma}$ correspondiente al tipo de fluido con el que se trabaja.



Figura 27: Spin CC-25

El tiempo de ejecución para cada ensayo se programa para 4 min, y que dentro de los dos minutos iniciales se fue variando la velocidad de deformación en forma creciente hasta alcanzar un valor máximo, cerca de 300 s^{-1} , luego en los dos minutos restantes de la misma manera se fue variando la velocidad de deformación en forma decreciente hasta alcanzar un valor mínimo próximo de 0 s^{-1} . Tanto en la corrida ascendente y descendente se obtendrá 20 puntos de la velocidad de deformación, resultando un total de 40 puntos, de los cuales se tomara el promedio de cada esfuerzo cortante a velocidad de deformación. (Método descrito por Vidal J., Pelegrine D y Gasparetto, C., 2004).

3.4.4. Liofilización de las Muestras

Las mezclas realizadas (ver tabla 7) se liofilizaron en bandejas de acero inoxidable donde se depositaron 100 g de pulpa de mango.

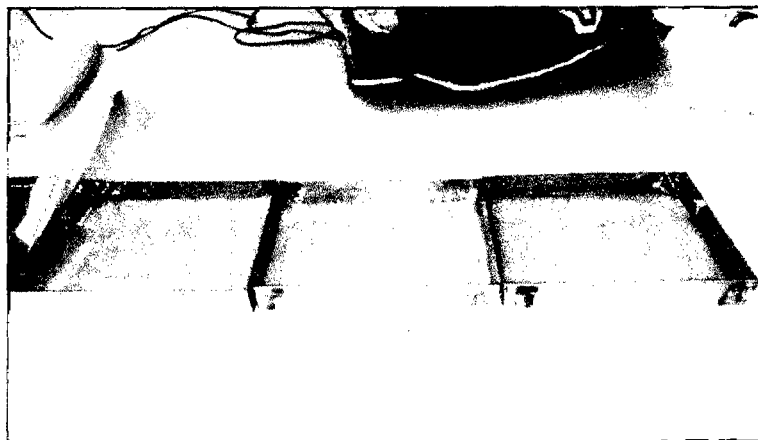


Figura 28: Bandejas con pulpa de mango para liofilizar

Para poder tener un control de la temperatura de las mezclas durante todo el proceso de liofilización, se colocaron sensores inalámbricos de temperatura de tiempo real, la cual se les programo un intervalo de tiempo de lectura de 5 min y mediante el software "DATA TRACE RF" se pudo monitorear el perfil de la temperatura a tiempo real.



Figura 29: Software Data logger

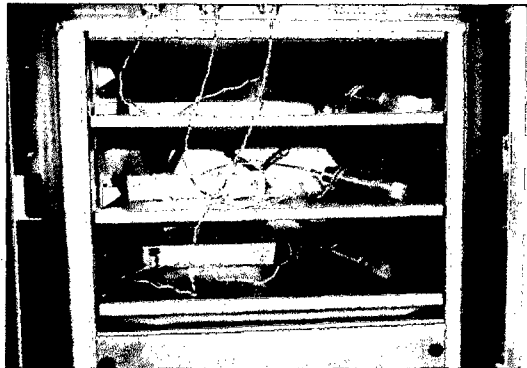


Figura 30: Sensores de Temperatura Data Trace

Tabla 7: Parámetros para la liofilización de la pulpa de mango con encapsulantes

PARÁMETRO	VALORES
CONCENTRACION INICIAL DE LA MEZCLA	18 °BRIX
CANTIDAD DE MUESTRA	100 g
TEMPERATURA DE CONGELACION	-25°C
PRESION DE VACIO	0.520 mbar
TIEMPO	22 horas

Fuente: Propia

3.4.5. Reconstitución de las Muestras

La adición de agua (agua destilada) para la hidratación de las muestras liofilizadas se determinó por balance de materia por lo cual fue necesario pesar las mezclas de pulpa justo antes del tratamiento de liofilización y una vez liofilizadas. Al restar ambas masas se calculará la cantidad de agua extraída en la operación de deshidratación y se rehidratará con esta cantidad la muestra liofilizada la cual se agregó el agua extraída por un tiempo de 30 minutos (Método descrito según Gonzales C., 2009).

3.4.6. Evaluación Reológica después del Tratamiento

La Evaluación reológica se realizará similar a la primera con las muestras Liofilizadas y Rehidratadas para determinar el estudio y el efecto de la Liofilización sobre las muestras

3.4.7. Análisis de Comportamiento reológico

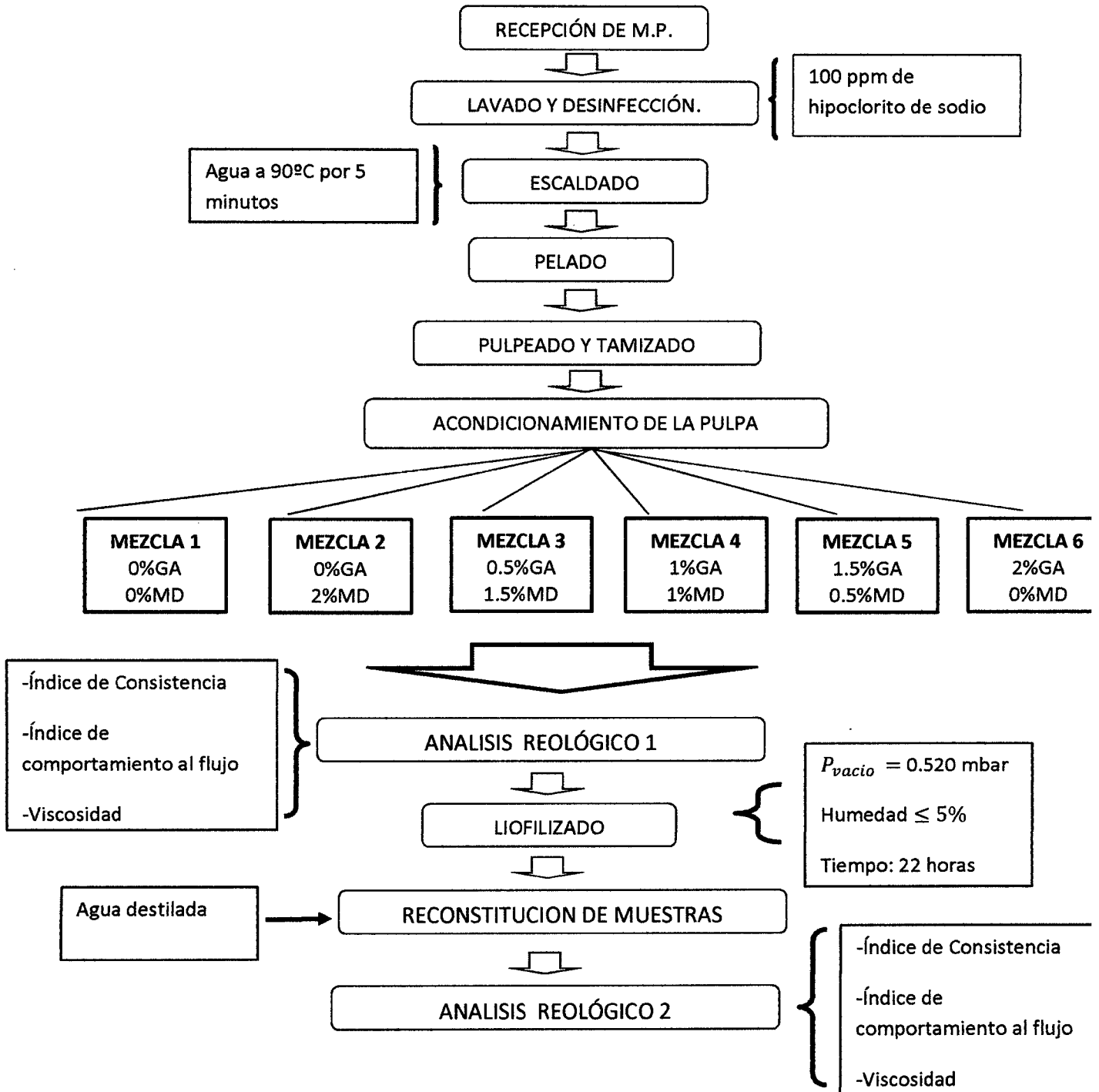
Los datos obtenidos de $\tau = \tau(\dot{\gamma})$, se ajustaran a los modelos de Ostwald, Casson, Herschel-Bulkley y Mizrahi – Berk y se seleccionara el modelo que mejor se correlacione con los datos obtenidos. La decisión del modelo más apropiado se realizara en base a los parámetros estadísticos: coeficiente de determinación (R^2), chi-cuadrado (X^2) y suma de residuos al cuadrado (SSR), la mejor opción será analizada en base a dos parámetros; R^2 (mide la proporción de la variación total explicada por la regresión promedio), definido como la relación entre la suma cuadrática total y el chi-cuadrado (X^2), que expresa la diferencia entre los valores obtenidos experimentalmente. Cuanto mayor sea el valor (X^2) mayor es la discrepancia entre las frecuencias observadas y esperadas. Cuanto menor sea el valor (R^2) mayor distancia de los puntos experimentales del modelo ajustado. Por lo tanto, el modelo que mejor se adapta es el que tiene alta R^2 valores (máximo = 1) y baja X^2 valores (mínimo = 0).

Luego de seleccionado el modelo que mejor se correlacione, se ajustan los datos al modelo y se determina el índice de consistencia (K) e índice de comportamiento al flujo (n).

La viscosidad se determinara de la relación entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación. se determinara mediante ANOVA si existe significancia entre los parámetros reológicos obtenidos de las muestras de las mezclas analizadas antes de ser liofilizadas y las muestras liofilizada – rehidratadas. Para el análisis estadístico se utilizara el software estadístico Statgraphics Centurion versión XV.

3..5. DISEÑO EXPERIMENTAL

Figura31: Diagrama de Flujo Experimental



3..6. DISEÑO ESTADISTICO

Las actividades se dividen en 12 tratamientos con 3 repeticiones. Así que para estos tratamientos el diseño estadístico a emplear, consiste en una factorial de 2x6 con arreglo en un Diseño Completamente al Azar (DCA), donde el primer factor corresponde a la concentración de las mezclas con encapsulantes la pulpa (Mezcla) y el segundo factor con liofilización y sin liofilización.

Tabla 8: Tabla de experimento Factorial DCA

	SIN TRATAMIENTO	CON TRATAMIENTO
MEZCLA 1	R ₁₁₁	R ₁₂₁
	R ₁₁₂	R ₁₂₂
	R ₁₁₃	R ₁₂₃
MEZCLA 2	R ₂₁₁	R ₂₂₁
	R ₂₁₂	R ₁₂₂
	R ₂₁₃	R ₂₂₃
MEZCLA 3	R ₃₁₁	R ₃₂₁
	R ₃₁₂	R ₃₂₂
	R ₃₁₃	R ₃₂₃
MEZCLA 4	R ₄₁₁	R ₄₂₁
	R ₄₁₂	R ₄₂₂
	R ₄₁₃	R ₄₂₃
MEZCLA 5	R ₅₁₁	R ₅₂₁
	R ₅₁₂	R ₅₂₂
	R ₅₁₃	R ₅₂₃
MEZCLA 6	R ₆₁₁	R ₆₂₁
	R ₆₁₂	R ₆₂₂
	R ₆₁₃	R ₆₂₃

Modo lineal: $Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta_{ij}) + \epsilon_{ijk}$

Dónde:

Y_{ijk} = Es el Efecto de la Viscosidad, Índice de Consistencia, Índice de comportamiento al flujo; obtenido en el *i* – ésimo tratamiento y *j* – ésimo mezcla de encapsulantes

μ = Es el efecto de la media General

α_i = Es el efecto del *i*- ésimo tratamiento (Pulpa sin Liofilizar, Pulpa Liofilizada y rehidratada)

β_j = Es el efecto del *i* – ésimo de las mezclas (2%MD – 0%GA, 1.5%MD – 0.5%GA, 1%MD – 1%GA, 0.5%MD – 1.5%GA y 0%MD – 2%GA)

Tabla 9: Tabla ANVA para evaluar el efecto sobre los parámetros reológicos

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	F CALCULADO	F TABULADO(5%)
TRATAMIENTOS (A)	1				
FORMULACIONES(B)	5				
INTERACIONES (AB)	5				
ERROR EXPERIMENTAL	24				
TOTAL	35				

IV RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Caracterización Físicoquímica de la Pulpa de Mango

En el siguiente cuadro, se muestran los resultados del análisis físicoquímico realizado a la pulpa de mango después del tamizado, con el fin de saber las características del producto antes del tratamiento de Liofilización, y de esta manera poder evaluar el efecto de estas características después del liofilizado.

Tabla 10: Análisis Físicoquímicos de la Pulpa mango variedad Edward

COMPONENTES	CANTIDAD (g/100 g de pulpa)
HUMEDAD (%)	77.4
SOLIDOS TOTALES	22.6
SOLIDOS SOLUBLES	18°Brix
pH	4.94
ACIDEZ TITULABLE	0.28
VITAMINA C	28.77 mg
Fibra Cruda (%)	0.64
CENIZAS	0.58

* Acidez titulable en % de ácido cítrico.

Soto et al. (2004) en su investigación a diferentes cultivares de mango reporta para el mango de variedad Edward con un contenido de sólidos solubles 15.50 °Brix una acidez titulable de 0.25 % de ácido cítrico. Por su parte Siller-Cepeda et al (2009) en su investigación a la calidad pos cosecha de cultivares de Mango reporta para el mango de variedad Edward un porcentaje de Humedad de la pulpa de $76 \pm 1.5\%$, acidez titulable de 0.30% de ácido cítrico y sólidos solubles de 16.8°Brix. Los datos reportados por Soto et al & Siller-Cepeda et al, son muy cercanos con respecto al porcentaje de acidez y pH, además hay que considerar que la cantidad de ácido cítrico (0.28%) y pH (4.94) obtenidos en nuestro análisis va depender del estado de madurez del fruto (18°Brix), esto es debido a que en el desarrollo de su madurez el mango disminuye su acidez y aumenta su pH. Los

datos obtenidos de Vitamina C (28.77 mg), fibra cruda (0.64%) y cenizas (0.58 g) son cercanas a las reportadas en la Tablas Peruanas de Composición de Alimentos (2009), la cual reporta un contenido de Vitamina C de 24.80 mg, fibra cruda (1.0 g) y cenizas (0.50 g) de 100 g de pulpa comestible. La diferencia de contenido de fibra cruda es debido a que la pulpa de mango fue tamizada antes de su análisis fisicoquímico.

4.2. Determinación del Comportamiento Reológico de la Pulpa de Mango Fresca

4.2.1. Comportamiento Reológico de la pulpa de mango independiente del tiempo.

4.2.1.1. Determinación del modelo Reológico de la Pulpa de Mango Variedad Edward

A Los datos obtenidos de las muestras de pulpa de mango se realizó las curvas de fluidez y se ajustaron al modelo Ostwald - Waele, Casson, Herschel – Bulkley y Mizrahi - Berk y se halló los parámetros estadísticos de chi-cuadrado (χ^2), suma del cuadrado de los residuos (SSR) y coeficiente de regresión (R^2) con esto se determinó el modelo reológico que mejor se correlaciona a los datos obtenidos de la muestras mediante el reómetro.

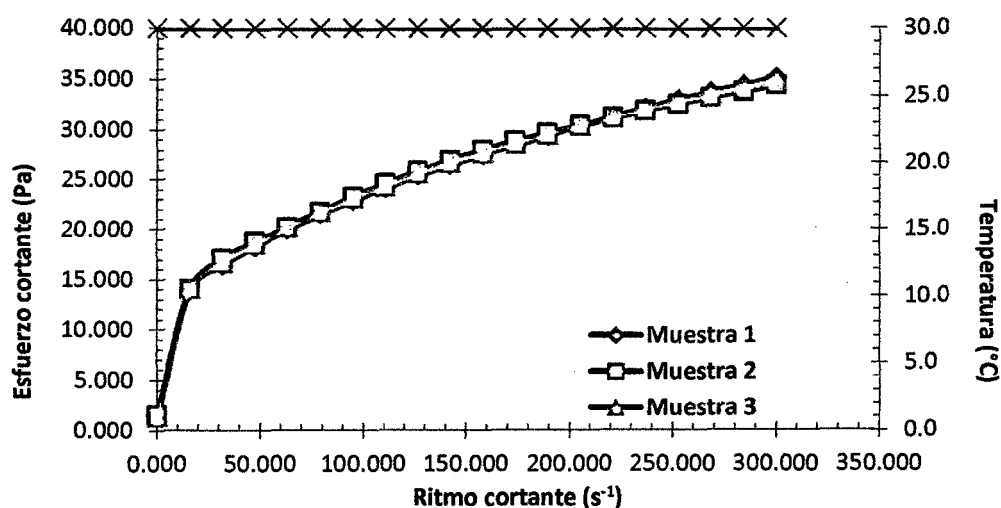


Gráfico 1: Curva de fluidez (ritmo cortante vs esfuerzo cortante) de la pulpa de mango Edward.

Tabla 11: Parámetros estadísticos del ajuste de los datos obtenidos de la pulpa de mango a los modelos reológicos.

Muestra 1				
	Ostwald - Waele	Casson	Herschel - Bulkley	Mizrahi - Berk
X²	1.5192	20.0696	0.2236	0.1031
SSR	5.3870	2.6348	2.7916	0.0262
R²	0.9960	0.8827	0.9979	0.9988
Muestra 2				
	Ostwald - Waele	Casson	Herschel - Bulkley	Mizrahi - Berk
X²	1.6391	19.6371	0.0810	0.0498
SSR	4.1281	2.7080	1.3305	0.0124
R²	0.9967	0.8720	0.9989	0.9994
Muestra 3				
	Ostwald - Waele	Casson	Herschel - Bulkley	Mizrahi - Berk
X²	1.4730	21.4595	0.1479	0.0664
SSR	4.4059	2.7880	1.9581	0.0168
R²	0.9966	0.8736	0.9985	0.9992

El modelo de Mizrahi – Berk en la tabla 11 se observa que es el que mejor se correlaciona a los datos obtenidos de las muestras de la pulpa de mango Edward.

El modelo reológico propuesto por Mizrahi – Berk según Pelegriane, Vidal y Gasparetto (2000), es el mejor que se ha ajustado a la mayoría de reogramas de pulpa y purés de frutas, como los autores han desarrollado en base al modelo de una suspensión de partículas que interactúan en un disolvente pseudoplástico.

4.2.1.2. Comportamiento Reológico de la pulpa de mango Edward ajustado al Modelo Mizrahi – Berk.

Los datos obtenidos de las muestras de la pulpa de mango ajustaron al modelo de Mizrahi – Berk obteniendo un índice de comportamiento al flujo menor que 1 ($n < 1$) y índice de consistencia K_M de 1.330, 1.352 y 1.378 Pas.s., tal como se muestra en la tabla 12.

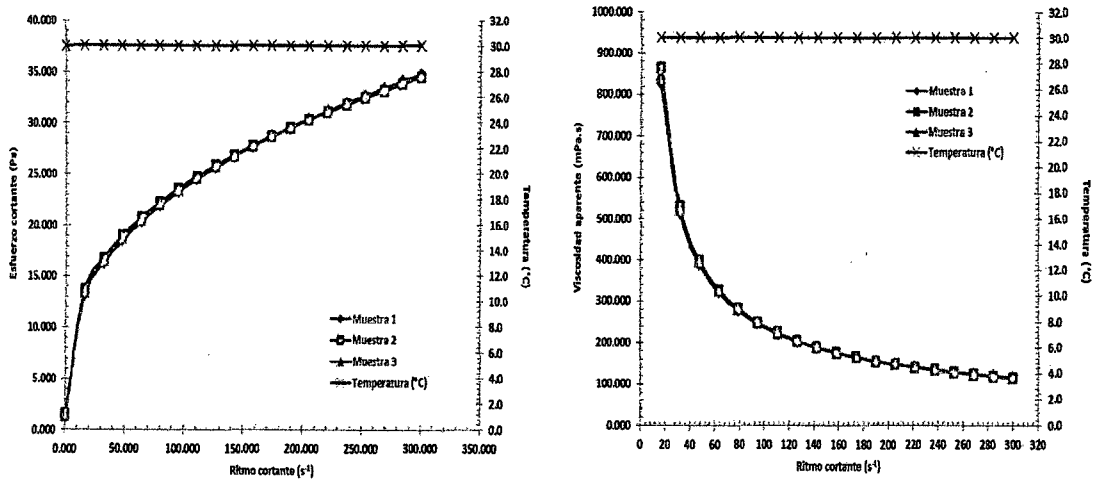
Tabla 12: Parámetros reológicos de la pulpa de mango Edward ajustados al modelo Mizrahi – Berk.

	30°C		
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
$K_{OM}(\text{Pa})^{0.5}$	1.1545	1.2454	1.1599
$K_M(\text{Pa.s})$	1.3300	1.3521	1.3781
n	0.2227	0.2155	0.2157
Error K_{OM}	0.0391	0.0270	0.0314
Error K_M	0.0374	0.0264	0.0306
Error n	0.0042	0.0029	0.0033
χ^2	0.1031	0.0498	0.0664
SSR	0.0262	0.0124	0.0168
R^2	0.9988	0.9994	0.9992

Vidal, Pelegrine y Gasparetto (2004), ajustaron a la pulpa de mango a los modelos de Ostwald y Mizrahi – Berk, obteniendo el mejor ajuste de los parámetros estadísticos (χ^2 , SSR y R^2) al modelo de Mizrahi – Berk, la pulpa contenía 16.6 °Brix y a una medida de temperatura de 30°C obtuvo un K_M de 0.41Pa.s y un n de 0.40.

En nuestra investigación se obtuvo un n menor que 1, demostrando con esto que la pulpa de mango tiene un comportamiento no newtoniano, de tipo pseudoplástico. El K_M de 1.330, 1.352 y 1.378 Pa.s es mayor a lo reportado por Vidal, Pelegrine y Gasparetto debido a que nuestra pulpa tenía un mayor contenido de sólidos solubles (18°Brix).

Se realizó una curva de fluidez y un reograma de viscosidad de las muestras con el objetivo de mostrar mediante el gráfico 2 el comportamiento pseudoplástico de la pulpa de mango Edward.



a) Curva de fluidez de Esfuerzo cortante vs ritmo cortante b) Reograma de Viscosidad aparente vs ritmo cortante

Gráfico 2: Comportamiento reológico de la pulpa de mango independiente del tiempo.

Del gráfico 2-a) curva de fluidez se observa que a medida que se aumenta el ritmo cortante va aumentando también el esfuerzo cortante, en cambio del gráfico 2-b) reograma de viscosidad se observa que a medida que aumenta el ritmo cortante disminuye la viscosidad aparente describiendo un comportamiento de un fluido no newtoniano, al igual que en su investigación de Vargas y Duarte (2006) & Gonzales y Soto (2009), describen a la pulpa de mango un descenso de la viscosidad aparente a medida que aumenta la velocidad de deformación, definiendo de esta manera, el comportamiento no newtoniano, de tipo pseudoplástico.

Usualmente los homogenizados de las pulpas de frutas exhiben este comportamiento, y en muchos casos puede atribuirse a la presencia de sustancias de alto peso molecular en solución y/o a los sólidos dispersos en la fase líquida, tal como lo señala Fellows (1994)

4.2.2. Comportamiento Reológico de la pulpa de mango dependiente del tiempo.

Se realizó las lecturas de viscosidad manteniendo constante la velocidad de deformación a 25 RPM (ritmo cortante 32.275 s^{-1}) y se dejó transcurrir 10 min entre una lectura y otra. Se tomó un total de 20 lecturas, por lo que se realizaron mediciones de viscosidad durante 200 min, tal como lo representa en el gráfico 3.

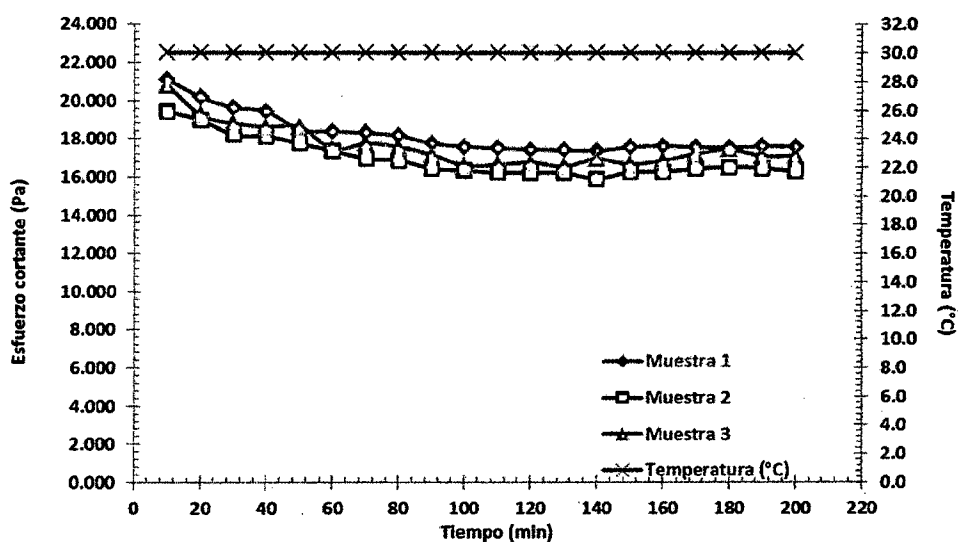


Gráfico 3: Reograma de Viscosidad de la pulpa de mango Edward dependiente del tiempo

Del gráfico 3, la viscosidad va disminuyendo con respecto al tiempo, definiendo de esta manera a la pulpa de mango Edward como un fluido del tipo tixotrópico, pero esta disminución no lo hace de forma progresiva después de los 100 min se mostró aumentos de viscosidad, así que no se puede inferir con seguridad que su comportamiento sea tixotrópico, se tendría que evaluar por un periodo de mayor tiempo, para determinar si la viscosidad más allá de los 200 min va aumentando o en efecto sigue disminuyendo.

4.3. Determinación del Comportamiento reológico de la Pulpa de Mango Liofilizadas y Reconstituidas

4.3.1. Comportamiento reológico de la pulpa de mango liofilizadas y reconstituidas independiente del tiempo

4.3.1.1. Determinación modelo Reológico de la pulpa de mango Edward liofilizadas y reconstituidas

Al igual que en la pulpa de mango sin liofilizar a las muestras de pulpa de mango liofilizada y reconstituida se realizaron curvas de fluidez, tal como se muestra en el gráfico 4 y luego se ajustaron al modelo Ostwald - Waele, Casson, Herschel – Bulkley y Mizrahi - Berk y se halló los parámetros estadísticos de chi-cuadrado (χ^2), suma del cuadrado de los residuos (SSR) y coeficiente de regresión (R^2) con esto se determinó el modelo reológico que mejor se correlaciona a los datos obtenidos de la muestras mediante el reómetro.

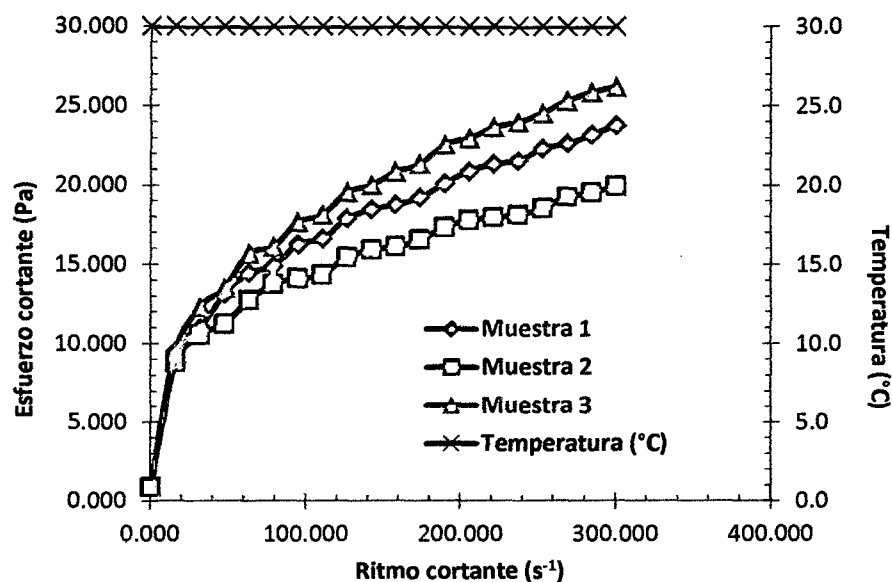


Gráfico 4: Curva de fluidez (ritmo cortante vs esfuerzo cortante) de la pulpa de mango Edward.

El modelo de Mizrahi – Berk en la tabla 13 se observa que es el que mejor se correlaciona a los datos obtenidos de las muestras de la pulpa de mango Edward liofilizada y reconstituida. El modelo de

Herschel –Bulkley también muestra una buena correlación de los datos obtenidos de las muestras.

Tabla 13: Parámetros estadísticos del ajuste de los datos obtenidos de la pulpa de mango liofilizadas y reconstituidas a los modelos reológicos.

Muestra 1				
	Ostwald - Waele	Casson	Herschel - Bulkley	Mizrahi - Berk
X²	0.9957	15.5083	0.0774	0.0646
SSR	2.0576	2.0173	1.0955	0.0161
R²	0.9965	0.8652	0.9982	0.9989
Muestra 2				
	Ostwald - Waele	Casson	Herschel - Bulkley	Mizrahi - Berk
X²	0.9763	15.0437	0.0701	0.0618
SSR	1.8716	1.9595	0.9744	0.0154
R²	0.9952	0.8324	0.9975	0.9987
Muestra 3				
	Ostwald - Waele	Casson	Herschel - Bulkley	Mizrahi - Berk
X²	0.9840	15.5813	0.0583	0.0601
SSR	1.8762	2.0485	0.9696	0.0151
R²	0.9976	0.8826	0.9987	0.9991

4.3.1.2. Comportamiento Reológico de la pulpa de mango Edward liofilizada y reconstituida ajustado al Modelo Mizrahi – Berk

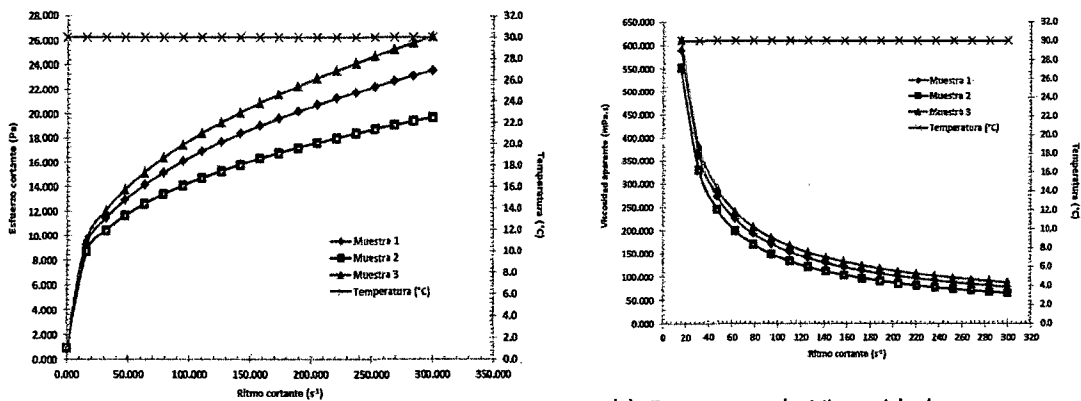
Los datos obtenidos de las muestras de la pulpa de mango liofilizadas y reconstituidas se ajustaron al modelo de Mizrahi – Berk obteniendo un índice de comportamiento al flujo menor que 1 ($n < 1$) y índice de consistencia K_M de 1.169, 1.187 y 1.154 Pas.s., tal como se muestra en la tabla 14.

Al obtenerse un n menor que 1, se puede deducir que las muestras de pulpa de mango liofilizadas y reconstituidas tiene un comportamiento no newtoniano del tipo pseudoplástico.

Tabla 14: Parámetros reológicos de la pulpa de mango Edward liofilizada y reconstituida ajustados al modelo Mizrahi – Berk.

	30°C		
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
$K_{OM}(\text{Pa})^{0.5}$	0.9566	0.9505	0.9589
$K_M(\text{Pa}\cdot\text{s})$	1.1690	1.1871	1.1545
n	0.2110	0.1890	0.2252
Error K_{OM}	0.0307	0.0300	0.0297
Error K_M	0.0304	0.0317	0.0282
Error n	0.0039	0.0040	0.0037
χ^2	0.0646	0.0618	0.0601
SSR	0.0161	0.0154	0.0151
R^2	0.9989	0.9987	0.9991

Se realizó una curva de fluidez y un reograma de viscosidad de las muestras con el objetivo de mostrar mediante el la figura 22 el comportamiento pseudoplástico de la pulpa de mango Edward liofilizada y reconstituida.



a) Curva de fluidez de Esfuerzo cortante vs ritmo cortante

b) Reograma de Viscosidad aparente vs ritmo cortante

Gráfico 5: Comportamiento reológico de la pulpa de mango liofilizada y reconstituida independiente del tiempo.

Del Gráfico 5-a) de la curva de fluidez se observa que a medida que se fue aumentando el ritmo cortante de la misma forma lo hace el esfuerzo cortante, en cambio del gráfico 5-b) reograma de viscosidad se observa que a medida que se va aumentando el ritmo cortante disminuye la viscosidad aparente describiendo un comportamiento de un fluido no newtoniano, tal como los resultados de Gonzales y Soto (2009), al reconstituir la pulpa de mango después del liofilizado.

4.3.2. Comportamiento reológico de la pulpa de mango liofilizadas y reconstituidas dependiente del tiempo

Una vez la pulpa de mango liofilizada se rehidrato agregándole la misma cantidad de agua que perdió durante el liofilizado y se realizó las lecturas de viscosidad aparente de la misma forma que para la pulpa de mango sin liofilizar. En el gráfico 6 se percibe un descenso progresivo de la viscosidad aparente hasta los 120 min definiendo así a la pulpa liofilizada y reconstituida como un fluido del tipo tixotrópico. Tal como lo menciona Quintáns (2009), la tixotropía es un ablandamiento dependiente del tiempo.

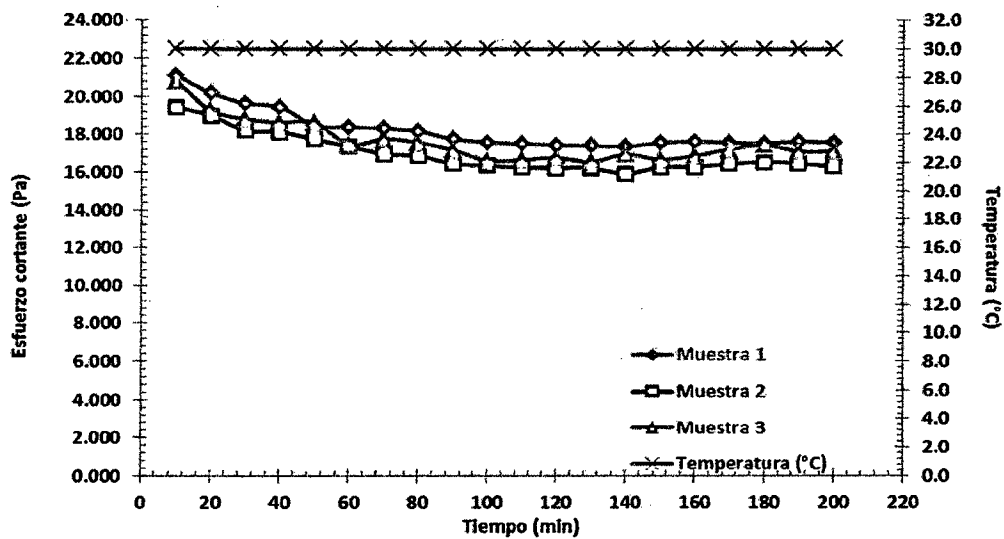


Gráfico 6: Reograma de Viscosidad de la pulpa de mango Edward liofilizada y reconstituida dependiente del tiempo

Al igual que en la pulpa de mango sin liofilizar, esta disminución no lo hace de forma progresiva después de los 120 min se mostró aumentos de viscosidad, así que no se puede inferir con seguridad que su comportamiento sea tixotrópico, se tendría que evaluar por un periodo de mayor tiempo, para determinar si la viscosidad más allá de los 200 min va aumentando o en efecto sigue disminuyendo.

4.4. Comparación del comportamiento Reológico de la pulpa de mango fresca y pulpa de mango liofilizada y reconstituida.

4.4.1. Comparación del comportamiento Reológico de la pulpa de mango fresca y pulpa de mango liofilizada y reconstituida independiente del tiempo.

Con el objetivo de apreciar mejor el efecto de la liofilización en la pulpa de mango fresca al ser liofilizada y reconstituida se realizó el gráfico 7.

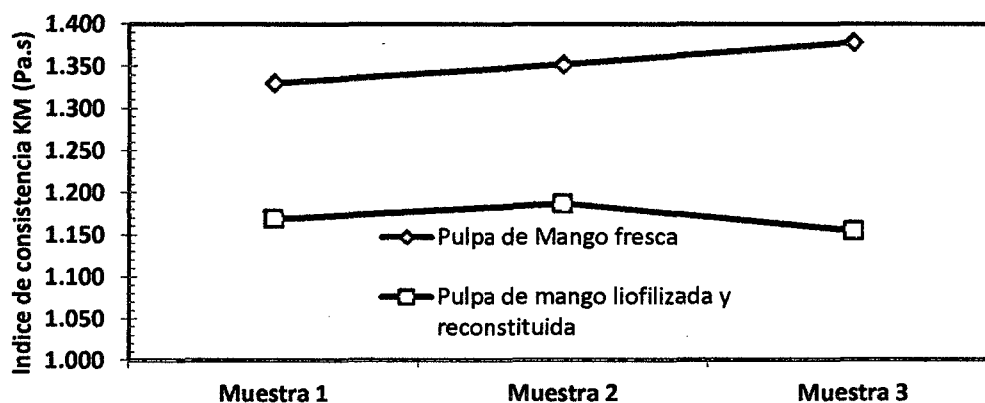


Gráfico 7: Índice de Consistencia de las muestras de pulpa de mango fresca y pulpa de mango liofilizada y reconstituida.

Del gráfico 7 se observa la disminución del índice de consistencia de la pulpa de mango al ser liofilizada y reconstituida.

El índice de consistencia en un fluido no newtoniano está relacionado directamente con la viscosidad, al disminuir el índice de consistencia también

lo va hacer la viscosidad tal como se muestra en el gráfico 7. La pulpa de mango liofilizada al ser reconstituida no varió su ° Brix, pero originó un cambio en su estructura y por ende una variación en el tamaño de las partículas suspendidas.

Gonzales y Soto (2009), concluyen que el proceso de liofilización genera una modificación en su estructura de la pulpa refinada de mango lo que ocasiona dificultad para su reconstitución, al ser llevadas nuevamente a su concentración original. Hecho que constato al ver reducidos los valores de viscosidad aparente en la pulpa liofilizada de mango.

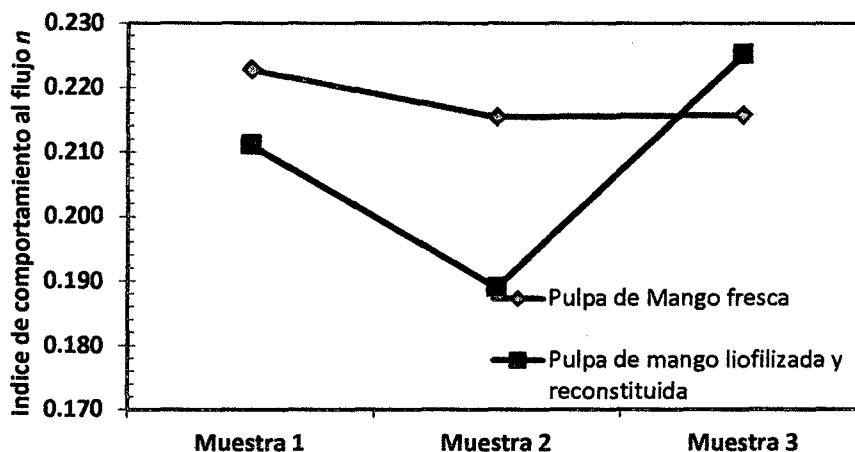


Gráfico 8: Índice de Comportamiento al flujo de las muestras de pulpa de mango fresca y pulpa de mango liofilizada y reconstituida.

Del gráfico 8, se puede ver en la muestra 3 un aumento en el índice de comportamiento al flujo de la pulpa de mango liofilizada y reconstituida, lo cual difiere de lo obtenido en la gráfico 5 y 7, esto nos indica que el índice de comportamiento al flujo no depende del índice de consistencia, y tampoco depende la viscosidad.

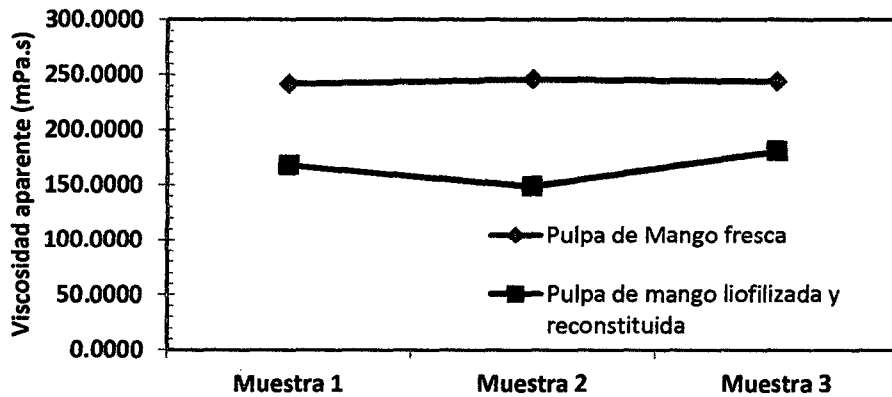
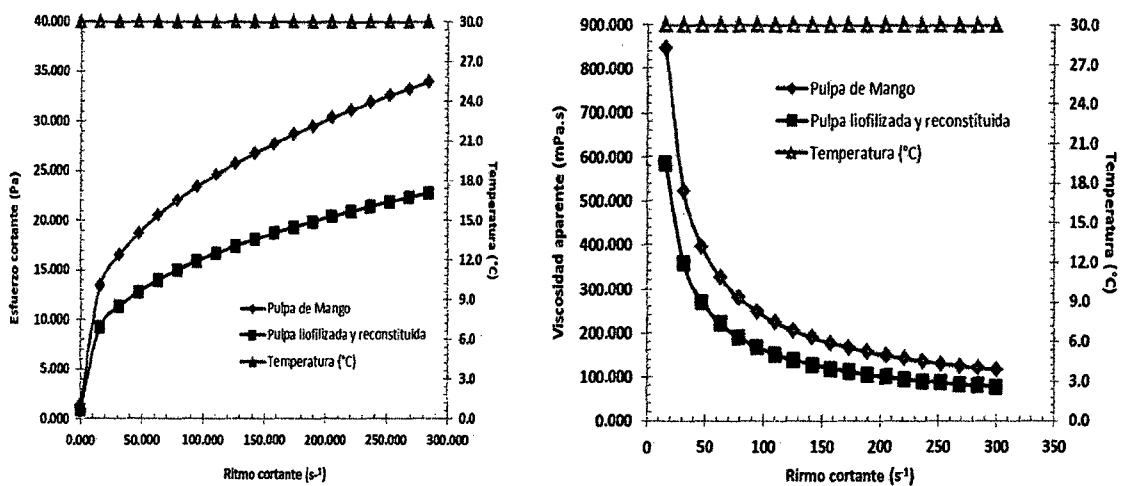


Gráfico 9: Viscosidad aparente de las muestras de pulpa de mango fresca y pulpa de mango liofilizada y reconstituida.



a) Curva de fluidez de Esfuerzo cortante vs ritmo cortante

b) Reograma de Viscosidad aparente vs ritmo cortante

Gráfico 10: Comportamiento reológico de la pulpa de mango fresca y pulpa de mango liofilizada y reconstituida independiente del tiempo.

Del gráfico 10 se aprecia que efectivamente la liofilización tuvo un efecto en el esfuerzo cortante y por tanto también en la viscosidad. La pulpa liofilizada y reconstituida ha tenido una disminución del esfuerzo cortante con respecto a la pulpa de mango fresca como se observa en el gráfico 10-a). Y al

haber una disminución del esfuerzo cortante esta disminución se ve reflejada también en la viscosidad tal como se muestra en el gráfico 9 y 10-b). Ambas lecturas se hicieron a una temperatura de 30°C para evitar el efecto de la temperatura. Los 18 °Brix de la pulpa de mango fresca no variaron al ser reconstituido después del liofilizado.

Geankoplis (1998), menciona que en la liofilización el factor principal es la rigidez estructural que se preserva en la sustancia congelada cuando se verifica la sublimación. Esto evita el colapso de la estructura porosa después del secado. Al añadir agua posteriormente, el producto rehidratado retiene la mayor parte de su estructura original.

En el gráfico 9 y 10, también se puede deducir que la pulpa de mango al ser liofilizada y luego reconstituida agregándole el agua que perdió durante el liofilizado no conservo al 100% su estructura original ocasionando con esto la disminución del esfuerzo cortante y por ende su viscosidad.

4.4.2. Comparación del comportamiento Reológico de la pulpa de mango fresca y pulpa de mango liofilizada y reconstituida dependiente del tiempo.

Tanto la pulpa de mango fresca como la pulpa de mango liofilizada y reconstituida muestran un similar comportamiento con respecto al tiempo, tal como se muestra en el gráfico 11. La viscosidad disminuye con respecto al tiempo hasta aproximadamente los 120 min luego la disminución es lenta casi constante con algunas pequeñas subidas de viscosidad pero que dentro de los 200 min de exposición a la misma velocidad de deformación (25 RPM) no es mayor que el valor de la viscosidad a los 10 min.

Se puede inferir que para ambas muestras de pulpa de mango fresca y pulpa de mango liofilizada y reconstituida hasta los 200 min muestra un comportamiento del tipo tixotrópico. Ambas muestras han sufrido un ablandamiento dependiente del tiempo.

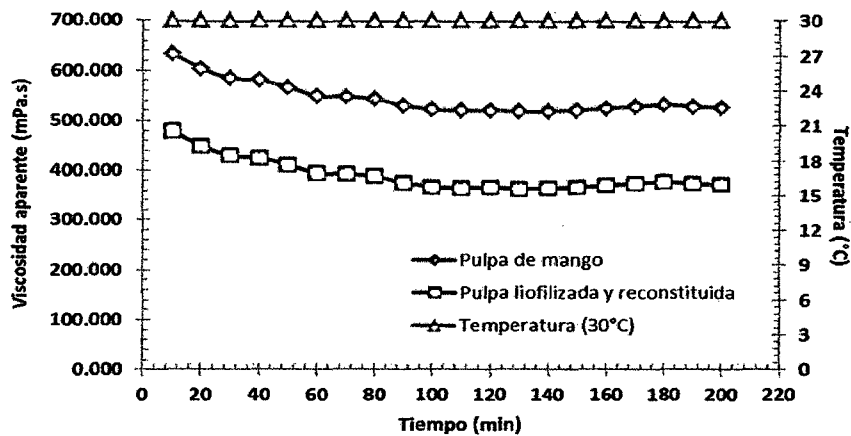


Gráfico 11: Comportamiento reológico de la pulpa de mango fresca y pulpa de mango liofilizada y reconstituida dependiente del tiempo.

En tanto del gráfico 11, también se observa que la viscosidad aparente de la pulpa liofilizada y reconstituida muestra menor viscosidad respecto al tiempo que la pulpa de mango fresca. Esto es por efecto del liofilizado ya que al ser reconstituida percibió un cambio en su estructura interna que produjo la disminución de la viscosidad, pero conservo aun su comportamiento tixotrópico.

Ramírez (2006), manifiesta que los fluidos tixotrópicos se caracterizan por un cambio de su estructura interna al aplicar un esfuerzo. Esto produce la rotura de las largas cadenas que forman sus moléculas. Pero esta estructura puede volver a recuperar su forma inicial dejándola un tiempo en reposo.

4.5. Comportamiento Reológico de la Pulpa de Mango con Encapsulantes

4.5.1. Influencia de los encapsulantes en la pulpa de mango variedad Edward

Se realizó el análisis fisicoquímico de las mezclas de pulpa de mango con encapsulantes con la finalidad de ver en cuanto influyen los encapsulantes en su composición fisicoquímica de la pulpa de mango.

Tabla 15: Análisis fisicoquímico de la pulpa de mango con encapsulantes.

Composición		Humedad (%)	Solidos Totales (%)	°Brix	Acidez*	pH
Maltodextrina	Goma Arabiga					
2.0%	0.0%	76.3	23.7	19	0.2112	5.09
1.5%	0.5%	76.0	24.0	18.5	0.2368	4.95
1.0%	1.0%	75.5	24.5	19	0.2304	4.90
0.5%	1.5%	75.8	24.2	18	0.2368	5.00
0.0%	2.0%	75.2	24.8	18	0.224	4.86
Testigo		77.4	22.6	18	0.288	4.94

* Acidez titulable en % de ácido cítrico.

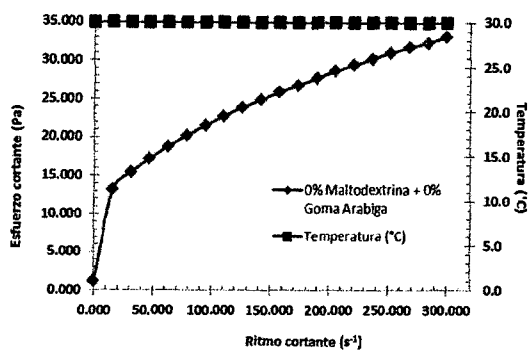
Ceballos (2008) en el análisis bromatológico de la pulpa de guanábana con y sin adición de maltodextrina reporto un aumento del pH y °Brix, además reporta una disminución de la acidez y la Humedad al agregarle maltodextrina a la pulpa de guanábana. En la tabla 15, se muestra un aumento del pH (5.09) y °Brix (19) para la maltodextrina con respecto al testigo, además muestra la disminución del porcentaje de acidez (0.2112 %) y la disminución de porcentaje de humedad (76.3%) respecto a la pulpa testigo sin encapsulantes. Concordando estos resultados con lo reportado por Ceballos. La humedad de la pulpa con goma arábica (75.2%) fue menor que con maltodextrina (76.3%) lo cual coincide con los resultados de Mosquera (2010) quien realizó una caracterización de solutos de alto peso molecular

(maltodextrina y goma arábica), obteniendo mayor contenido de humedad para la maltodextrina relacionando estos resultados con sus peso moleculares. De hecho, Vernon – Carter et al. (1998) estiman el peso molecular promedio para la goma arábica con un valor de 584000 g/mol, mientras que Bonyai et al. (2004) establecen valores de pesos moleculares para maltodextrina con DE entre 5 y 36 en un intervalo entre 3600 y 500 g/mol.

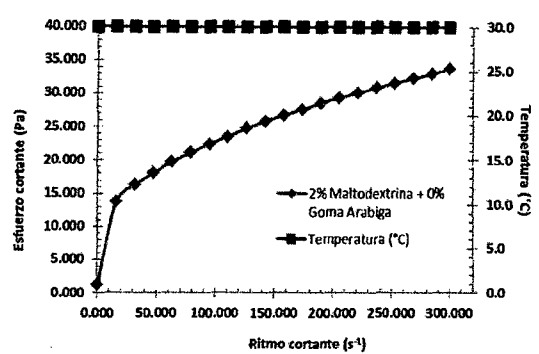
Lopez, Carvajal y Millan (2009) establecen que la maltodextrina aumenta los °Brix sin influir mucho en la viscosidad a diferencia de la goma arábica que aumenta la viscosidad sin influir mucho en sus °Brix. Tal como se muestra en nuestros resultados obtenidos.

4.5.2. Determinación del modelo Reológico de la pulpa de mango Edward con encapsulantes

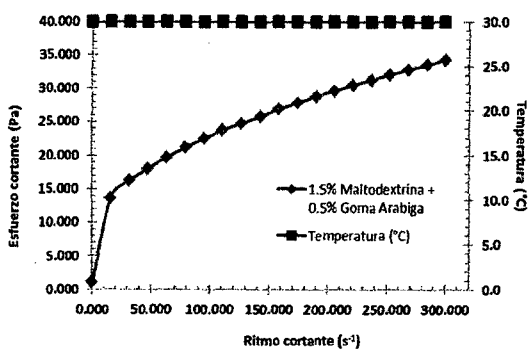
Se realizaron mezclas de pulpa de mango con encapsulantes (0% Maltodextrina – 0% Goma Arábica, 2% Maltodextrina – 0% Goma Arábica, 1.5% Maltodextrina – 0.5% Goma Arábica, 1% Maltodextrina – 1% Goma Arábica, 0.5% Maltodextrina – 1.5% Goma Arábica y 0% Maltodextrina – 2% Goma Arábica) y se realizó la curva de fluidez para cada una de las mezclas, tal como se muestra en el gráfico 12.



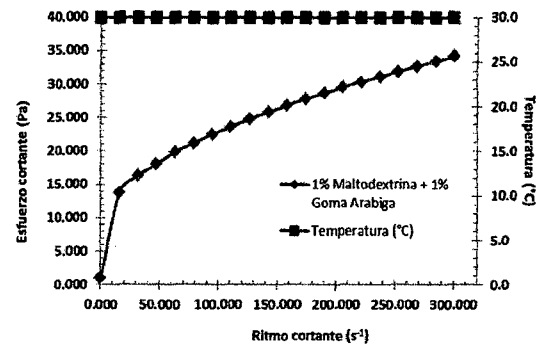
a) Curva de fluidez de 0%MD - 0%GA



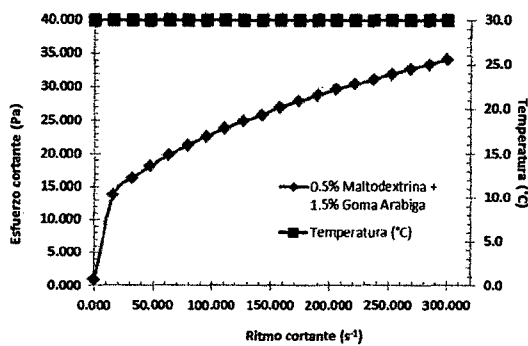
b) Curva de fluidez de 2%MD - 0%GA



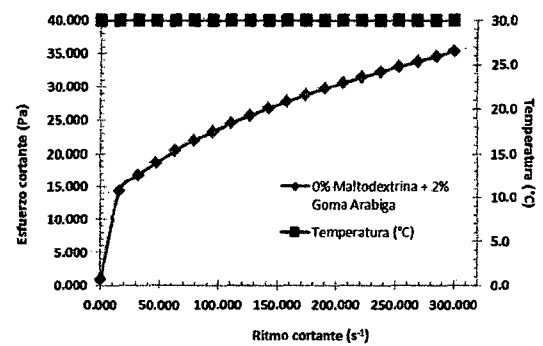
c) Curva de fluidez de 1.5%MD - 0.5%GA



d) Curva de fluidez de 1%MD - 1%GA



e) Curva de fluidez de 0.5%MD - 1.5%GA



f) Curva de fluidez de 0%MD - 2%GA

Gráfico 12: Curva de fluidez (ritmo cortante vs esfuerzo cortante) de las mezclas de pulpa de mango con encapsulantes.

Del gráfico 12 se observa que para todas las mezclas de pulpa de mango con encapsulantes el esfuerzo cortante va aumentando a medida que al ritmo cortante se le aumenta

Las curvas de fluidez de las mezclas de pulpa de mango con encapsulantes se ajustaron a los modelos reológicos de Ostwald – Waele, Casson, Herschel – Bulkley y Mizrahi – Berk y se buscó la que mejor se correlaciona determinando para esto los parámetros estadísticos de chi-cuadrado (X^2), suma del cuadrado de los residuos (SSR) y coeficiente de regresión (R^2), tal como se muestra en la tabla 16.

Tabla 16: Parámetros estadísticos del ajuste de los datos obtenidos de la pulpa de mango con encapsulantes a los modelos reológicos.

Mezclas		Ostwald - Waele	Casson	Herschel - Bulkley	Mizrahi - Berk
0% Maltodextrina + 0% Goma Arabiga	X^2	1.3528	20.1318	0.2364	0.1097
	SSR	4.7901	2.5599	2.7108	0.0279
	R^2	0.9960	0.8808	0.9977	0.9987
2% Maltodextrina + 0% Goma Arabiga	X^2	1.3552	22.6061	0.1479	0.0683
	SSR	3.9776	2.8409	1.9050	0.0173
	R^2	0.9967	0.8676	0.9984	0.9992
1.5% Maltodextrina + 0.5% Goma Arabiga	X^2	1.2020	25.0704	0.1876	0.0826
	SSR	3.9520	2.9571	2.2641	0.0209
	R^2	0.9969	0.8691	0.9982	0.9991
1% Maltodextrina + 1% Goma Arabiga	X^2	1.1358	27.5524	0.1993	0.0893
	SSR	3.9414	3.1137	2.4286	0.0226
	R^2	0.9968	0.8626	0.9981	0.9990
0.5% Maltodextrina + 1.5% Goma Arabiga	X^2	1.1060	28.1978	0.1641	0.0725
	SSR	3.4354	3.1674	2.0002	0.0184
	R^2	0.9972	0.8602	0.9984	0.9992
0% Maltodextrina + 2% Goma Arabiga	X^2	1.0208	33.3798	0.2176	0.0987
	SSR	3.7914	3.4607	2.5560	0.0251
	R^2	0.9972	0.8563	0.9981	0.9990

En la tabla 16 se observa que para todas las muestras de pulpa de mango con encapsulantes el modelo Mizrahi – Berk es el que mejor se correlaciona

4.5.3. Comportamiento Reológico de las mezclas de pulpa de mango Edward con encapsulantes ajustados al Modelo Mizrahi – Berk.

Se realizaron curvas de fluidez de las mezclas de pulpa de mango con encapsulantes y se ajustaron al modelo Mizrahi – Berk, tal como se observa en el gráfico 13. El ajuste de las curvas de fluidez se realizó con el fin de

obtener los parámetros reológicos K_M (índice de consistencia) y n (índice de comportamiento al flujo) la cual se muestra en la Tabla 17.

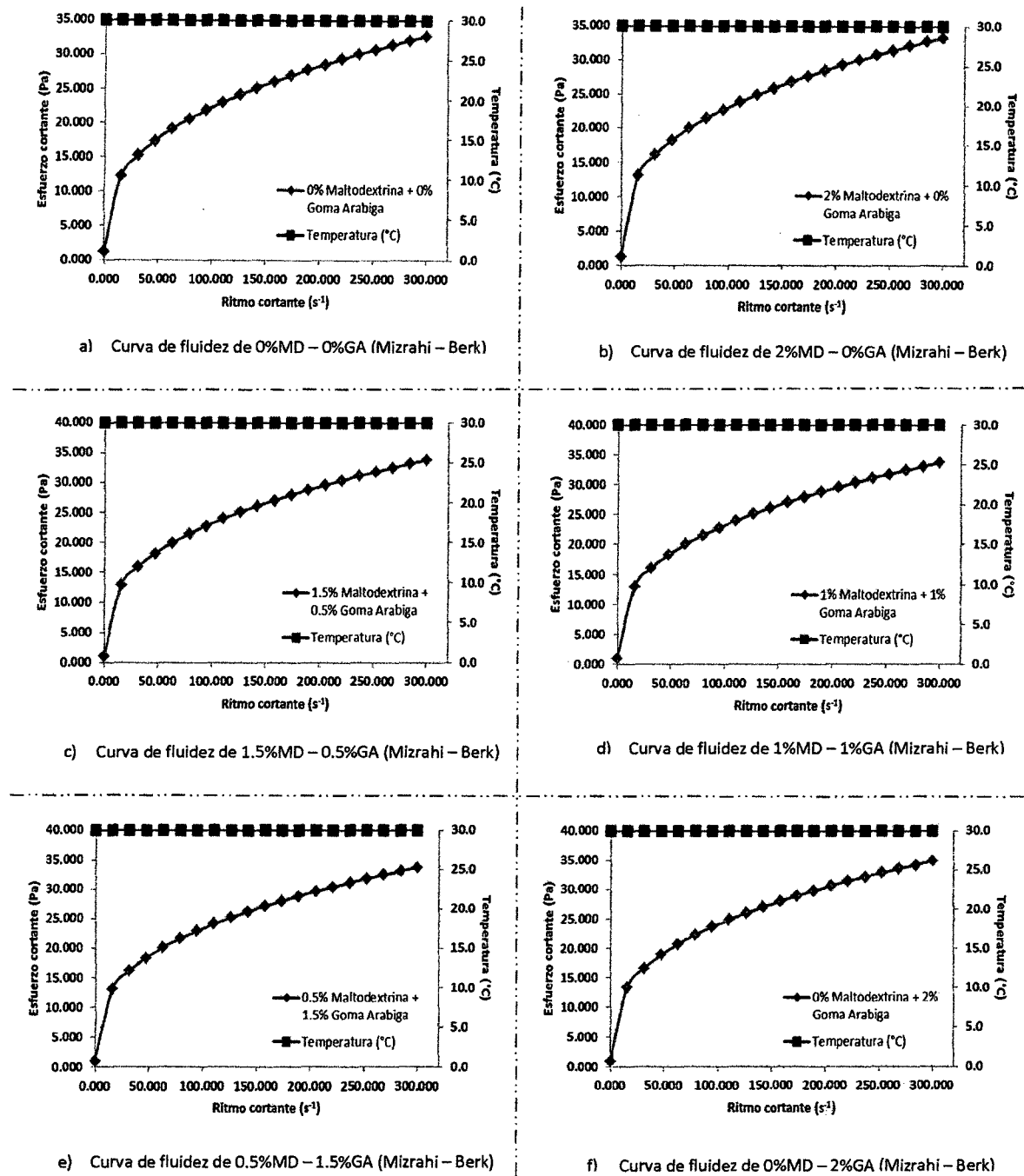


Gráfico 13: Curva de fluidez (ritmo cortante vs esfuerzo cortante) de las mezclas de pulpa de mango con encapsulantes ajustadas al Modelo Mizrahi - Berk.

Tabla 17: Parámetros reológicos de las mezclas de pulpa de mango Edward con encapsulantes ajustados al modelo Mizrahi – Berk.

	30°C					
	Testigo	2%MD - 0%GA	1.5%MD - 0.5%GA	1%MD - 1%GA	0.5%MD - 1.5%GA	0%MD - 2%GA
$K_{OM}(\text{Pa})^{0.5}$	1.081	1.109	1.029	0.995	0.991	0.932
$K_M(\text{Pa.s})$	1.313	1.399	1.426	1.472	1.487	1.561
n	0.221	0.211	0.212	0.207	0.206	0.203
Error K_{OM}	0.0404	0.0318	0.0350	0.0364	0.0328	0.0383
Error K_M	0.0388	0.0315	0.0345	0.0364	0.0330	0.0389
Error n	0.0044	0.0034	0.0036	0.0037	0.0033	0.0037
X^2	0.1097	0.0683	0.0826	0.0893	0.0725	0.0987
SSR	0.0279	0.0173	0.0209	0.0226	0.0184	0.0251
R^2	0.9987	0.9992	0.9991	0.9990	0.9992	0.9990

En la Tabla 17 y del gráfico 15 se observa que para todas las mezclas de pulpa de mango con encapsulantes se obtuvo un índice de comportamiento al flujo (n) menor que 1, esto según Quintáns (2009), señala que para $n < 1$ indica un comportamiento pseudoplástico.

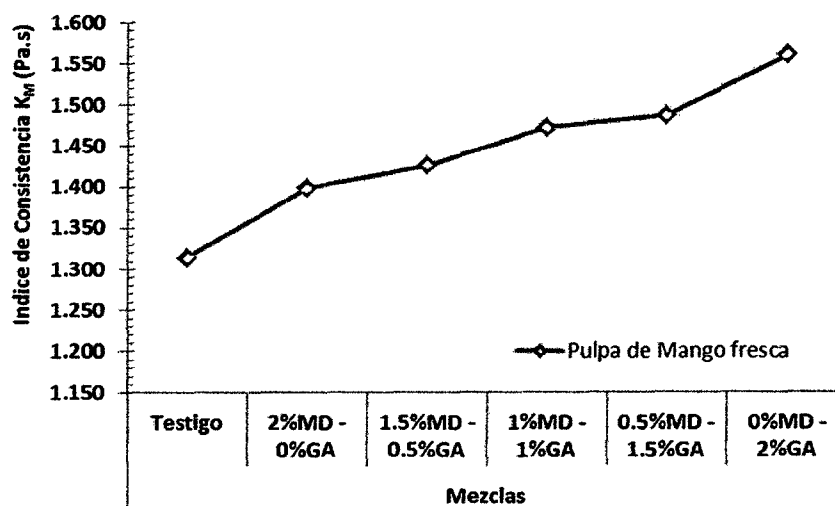


Gráfico 14: Valores de Índice de Consistencia K_M de las mezclas de pulpa de mango con encapsulantes.

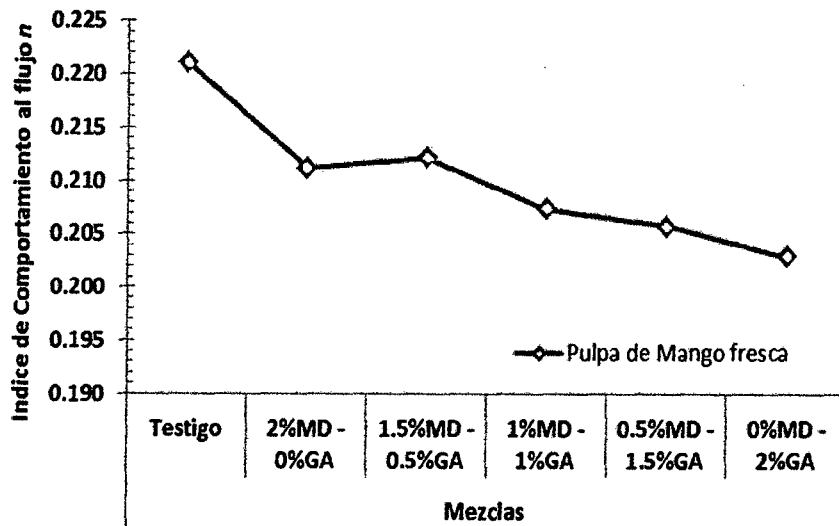


Gráfico 15: Valores de Índice de Comportamiento al flujo n de las mezclas de pulpa de mango con encapsulantes.

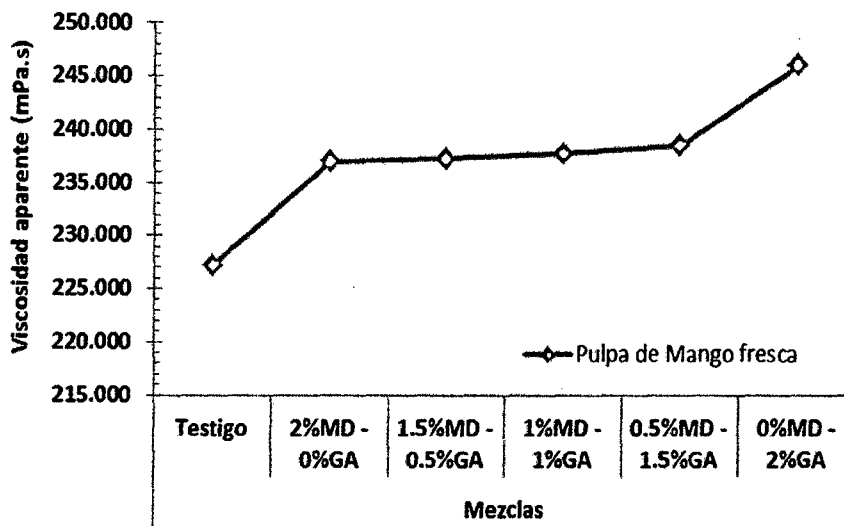


Gráfico 16: Valores de Viscosidad aparente de las mezclas de pulpa de mango con encapsulantes.

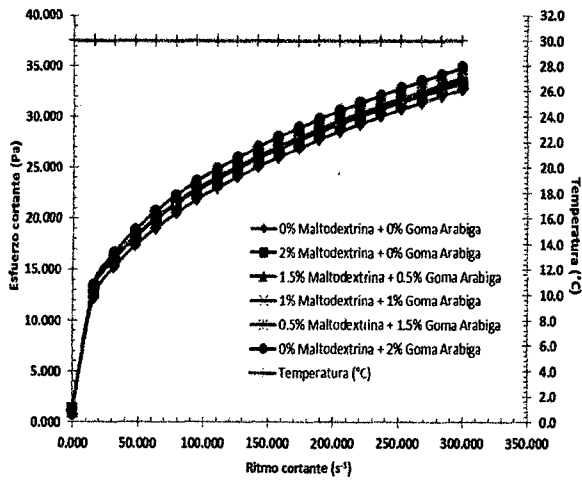
Del gráfico 16 se observa que todas las muestras de pulpa con encapsulantes muestran una mayor viscosidad respecto a la muestra testigo (pulpa de mango sin encapsulante). Y que la muestra de pulpa de mango con

0%MD – 2%GA muestra mayor viscosidad respecto a las demás muestras, lo cual también se puede apreciar en el gráfico 15 y en la tabla 17 un mayor valor de índice de consistencia ($K_M = 1.561\text{Pa.s}$).

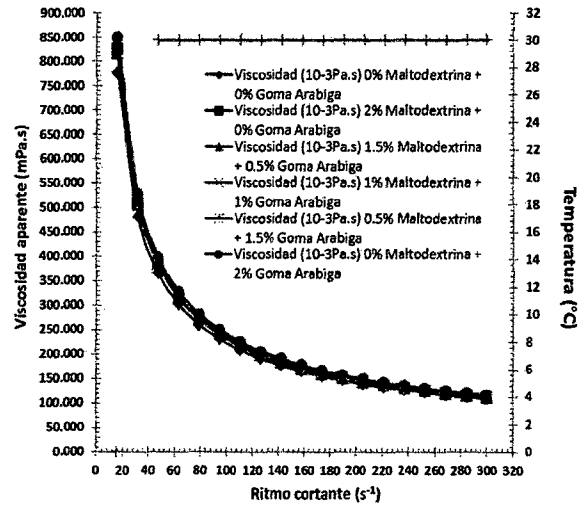
La razón por la cual la Goma Arábica según Owen (2000) citado por López, Carvajal y Millan (2009) proporciona un aumento en la viscosidad es su capacidad de formar gel constituido por una red macromolecular. En efecto, la asociación de cadenas o de segmentos de cadenas produce un aumento en el espacio y, por lo tanto de la viscosidad. En la medida que las cadenas se organizan entre sí, el gel se hace más rígido, lo que indica un aumento de las características reológicas.

Para el caso de la pulpa con 2% MD – 0%GA muestra un índice de consistencia ($K_M = 1.399\text{ Pa.s}$) menor con respecto a las otras muestras con encapsulantes. Lo cual según Hodge, Osman y Owen (1982) citado por López, Carvajal y Millan (2009) manifiesta que la maltodextrina debido a su gran número de ramificaciones adquiere una forma helicoidal de tamaño pequeño logrando volúmenes más pequeños, dando como resultado una mínima viscosidad.

En su investigación López, Carvajal y Millan (2009) establecen que la maltodextrina aumenta el °Brix sin influir mucho en la viscosidad a diferencia de la goma arábica que aumenta la viscosidad sin influir mucho en su °Brix. Tal como se muestra en nuestros resultados obtenidos.



a) Curva de fluidez de Esfuerzo cortante vs ritmo cortante



b) Reograma de Viscosidad aparente vs ritmo cortante

Gráfico 17: Comportamiento reológico de las mezclas de pulpa de mango con encapsulantes.

Del gráfico 17-a) curva de fluidez de las mezclas de pulpa de mango con encapsulantes se observa que a medida que se aumenta el ritmo cortante va aumentando también el esfuerzo cortante, en cambio del gráfico 17-b) reograma de viscosidad de las mezclas de mango con encapsulantes se observa que a medida que aumenta el ritmo cortante disminuye la viscosidad aparente describiendo un comportamiento de un fluido no newtoniano del tipo pseudoplástico, al igual que en su investigación de Vargas y Duarte (2006) & Gonzales y Soto (2009), describen a la pulpa de mango un descenso de la viscosidad aparente a medida que aumenta la velocidad de deformación, definiendo de esta manera, el comportamiento no newtoniano, de tipo pseudoplástico.

4.6. Perfiles de Temperatura durante la Liofilización de la Pulpa de Mango con Encapsulantes

4.6.1. Perfil de temperatura de la liofilización de la pulpa de mango variedad Edward (Testigo)

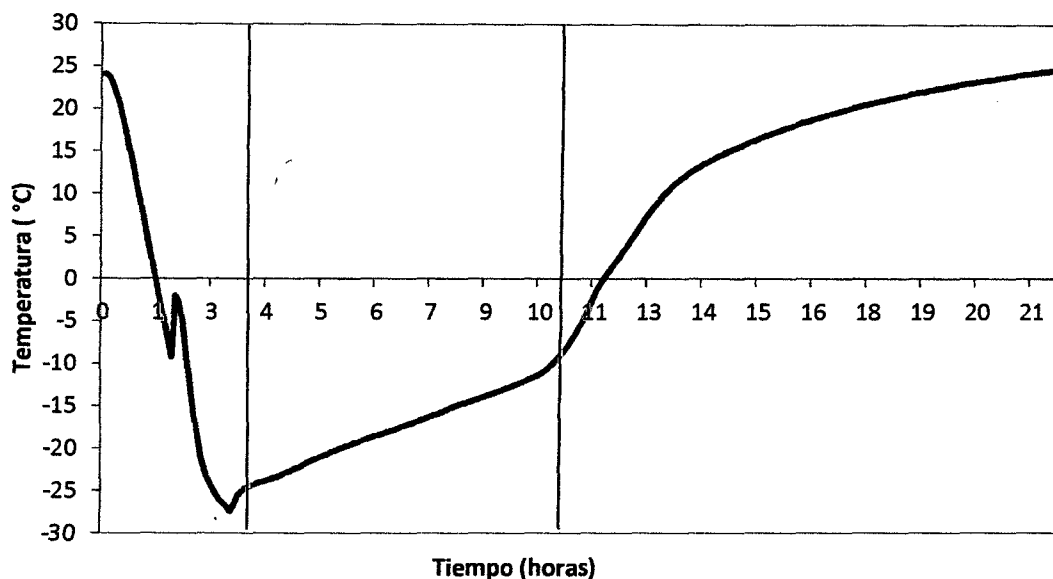


Gráfico 18: Perfil de temperaturas de la Pulpa de Mango liofilizada (Testigo)

El perfil presenta las tres etapas de proceso de liofilización de la Pulpa Testigo con un total de 22 horas de proceso. El proceso de inicia con la pulpa a 24°C, el periodo de congelación toma 3.5 horas con una velocidad de 0.23°C/min (congelación rápida) el punto de sobre enfriamiento alcanza -8.3°C la temperatura Eutéctica es -1.2°C y la temperatura final de congelación es -27°C. Para el Proceso de sublimación se aplicó vacío a 0.5mbar tomando un periodo de 6.5 horas finalmente el periodo de Desorción o Secado toma 12 horas donde temperatura final es de 25°C. Estos resultados son similares a los realizados por Marulanda, J. M. (2002) en su trabajo Determinación del Perfil de Calentamiento de la pulpa de Mango Liofilizada variedad Tommy Atkins presenta un perfil de temperatura inicial de la pulpa 22°C, la temperatura completa de solidificación es de -30°C y para el proceso de sublimación se controló un vacío 0.5mBar y 1 mBar, para la

desorción la temperatura final es de 32°C., la diferencia es el tiempo total del proceso (4.1 horas y 22 horas) la diferencia si es amplia debido a que el liofilizador utilizado en nuestro trabajo es por convección.

4.6.2. Perfil de temperatura de la liofilización de la pulpa de mango variedad Edward (2%Maltodextrina)

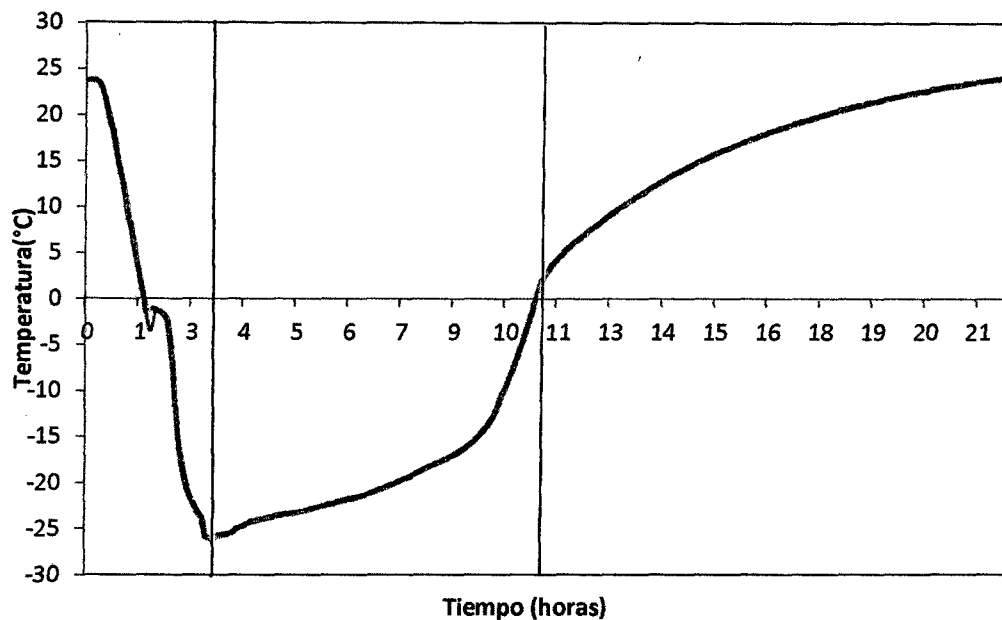


Gráfico 19: Perfil de temperaturas de la liofilización de la Pulpa de Mango con 2 % de Maltodextrina.

El perfil presenta un comportamiento similar a las testigo su punto de inicio es 24.5°C la velocidad de congelación es 0.22°C/min la temperatura de sobreenfriamiento alcanza -3.31°C esta si es diferente a la testigo (-8.3°C) temperatura eutéctica -1.2°C, el tiempo de congelamiento es 3.5 horas (congelación rápida) la temperatura final de solidificación es -25.95°C y el tiempo fue igual a la testigo (3.5 horas). Para el proceso de sublimación toma 6.5 horas con un vacío de 0.5mbar finalmente la etapa de Desorción alcanza la temperatura de 24°C con un tiempo de 12 horas. De acuerdo a los datos obtenidos por *Marulanda, J.M.(2002)* los parámetros son similares la diferencia radica en el punto de sobre enfriamiento la cual es diferente a la muestra testigo de nuestro trabajo -3.31°C y -8.3°C. El incremento en la

concentración de los solutos (2%Maltodextrina) durante la congelación provoca cambios en la viscosidad a medida que la temperatura desciende las sustancias disueltas contenidas en el mango cristalizan hasta alcanzar el equilibrio con el líquido no congelado y hielo se halla la Temperatura Eutética.

4.6.3. Perfil de temperatura de la liofilización de la pulpa de mango variedad Edward (1.5%Maltodextrina-0.5%Goma Arábica)

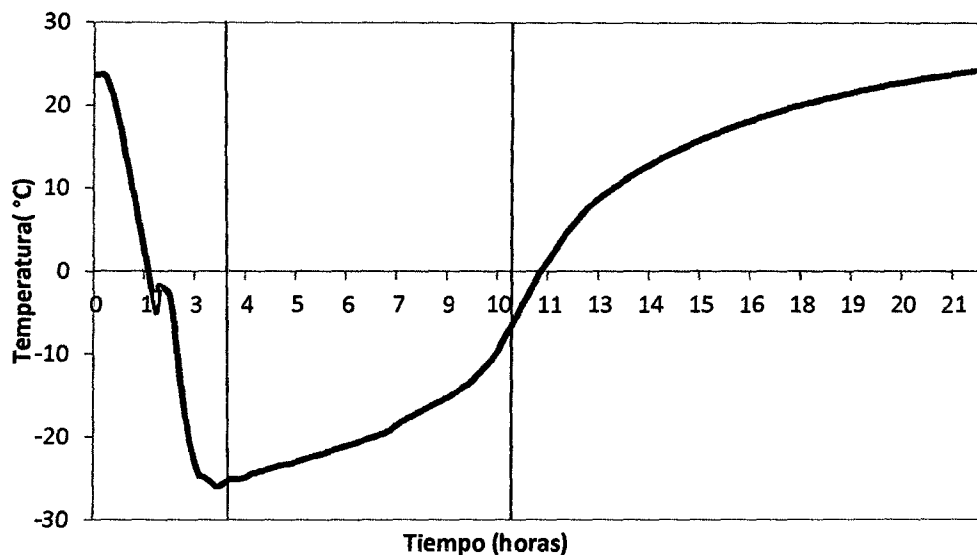


Gráfico 20: Perfil de temperaturas de la liofilización de la Pulpa de Mango con 1.5 % de Maltodextrina y 0.5% de Goma Arábica.

El perfil presenta para la etapa de congelación velocidad de congelación es $0.22^{\circ}\text{C}/\text{min}$ la temperatura de sobrenfriamiento alcanza -4.9°C diferente a la testigo (-8.3°C), temperatura eutética -1.68°C , el tiempo de congelamiento es 3.5 horas (congelación rápida) la temperatura final de solidificación es -25.95°C y el tiempo fue igual a la testigo (3.5 horas). Para el proceso de sublimación toma 66.5 horas con un vacío de 0.5mbar finalmente la etapa de Desorción alcanza la temperatura de 24°C con un tiempo de 12.

horas. De acuerdo a los datos obtenidos por Marulanda, J.M. (2002) los parámetros son similares la diferencia radica en el punto de sobre enfriamiento la cual es diferente a la testigo -4.9°C y -8.3°C . La combinación de Maltodextrina y Goma Arábica producen cambios en la temperatura de sobrenfriamiento debido al incremento en la concentración de solutos durante la congelación.

4.6.4. Perfil de temperatura de la liofilización de la pulpa de mango variedad Edward (1%Maltodextrina-1%Goma Arábica)

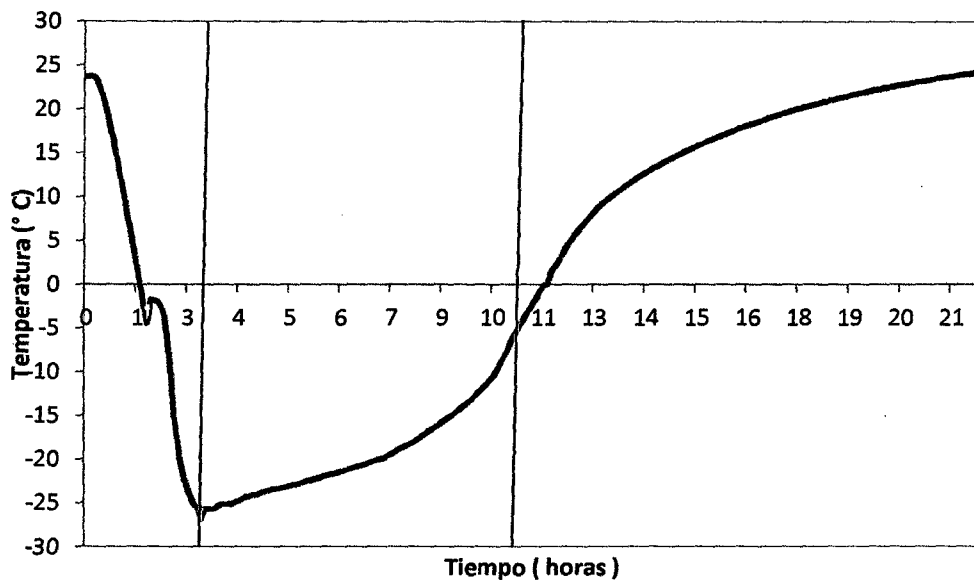


Gráfico 21: Perfil de temperaturas de la liofilización de la Pulpa de Mango con 1% de Maltodextrina y 1% de Goma Arábica.

El perfil presenta para la etapa de congelación velocidad de congelación es $0.22^{\circ}\text{C}/\text{min}$ la temperatura de sobrenfriamiento alcanza -4.49°C diferente a la testigo (-8.3°C), temperatura eutéctica -1.69°C similar a la anterior (1.5%MD y 0.5%GA), el tiempo de congelamiento es 3.5 horas (congelación rápida) igual a la testigo la temperatura final de solidificación es -26.89°C y. Para el proceso de sublimación toma 6 horas con un vacío de

5mbar finalmente la etapa de Desorción alcanza la temperatura de 24°C con un tiempo de 9.5 horas. De acuerdo a los datos obtenidos por Marulanda, J.M. (2002) los parámetros son similares la diferencia radica en el punto de sobre enfriamiento la cual es diferente a la testigo -4.9°C y -8.3°C. De mismo modo que la mezcla anterior la temperatura de sobreenfriamiento varía por la concentración de solutos contenidos en mezcla de pulpa de mango con Maltodextrina y Goma Arábica influyendo en la temperatura eutéctica del producto.

4.6.5. Perfil de temperatura de la liofilización de la pulpa de mango variedad Edward (0.5%Maltodextrina-1.5%Goma Arábica)

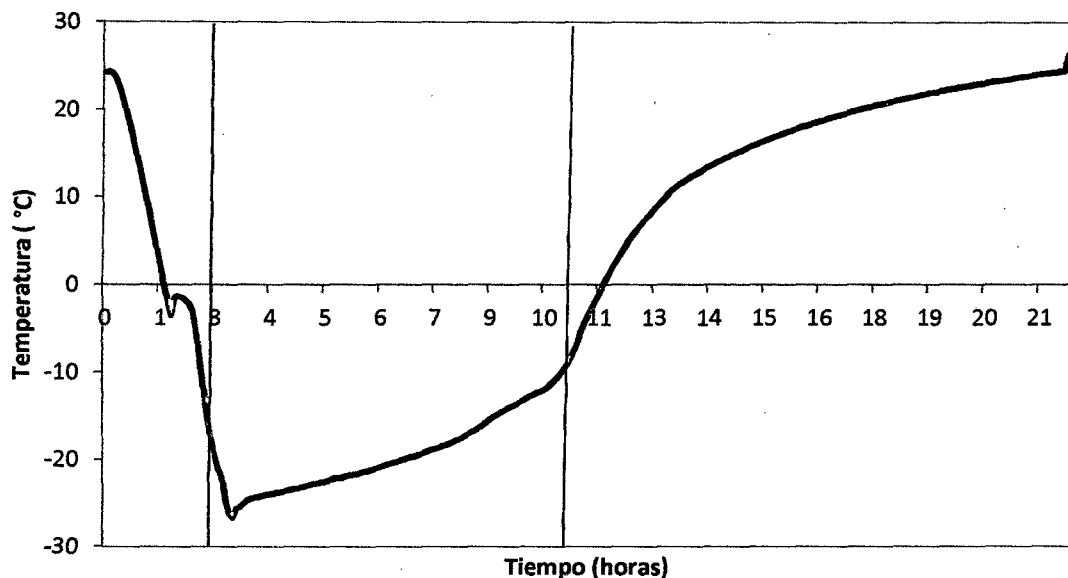


Gráfico 22: Perfil de temperaturas de la liofilización de la Pulpa de Mango con 0.5% de Maltodextrina y 1.5% de Goma Arábica.

El perfil presenta para la etapa de congelación velocidad de congelación es 0.22°C/min la temperatura de sobreenfriamiento alcanza -3.49°C diferente a la testigo (-8.3°C), temperatura eutéctica -1.28°C similar a la anterior el tiempo de congelamiento es 3.5 horas (congelación rápida) igual a la testigo la temperatura final de solidificación es -26.65°C similar a 1.5%MD - 0.5%GA y. Para el proceso de sublimación toma 6 horas con un vacío de

5mbar finalmente la etapa de Desorción alcanza la temperatura de 24°C con un tiempo de 9.5 horas. De acuerdo a los datos obtenidos por Marulanda, J.M.(2002) los parámetros son similares la diferencia radica en el punto de sobre enfriamiento la cual es diferente a la testigo -3.49°C y -8.3°C. De mismo modo que la mezcla anterior la temperatura de sobreenfriamiento varía por la concentración de solutos contenidos en mezcla de pulpa de mango con Maltodextrina y Goma Arábica influyendo en la temperatura eutéctica del producto.

4.6.6. Perfil de temperatura de la liofilización de la pulpa de mango variedad Edward (2%Goma Arábica)

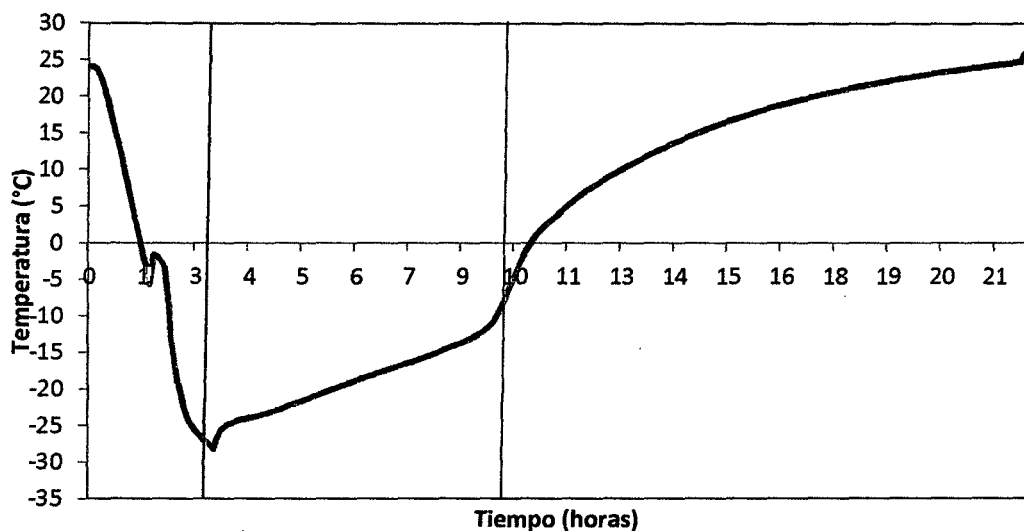


Gráfico 23: Perfil de temperaturas de la liofilización de la Pulpa de Mango con 0.0% de Maltodextrina y 2.0% de Goma Arábica.

El perfil presenta para la etapa de congelación velocidad de congelación es 0.22°C/min la temperatura de sobrenfriamiento alcanza -5.56°C diferente a la testigo (-8.3°C), temperatura eutéctica -1.6°C similar a la anterior, el tiempo de congelamiento es 3.5 horas (congelación rápida) igual a la testigo la temperatura final de solidificación es -27.5°C. Para el proceso de sublimación toma 6 horas con un vacío de 5mbar finalmente la etapa de Desorción alcanza la temperatura de 24°C con un tiempo de 9.5 horas. De

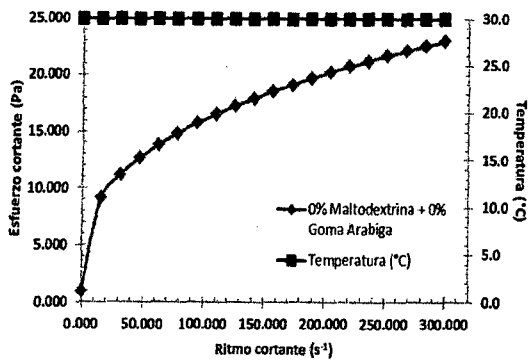
acuerdo a los datos obtenidos por Marulanda, J.M.(2002) los parámetros son similares la diferencia radica en el punto de sobre enfriamiento la cual es diferente a la testigo -5.56°C y -8.3°C . Siendo la que más se acerca a la testigo de todas las mezclas. De mismo modo que la mezcla anterior la temperatura de sobre-enfriamiento varía por la concentración de solutos contenidos en mezcla de pulpa de mango con Goma Arábica influyendo en la temperatura eutéctica del producto.

4.7. Comportamiento Reológico de la Pulpa de Mango con Encapsulantes

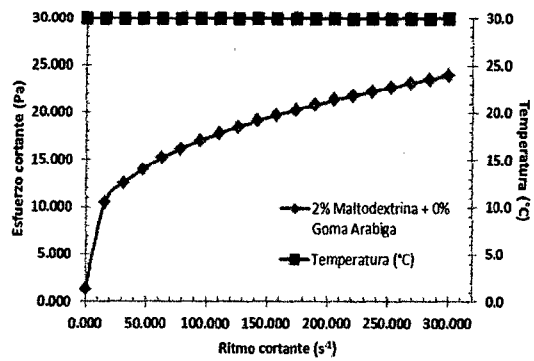
4.7.1. Determinación del modelo Reológico de la pulpa de mango Edward con encapsulantes liofilizada y reconstituida.

Una vez que estuvo las mezclas de pulpa de mango con encapsulantes liofilizadas se reconstituyeron y se analizó siguiendo la misma metodología que se hizo con estas mezclas antes de su liofilizado. Se realizaron curvas de fluidez, tal como se muestra en el gráfico 24 y luego se ajustaron al modelo Ostwald - Waele, Casson, Herschel – Bulkley y Mizrahi - Berk y se halló los parámetros estadísticos de chi-cuadrado (X^2), suma del cuadrado de los residuos (SSR) y coeficiente de regresión (R^2) con esto se determinó el modelo reológico que mejor se correlaciona a los datos obtenidos, tal como se muestra en la tabla 18.

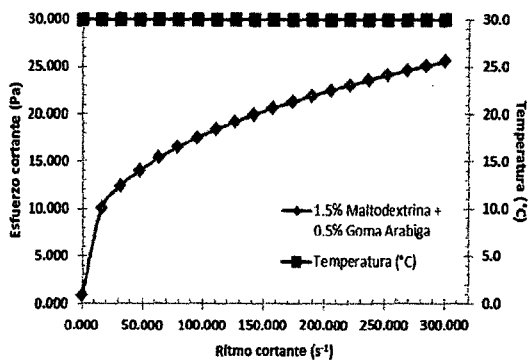
En el gráfico 24 se observa que para todas las mezclas de pulpa de mango con encapsulantes liofilizadas y reconstituidas el esfuerzo cortante va aumentando a medida que al ritmo cortante se le aumenta.



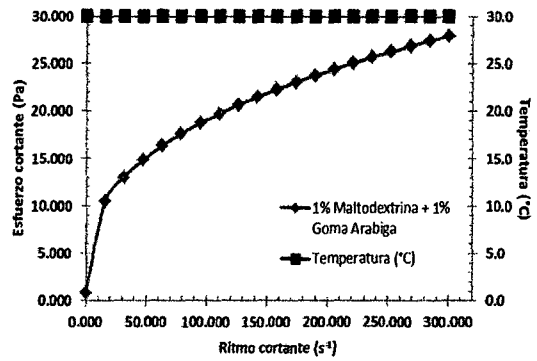
a) Curva de fluidez de 0%MD – 0%GA



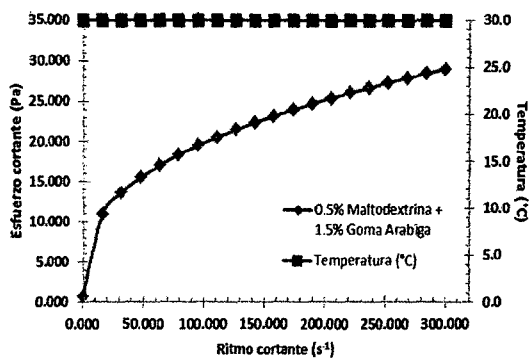
b) Curva de fluidez de 2%MD – 0%GA



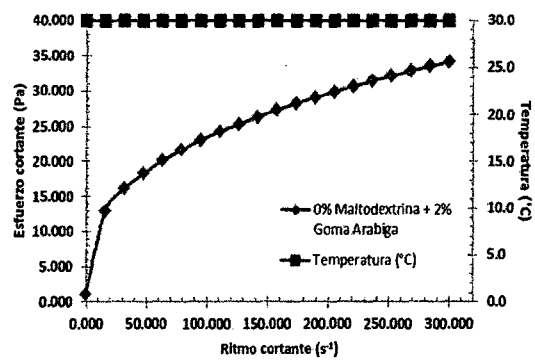
c) Curva de fluidez de 1.5%MD – 0.5%GA



d) Curva de fluidez de 1%MD – 1%GA



e) Curva de fluidez de 0.5%MD – 1.5%GA



f) Curva de fluidez de 0%MD – 2%GA

Gráfico 24: Curva de fluidez (ritmo cortante vs esfuerzo cortante) de las mezclas liofilizadas y reconstituidas de pulpa de mango con encapsulantes.

En la tabla 18 se observa que para todas las muestras de pulpa de mango con encapsulantes el modelo Mizrahi – Berk es el que mejor se correlaciona.

Tabla 18: Parámetros estadísticos del ajuste a los datos obtenidos de las mezclas de pulpa de mango con encapsulantes liofilizadas y reconstituidas a los modelos reológicos.

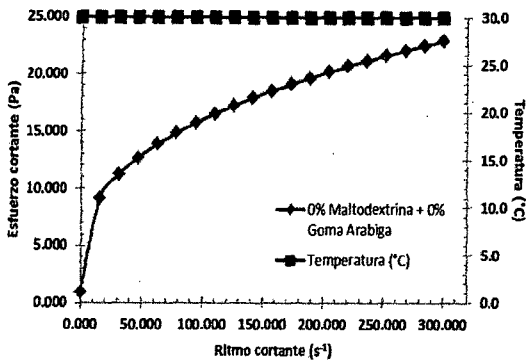
Mezclas		Ostwald - Waele	Casson	Herschel - Bulkley	Mizrahi - Berk
0% Maltodextrina + 0% Goma Arabiga	X ²	0.9313	14.9654	0.0055	0.0020
	SSR	0.9925	1.9640	0.0742	0.0005
	R ²	0.9982	0.8639	0.99987	0.99997
2% Maltodextrina + 0% Goma Arabiga	X ²	1.3853	14.3491	0.0362	0.0323
	SSR	2.5743	2.0627	0.6662	0.0081
	R ²	0.9955	0.8476	0.9988	0.9994
1.5% Maltodextrina + 0.5% Goma Arabiga	X ²	0.9295	19.0911	0.0576	0.0424
	SSR	1.8262	2.3278	0.9389	0.0106
	R ²	0.9974	0.8603	0.9987	0.9994
1% Maltodextrina + 1% Goma Arabiga	X ²	0.8715	21.8582	0.0836	0.0825
	SSR	2.3896	2.5389	1.7115	0.0206
	R ²	0.9972	0.8671	0.9980	0.9989
0.5% Maltodextrina + 1.5% Goma Arabiga	X ²	0.8838	24.4613	0.1270	0.0661
	SSR	2.1167	2.6953	1.2392	0.0168
	R ²	0.9977	0.8646	0.9987	0.9992
0% Maltodextrina + 2% Goma Arabiga	X ²	1.2006	25.5420	0.1871	0.0818
	SSR	3.9590	2.9981	2.2697	0.0207
	R ²	0.9969	0.8689	0.9982	0.9991

El modelo reológico propuesto por Mizrahi – Berk según Pelegrine, Vidal y Gasparetto (2000), es el mejor que se ha ajustado a la mayoría de reogramas de pulpa y purés de frutas, como los autores han desarrollado en base al modelo de una suspensión de partículas que interactúan en un disolvente pseudoplástico.

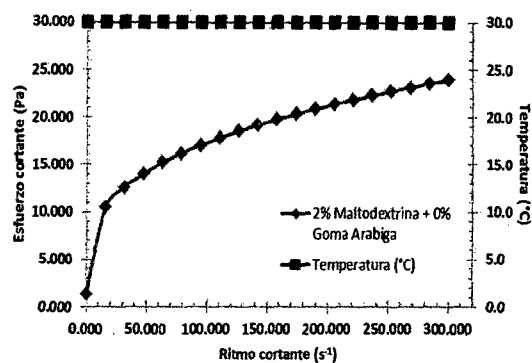
4.7.2. Determinación del modelo Reológico de las mezclas de pulpa de mango Edward con encapsulantes liofilizadas y reconstituidas ajustados al Modelo Mizrahi – Berk

Se realizaron las curvas de fluidez de las mezclas de pulpa de mango con encapsulantes liofilizadas y reconstituidas ajustadas al modelo reológico Mizrahi – Berk, tal como se muestra en la figura 25.

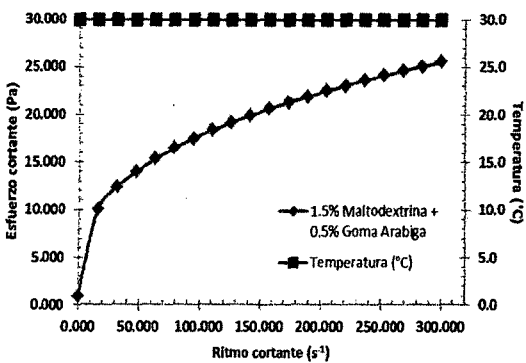
Se determinó mediante el ajuste de la curva de fluidez los parámetros reológicos K_M (Índice de consistencia) y n (índice de comportamiento al flujo), la cual se muestra en la Tabla 19



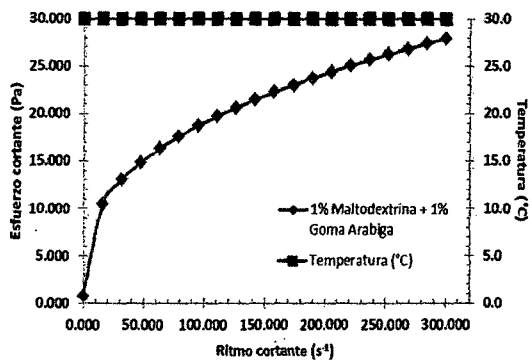
a) Curva de fluidez de 0%MD - 0%GA (Mizrahi - Berk)



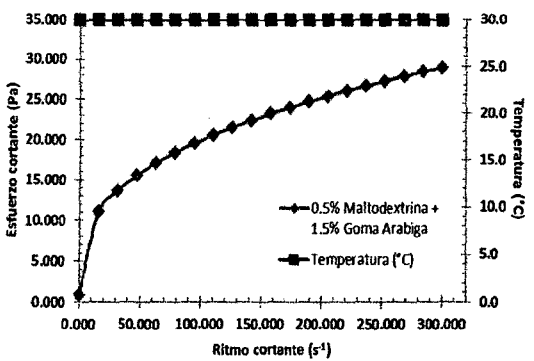
b) Curva de fluidez de 2%MD - 0%GA (Mizrahi - Berk)



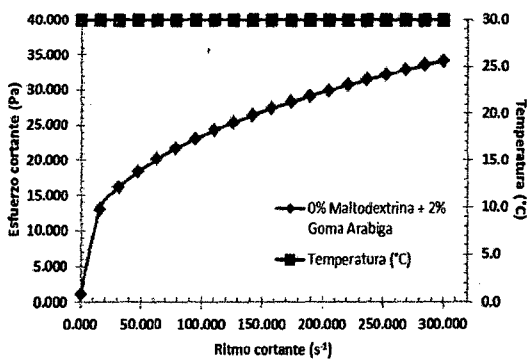
c) Curva de fluidez de 1.5%MD - 0.5%GA (Mizrahi - Berk)



d) Curva de fluidez de 1%MD - 1%GA (Mizrahi - Berk)



e) Curva de fluidez de 0.5%MD - 1.5%GA (Mizrahi - Berk)



f) Curva de fluidez de 0%MD - 2%GA (Mizrahi - Berk)

Gráfico 25: Curva de fluidez (ritmo cortante vs esfuerzo cortante) de las mezclas de pulpa de mango con encapsulantes ajustadas al Modelo Mizrahi - Berk.

En la tabla 19, se observa que el índice de comportamiento al flujo de las mezclas de pulpa de mango luego de ser liofilizadas y posteriormente reconstituidas, aun muestras valores menores que la unidad. Por tanto, nos va dando la idea que las mezclas de pulpa de mango no han cambiado su comportamiento no newtoniano al ser liofilizadas y luego reconstituidas.

Tabla 19: Parámetros reológicos de las mezclas de pulpa de mango Edward con encapsulantes liofilizadas y reconstituidas ajustados al modelo Mizrahi – Berk.

	30°C					
	Testigo	2%MD - 0%GA	1.5%MD - 0.5%GA	1%MD - 1%GA	0.5%MD - 1.5%GA	0%MD - 2%GA
$K_{OM}(Pa)^{0.5}$	0.960	1.159	0.933	0.886	0.884	1.029
$K_M(Pa.s)$	1.157	1.201	1.264	1.304	1.363	1.436
n	0.210	0.199	0.207	0.213	0.209	0.212
Error K_{OM}	0.0055	0.0218	0.0249	0.0348	0.0314	0.0348
Error K_M	0.0054	0.0223	0.0249	0.0342	0.0312	0.0344
Error n	0.0007	0.0028	0.0030	0.0039	0.0034	0.0036
X^2	0.0020	0.0323	0.0424	0.0825	0.0661	0.0818
SSR	0.0005	0.0081	0.0106	0.0206	0.0168	0.0207
R^2	0.9999	0.9994	0.9994	0.9989	0.9992	0.9991

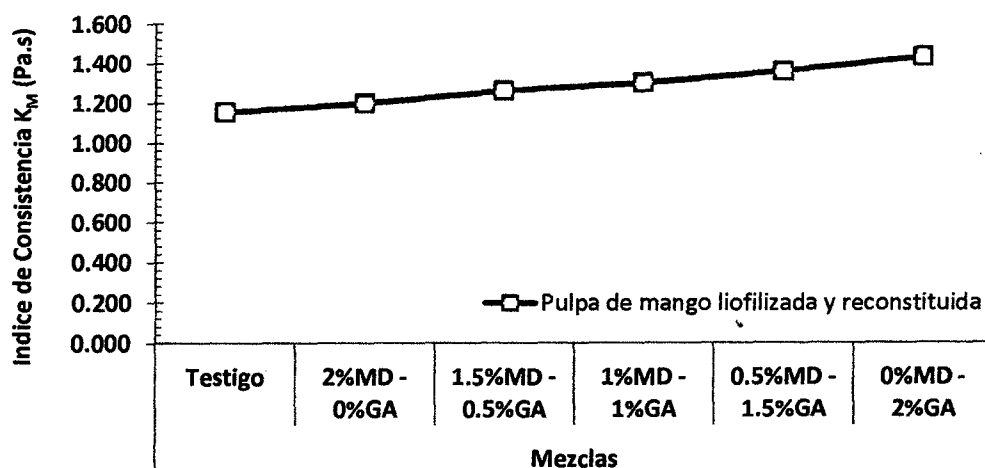


Gráfico 26: Valores de Índice de Consistencia K_M de las mezclas de pulpa de mango con encapsulantes liofilizadas y reconstituidas.

En el gráfico 26 se observa que la mezcla de pulpa de mango con 2% de Goma arábica luego de ser liofilizada y reconstituida tiene mayor índice de consistencia respecto a las demás mezclas y que la mezcla con 2% de Maltodextrina tiene un índice de consistencia muy cercano a la pulpa de mango testigo liofilizada y reconstituida.

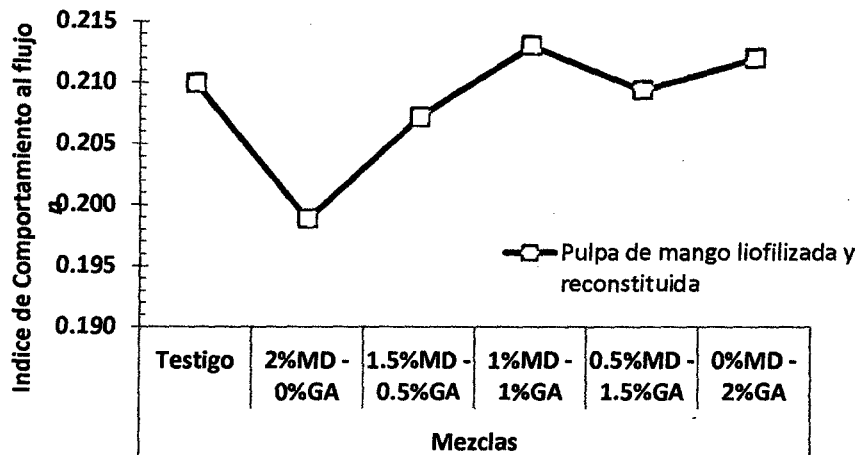


Gráfico 27: Valores de Índice de Comportamiento al flujo n de las mezclas de pulpa de mango con encapsulantes liofilizadas y reconstituidas.

El Índice de comportamiento al flujo de las mezclas de 1% de Maltodextrina - 1% de Goma arábica y 0% de Maltodextrina - 2% de Goma arábica muestran mayor valores que el índice de comportamiento al flujo de la muestra testigo. La mezcla 2% de Maltodextrina - 0% de Goma arábica tiene el menor índice de comportamiento al flujo respecto a las demás mezclas, tal como se puede ver en la gráfico 27. Esto nos indica que el índice de comportamiento al flujo se comporta de manera indistinta a su índice de consistencia.

En el gráfico 28 se observa que la mezcla de pulpa de mango con 0% Maltodextrina - 2% Goma arábica luego de ser liofilizada y seguidamente reconstituida muestra mayor viscosidad que las otras mezclas y la mezcla de

pulpa de mango con 2% Maltodextrina – 0% Goma arábica muestras menor viscosidad respecto a las otras mezclas sin contar a la muestra testigo.

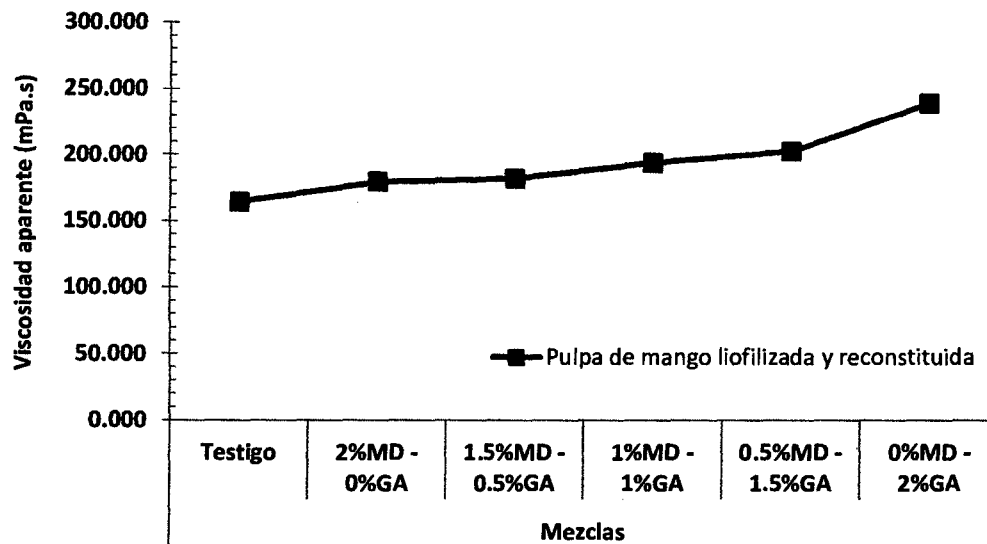
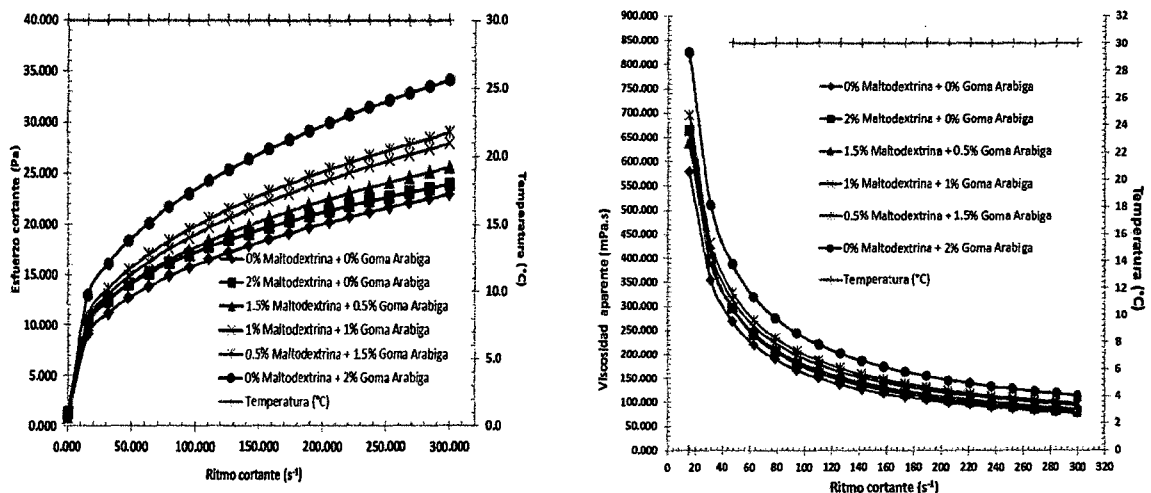


Gráfico 28: Valores de Viscosidad aparente de las mezclas de pulpa de mango con encapsulantes liofilizadas y reconstituidas.



a) Curva de fluidez de Esfuerzo cortante vs ritmo cortante

b) Reograma de Viscosidad aparente vs ritmo cortante

Gráfico 29: Comportamiento reológico de las mezclas de pulpa de mango con encapsulantes liofilizadas y reconstituidas.

Del gráfico 29-a) curva de fluidez de las mezclas de pulpa de mango con encapsulantes se observa que a medida que se aumenta el ritmo cortante va aumentando también el esfuerzo cortante, en el gráfico 29-b) reograma de viscosidad de las mezclas de mango con encapsulantes se observa que a medida que aumenta el ritmo cortante disminuye la viscosidad aparente describiendo un comportamiento de un fluido no newtoniano del tipo pseudoplástico, al igual que en su investigación de Vargas y Duarte (2006) & Gonzales y Soto (2009), describen a la pulpa de mango un descenso de la viscosidad aparente a medida que aumenta la velocidad de deformación, definiendo de esta manera, el comportamiento no newtoniano, de tipo pseudoplástico.

4.8. Comportamiento Reológico de la Pulpa de Mango con Encapsulantes Liofilizada y Reconstituidas

El índice de consistencia es un parámetro reológico que nos da una referencia de la concentración de sólidos y el tamaño de partículas de estos sólidos que pueda contenerse en una solución, lo cual influye y se ve reflejado directamente en la viscosidad. En nuestra investigación se obtuvo que las mezclas de pulpa de mango con encapsulantes al ser liofilizadas y luego reconstituidas tuvieron una disminución en su índice de consistencia. Los °Brix no variaron al realizar la reconstitución de las mezclas y la temperatura para todas nuestras lecturas reológicas fueron de 30°C, por lo cual no hubo efecto de la temperatura y tampoco de la concentración. Por tanto la disminución del índice de consistencia que se muestra en el gráfico 30, se originó por la liofilización la cual al ser reconstituido se modificó el tamaño de las partículas y con este la estructura de las mezclas dándoles menor índice de consistencia y también menor viscosidad.

En el gráfico 31 se muestra que las mezclas al ser liofilizadas y posteriormente reconstituidas aún se obtienen un índice de comportamiento al flujo menor que la unidad, lo cual nos indica que las mezclas mantienen su comportamiento no newtoniano.

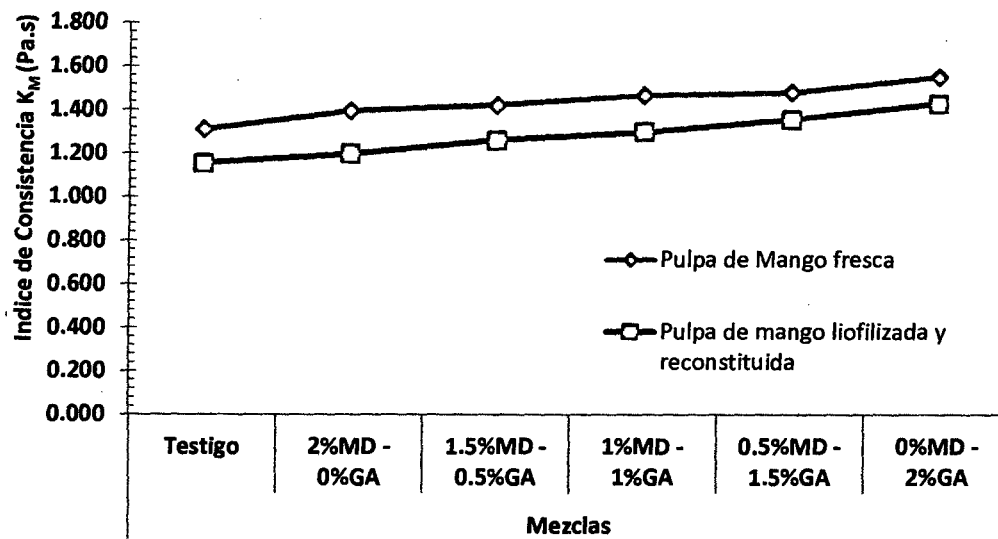


Gráfico 30: Índice de Consistencia de las mezclas de pulpa de mango fresca con encapsulantes y mezclas de pulpa de mango con encapsulantes liofilizada y reconstituida.

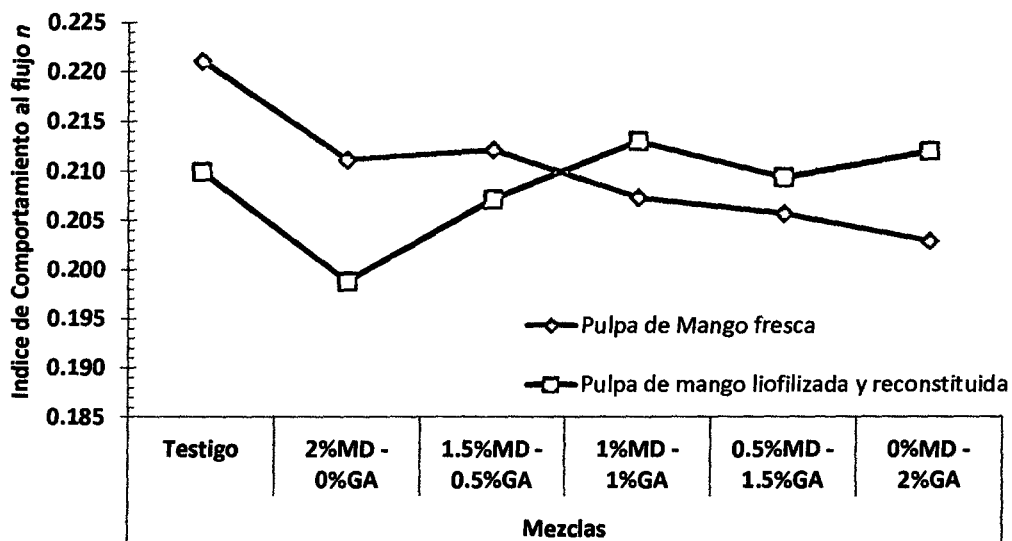


Gráfico 31: Índice de Comportamiento al flujo de las muestras de pulpa de mango con encapsulantes y pulpa de mango con encapsulantes liofilizada y reconstituida.

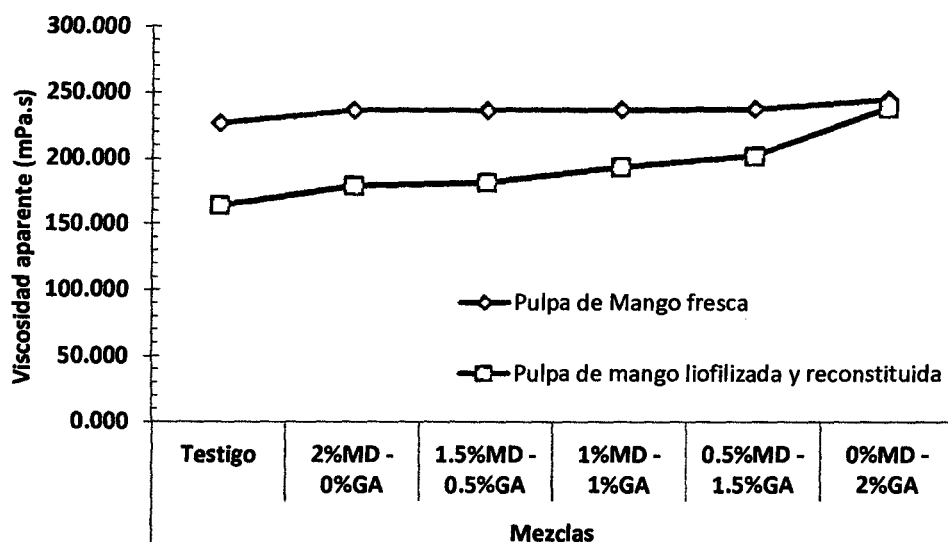
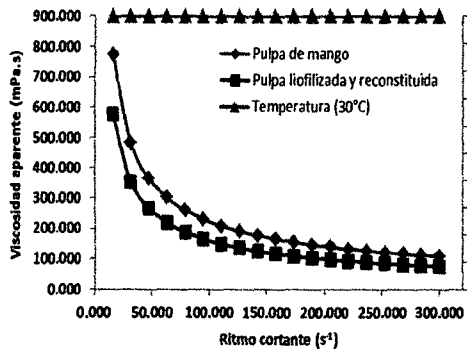


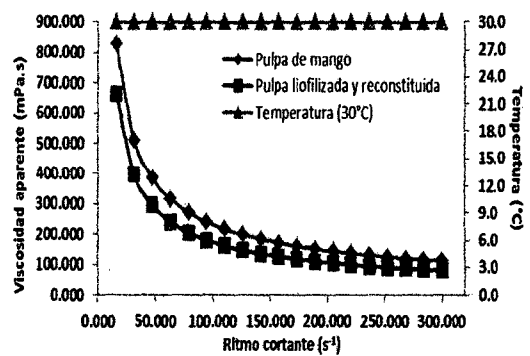
Gráfico 32: Viscosidad aparente de las muestras de pulpa de mango con encapsulantes y pulpa de mango con encapsulantes liofilizada y reconstituida.

En nuestra investigación se obtuvo que la mezcla de 0% Maltodextrina – 2% Goma arábica se vio menos afectada por el efecto de la liofilización a diferencia de la mezcla con 2% Maltodextrina – 0% Goma arábica en la cual el efecto de la liofilización se vio más reflejada en su viscosidad, tal como se muestra en la gráfico 32.

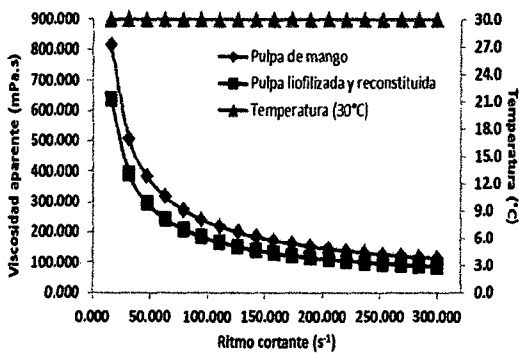
Para todas las mezclas de pulpa de mango con encapsulantes la liofilización tuvo un efecto en la viscosidad, tal como se muestran en la gráfico 33. Pero mantuvieron su comportamiento pseudoplástico ya que se observa una disminución de la viscosidad a medida que aumenta el ritmo cortante, lo cual es propio de un fluido no newtoniano del tipo pseudoplástico



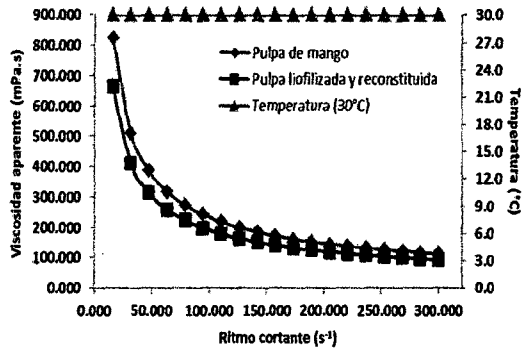
a) Reograma de 0%MD - 0%GA (Mizrahi - Berk)



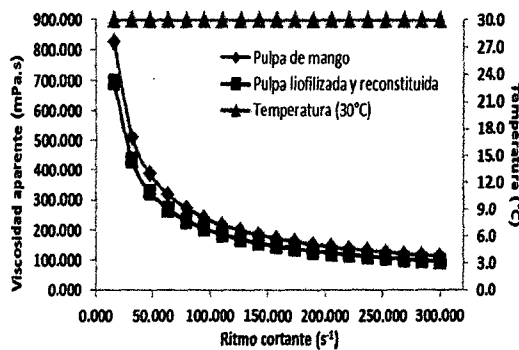
b) Reograma de 2%MD - 0%GA (Mizrahi - Berk)



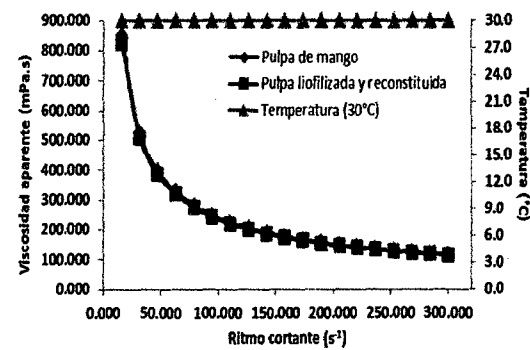
c) Curva de fluidez de 1.5%MD - 0.5%GA (Mizrahi - Berk)



d) Curva de fluidez de 1%MD - 1%GA (Mizrahi - Berk)



e) Curva de fluidez de 0.5%MD - 1.5%GA (Mizrahi - Berk)



f) Curva de fluidez de 0%MD - 2%GA (Mizrahi - Berk)

Gráfico 33: Reograma de viscosidad de las mezclas de pulpa de mango con encapsulantes y mezclas de pulpa de mango liofilizada y reconstituida.

V CONCLUSIONES

1. La curva de fluidez realizada a la pulpa de mango de variedad Edward a 18°Brix y a una temperatura de 30°C se ajustó modelo reológico Mizrahi – Berk quien demostró tener una mejor correlación y con el cual se obtuvo un índice de comportamiento al flujo menor que la unidad, propio de un fluido no newtoniano. En el reograma de viscosidad realizado se obtuvo un descenso de la viscosidad aparente a medida que se le va aumentando el esfuerzo cortante, por lo tanto la pulpa de mango Edward se clasifica como un fluido no newtoniano del tipo pseudoplástico. Asimismo, al analizar los valores de viscosidad aparente en el tiempo, la pulpa de mango Edward se comporta como un fluido tixotrópico.
2. La curva de fluidez de la pulpa de mango Edward liofilizada y posteriormente reconstituida (adición de líquido extraído) se ajustó al modelo reológico Mizrahi – Berk quien mostro tener una mejor correlación de los datos. Asimismo, mantuvo su comportamiento reológico como un fluido no newtoniano del tipo pseudoplástico y al analizar su viscosidad aparente en el tiempo mantuvo su comportamiento como un fluido tixotrópico.
3. El efecto del liofilizado de la pulpa de mango Edward se vio reflejado en la disminución de su viscosidad aparente, esto es debido a que la pulpa liofilizada al ser reconstituido experimento una modificación en el tamaño de partículas y un cambio en su estructura interna. No hubo efecto por concentración de solidos ya que los 18°Brix de la pulpa de mango al ser liofilizado y posteriormente reconstituido no variaron y tampoco efecto por temperatura ya que para nuestra investigación todas nuestras lecturas reológicas se hicieron a 30°C.

4. En las mezclas realizadas a la pulpa de mango con encapsulantes se obtuvo que la mezcla con 2% Maltodextrina – 0% Goma arábica presentó un aumento en los °Brix, pero no aumento mucho su viscosidad aparente de la pulpa de mango a diferencia de la mezcla con 0% Maltodextrina – 2% Goma arábica que no aumento mucho su °Brix pero si aumento su viscosidad aparente. Todas las mezclas se ajustaron al modelo reológico Mizrahi – Berk quien mostro mejor correlación de los datos de la curva de fluidez. Tanto las mezclas de pulpa de mango con Maltodextrina, Goma arábica y su interacción presentaron comportamiento de fluido no newtoniano del tipo pseudoplástico.
5. El efecto de la liofilización en las mezclas de pulpa de mango con encapsulantes se vio reflejada en la disminución de su índice de consistencia y por tanto en su viscosidad aparente. En la mezcla de pulpa de mango con 2% Maltodextrina – 0% Goma arábica presentó mayor disminución de la viscosidad frente a la mezcla de la pulpa de mango con 0% Maltodextrina – 2% Goma arábica. Todas las mezclas de pulpa de mango con encapsulantes liofilizadas y posteriormente reconstituidas se ajustaron al modelo Mizrahi – Berk quien mostro mejor correlación de los datos de curva de fluidez. Asimismo, mostraron un comportamiento de fluido no newtoniano del tipo pseudoplástico.
6. El análisis estadístico aplicado reafirma los resultados gráficos obtenidos, por lo que se puede aseverar, con un porcentaje de confiabilidad de 95%, que se presentaron diferencias estadísticamente significativas en los valores de índice de consistencia y viscosidad aparente en la pulpa de mango antes y después de ser sometida a un proceso de deshidratación por liofilización bajo diferentes tipos de mezclas con encapsulantes. Asimismo, el análisis de varianza realizado permitió afirmar que ambos efectos (liofilización y encapsulantes) tienen un efecto estadísticamente significativo con un nivel de confianza igualmente del 95%

VI RECOMENDACIONES

1. Para poder determinar el comportamiento del fluido del mango Edward en el tiempo se debe considerar un tiempo mayor a 200 min para así definir con certeza que la viscosidad en el tiempo sigue disminuyendo y describiendo una curva propia de un fluido tixotrópico.
2. Un análisis adicional para percibir el efecto de la liofilización con encapsulantes en la pulpa de mango Edward es analizar la morfología de las partículas constituyentes de los productos en polvo mediante observaciones a nivel microscópico por microscopia electrónica de barrido (SEM) y a nivel macroscópico con un estereomicroscopio.
3. Para la rehidratación en la reconstitución de las muestra se tener bastante cuidado de agregar cuidadosamente la cantidad de agua extraída durante la liofilización, ya que el agregar demás este influye en la viscosidad haciéndola disminuir y de la misma si se agrega menos se obtendrá una pulpa más viscosa. Además influyendo en los cálculos para la obtención de los parámetro reológicos.
4. La reconstitución de las muestras debe ser de manera inmediata después de liofilizar evitando que la muestra este el menor tiempo expuesto al ambiente ya que el polvo que se obtiene es altamente higroscópico. La humedad del ambiente produce que el polvo obtenido forme masas que puedan influir en su peso y haciendo más difícil su reconstitución.

VII REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Agronegocios Valladolid S.A.C. (2015). Catálogos de Productos: Ficha Técnica del Mango Edward. Disponible en <http://www.pe.all.biz/mango-edward-fresco-g46108>
2. AOAC. (1990). Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists (15th ed.). In K. Helrich (ed). Washington. DC, USA: AOAC
3. Asociación Peruana de Productores y Exportadores de Mango. (2014). Perspectivas de la Industria de Exportación de Mango. Perú: Autor
4. Badui Dergal, Salvador. (2006). Química de Alimentos (4ta ed.). Naucalpan de Juárez, México: Pearson Educación
5. Baraona, M., & Sancho, E. (1991). Fruticultura especial: Fruticultura II. San José, Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia.
6. Barreto Boggio, Hernán. (1966). Liofilización: Un método de Secado para Alimentos. Lima, Perú: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA Zona Andina.
7. Bezerra, J., Pelegrine, D., & Gasparetto, C. (2004). Efeito da Temperatura no Comportamento reológico da Pólpa de Manga (*Mangifera indica* L-Keitt). Revista de la Ciencia, Tecnología e Ingeniería de los Alimentos, 24(1), 39-42.
8. Coello, A., Fernández, D., & Galán, V. (1997). Guía descriptiva de Cultivares de Mango. Canarias, España: Consejería de Agricultura, Pesca y Alimentación.
9. Favaro, C., Santana, A., Monterrey, E., Trindade, M., & Netto, F. (2010). Food Hydrocolloids: The use of spray drying technology to reduce bitter taste of casein hydrolysate. ELSEVIER, 24(1), 336-340
10. Fellows, P. (1994). Tecnología del procesado de los alimentos, principios y practicas: 2da ed. Zaragoza: Editorial Acirbia S.A. pág. 162.
11. Galán Saúco, V. (2009). El cultivo del Mango (2da ed.). Madrid, España: Ediciones Mundi – Prensa.
12. Geankoplis, C. (1998). Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias (3ra ed.). México D.F., México: Compañía Editorial Continental C.V.

13. Gil Hernández, Ángel. (2010). Tratado de Nutrición Tomo III: Nutrición Humana en el Estado de Salud (2da ed.). Madrid, España: Editorial Médica Panamericana.
14. Gonzales, C., & Soto, N. (2009). Efecto de la liofilización sobre la viscosidad aparente de la pulpa refinada de mango (*Mangifera indica* L.). III Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Córdoba, Argentina. p. 116 – 125.
15. Ibarz, A., & Barbosa-Cánovas, G. (2005). Tecnología de Alimentos: Operaciones Unitarias en la Ingeniería de Alimentos. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa.
16. Kosterman, A., & Bompard, J. (1993). The mangoes, their Botany, Nomenclature, Horticulture and Utilization. Londres, España: Academic Press.
17. López, B., Carvajal, L., & Millán, L. (2009). Establecimiento de Condiciones de la Mezcla de Pulpa de Banano (*Musa paradisiaca* L.) para someter a Secado por Aspersión. Revista de la Facultad de Química Farmacéutica, 16(3), 287-296.
18. López, O., Cernada, A., Fernández, R., Torres, L., & Sanabria, L. (2006). Influencia del uso de aditivos sobre el rendimiento del proceso de secado por aspersión de extracto acuoso de *Calendula officinalis* L. Revista Cubana de Plantas Medicinales, 11(1) ,1-8.
19. Manero A. (2013). Industria del mango. Disponible en <http://archive-pe.com/page/4266961/2014-07-12/http://agraria.pe/blogs/la-industria-del-mango>
20. Marulanda Loaiza J. (2002) Determinación del Perfil de Calentamiento y Evaluación Sensorial en la Elaboración de Pulpa Liofilizada de Mango Variedad Tommy Atkins. Tesis inédita de Doctorado. Universidad Nacional de Colombia.
21. Melo, A., Vidal, J., & Gasparetto, C. (1999). Influencia dos sólidos insolúveis no comportamento reológico do suco de manga. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, 1(1), 27 – 32.

22. Minaya, A. (1999). El Mango en el Perú y sus Vínculos con el Mercado Internacional. Lima, Perú: IICA.
23. Ministerio de Agricultura y Riego. (2014). Informe de Seguimiento Agroeconómico. Perú: Autor.
24. Montañez, J., Barragán, B., & Cruz, M. (2002). Propiedades Físicoquímicas de las Maltodextrinas a partir del Punto Crioscópico de sus soluciones. *Información Tecnológica*, 13(3), 77-81
25. Mora, J., Gamboa, J., & Elizondo, R. (2002). Guía para el Cultivo del Mango. San José, Costa Rica: Ministerio de Agricultura y Ganadería
26. Mosquera, L. (2010). Influencia de la humedad y de la adición de solutos (maltodextrina o goma arábica) en las propiedades físicoquímicas de borjón y fresa en polvo. (Tesis inédita de doctorado). Universidad Politécnica de Valencia, España, Valencia
27. Mott, Robert L. (2006). *Mecánica de Fluidos (6ta ed.)*. Naucalpan de Juárez, México: Pearson Educación.
28. Navarro Lujan, Mara (2010). Evaluación de la Estabilidad de la Pro Vitamina A en la Pulpa Liofilizada de tres morfotipos de Aguaje (*Mauritia flexuosa L.f*)” (Tesis inédita de Título profesional). Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, Iquitos, Perú
29. Orrego Alzate, Carlos. (2003). *Procesamiento de Alimentos*. Manizales, Colombia: Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.
30. Orrego Alzate, Carlos. (2008). *Congelación y Liofilización de Alimentos*. Manizales, Colombia: Artes Gráficas Tizan Ltda.
31. Parra Huertas, Adolfo. (2010). Microencapsulación de Alimentos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 63(2), 5669-5684.
32. Pelegrine, D., Vidal, J., & Gasparetto, C.(2000). Estudo da viscosidade aparente das polpas de manga (Keitt) e abacaxi (Pérola). *Revista de la Ciencia, Tecnologia e Ingenieria de los Alimentos*, 20(1), p. 115.
33. Quintáns Riveiro, Lourdes. (2009). *Reología de Productos Alimentarios* (Tesis inédita de doctorado). Universidad de Santiago de Compostela

34. Ramírez Navas, Juan. (2006). Fundamentos de Reología de Alimentos. Cali, Valle, Colombia: JSR e-books.
35. Ramírez Navas, Juan. (2006). Introducción a la Reología de los Alimentos. Revista de la Ciencia, Tecnología e Ingeniería de los Alimentos, 6(1), 1-46
36. Ramírez Navas, Juan. (2006). Liofilización de Alimentos. Recítela, 6(2),1-23.
37. Reyes, M., Gómez, I., Espinoza, C., Bravo, F., & Ganoza, L. (2009). Tablas Peruanas de Composición de Alimentos (8va ed.). Lima, Perú: Ministerio de Salud, Instituto Nacional de Salud
38. Rojas, O., Briceño, M., & Avendaño, J. (2012). Fundamentos de Reología. Módulo de Enseñanza en Fenómenos Interfaciales, Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela
39. Sharma, Shri K., Mulvaney, Steven J., & Rizvi, Syed S. (2003). Ingeniería de Alimentos: Operaciones Unitarias y Prácticas de Laboratorio. Balderas, México D.F.: Editorial LIMUSA
40. Siller-Cepeda, J., Muy-Rangel, D., Báez-Sañudo, M., Araiza-Lizarde, E., & Ireta-Ojeda, A. (2009). Calidad Poscosecha de Cultivares de Mango de Maduración Temprana Intermedia y Tardía. Revista Fitotecnia Mexicana, 32(1), 45-52.
41. Soto, E., Avilán, L., Unai, E., Rodríguez, M., & Ruiz, J. (2004). Comportamiento y Características de algunos Cultivares Promisorios de Mango. Agronomía Tropical, 54(2).
42. Suarez Moreno, Diana. (2003). Guía de procesos para la elaboración de néctares, mermeladas, uvas, pasas y vinos. Bogotá, Colombia: Convenio Andrés Bello.
43. Torres Oquendo, J. (2007). Optimización de las Condiciones de Operación de Tratamientos Osmóticos destinados al Procesado Mínimo de Mango (*Mangifera Indica* L.) (Tesis inédita de doctorado). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.

44. Yáñez, J., Salazar, J., Chaires, L., Jiménez, J., Márquez, M., & Ramos, E. (2005). Aplicaciones Biotecnológicas de la Microencapsulación. *Mundo Alimentario*, 24-30.
45. Vargas, F., Salas, F., & Duarte, C. (2006). Caracterización reológica de pulpa de mango variedad Haden. *Revista Multidisciplinaria: Anales científicos*. 66(1), 26 – 37.
46. Vidal, J., & Gasparetto, C. (2000). Comportamento reológico da polpa de manga (*Mangifera indica* L) – Efeito dos sólidos insolúveis. *Revista de la Ciencia, Tecnologia e Ingenieria de los Alimentos*, 20(2), p. 81.
47. Vidal, J., Pelegri, D., & Gasparetto, C. (2004). Efeito da temperatura no comportamento reológico da polpa de manga (*Mangifera indica* L-Keitt). *Revista de la Ciencia, Tecnología e Ingeniería de los Alimentos*, 24(1), 39 – 42.
48. Vidal, J., Sierakowski, M., Isidoro, Ch., & Masson, M. (2006). Propiedades Reológicas da polpa de manga (*Mangifera indica* L. cv. Keitt) centrifugada. *Ciência e Agrotecnologia*, 30(5), 955 – 960.

VIII.- ANEXOS

8.1. Análisis estadístico de los parámetros reológicos

8.1.1. Análisis estadístico de los valores obtenidos de VISCOSIDAD de la pulpa de mango fresca (antes de Liofilizar) y la pulpa Liofilizada y rehidratada a diferentes concentraciones.

Tabla 20: Datos de los valores obtenidos para Viscosidad para la pulpa de mango fresca (antes de liofilizar) y la pulpa Liofilizada y rehidratada a una temperatura de 30°C y a 1 atm de Presión.

	Testigo	2%MD - 0%GA	1.5%MD - 0.5%GA	1%MD - 1%GA	0.5%MD - 1.5%GA	0%MD - 2%GA
SIN LIOFILIZACION	223.268	239.126	236.365	229.541	236.981	249.392
	231.114	234.834	238.135	245.961	240.051	242.702
	227.191	236.98	237.25	237.751	238.516	246.047
LIOFILIZADO Y REHIDRATADO	160.23	174.322	186.212	193.569	196.369	231.128
	164.44	179.634	182.241	194.269	202.843	239.654
	168.65	184.946	178.27	194.969	209.317	248.18

Tabla 21: Análisis de Varianza para los datos obtenidos de la Viscosidad para la pulpa de mango fresca (antes de liofilizar) y la pulpa Liofilizada y rehidratada a una temperatura de 30°C y a atm de Presión.

VISCOSIDAD					
FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	F CALCULADO	F TABULADO (5%)
TRATAMIENTOS	1	16985.1269	16985.1269	731.7668	4.2780
FORMULACIONES	5	7484.6549	1496.9310	64.4920	2.6380
INTERACCIONES	5	3199.4123	639.8825	27.5679	2.6380
ERROR EXPERIMENTAL	24	557.0669	23.211121		
TOTAL	35	28226.2611			

De los valores mostrados se puede concluir que el F Calculado es mayor que F Tabulado lo que determina que los Tratamientos son estadísticamente diferentes a un nivel de significancia del 95%. Calculamos en CV para determinar si se aplicará Tuckey o Duncan para llevar a cabo las comparaciones entre sus medias

Si:

CV > 15% Duncan

CV < 15% Tuckey

Promedio total (\bar{X}) = 215.568

Coefficiente de Variación (CV) = $(\sqrt{CME} / \bar{X}) * 100$

$$CV = \frac{\sqrt{0.000042}}{0.2142} * 100 = 2.23\% \text{ ----- Tuckey}$$

Prueba de Comparación de Tuckey

Para los Tratamientos

Determinamos el valor crítico de Tuckey (T_α)

$$T_\alpha = q_{0.05}(2, 24) * S_y$$

Determinamos los Promedios para los 2 procesos

Promedio de la pulpa fresca sin liofilizar ($\bar{X}_{SIN LIOFILIZAR}$)

Promedio de la pulpa liofilizada y rehidratada ($\bar{X}_{LIOFILIZADA Y REHIDRADA}$)

$$\bar{X}_{SIN LIOFILIZAR} = 237.289$$

$$\bar{X}_{LIOFILIZADA Y REHIDRADA} = 198.846$$

El valor de $q_{0.005}$ se determinó de tabla de puntos porcentuales superiores a Tuckey a un nivel de significancia de 95%

$$q_{0.005} = 2.92$$

El valor de $S_y = \sqrt{\frac{CME}{N^\circ \text{ DE TRATAMIENTOS}}}$

$$S_y = \sqrt{\frac{23.213}{2}}$$

$$S_y = 3.40$$

Valor Crítico de Tuckey es:

$$T_{\alpha} = q_{0.05} (2, 24) \times S_y$$

$$T_{\alpha} = 2.92 \times 3.406$$

$$T_{\alpha} = 9.94$$

Hallamos la diferencia entre los Tratamientos (Pulpa fresca y Pulpa Liofilizada y rehidratada) y comparamos entre el valor Critico de Tuckey.

$$|\bar{X}_{SIN LIOFILIZAR} - \bar{X}_{LIOFILIZADA Y REHIDR.}| = 237.289 - 198.846 = 43.44$$

43.44 > 9.94 SIGNIFICATIVO

Se concluye que los Tratamientos Pulpa Fresca y Pulpa Liofilizada y Rehidratada son **significativamente diferentes**

Para las formulaciones

Promedio de las Formulaciones:

Tabla 22: Promedio de las formulaciones para la Viscosidad

CODIGO	FORMULACIÓN	PROMEDIO
M1	Testigo	195.816
M2	2%MD - 0%GA	208.307
M3	1.5%MD - 0.5%GA	209.746
M4	1%MD - 1%GA	216.010
M5	0.5%MD - 1.5%GA	220.680
M6	0%MD - 2%GA	242.851

Determinamos el Valor Crítico de Tuckey

$$T_{\alpha} = q_{0.05} (6, 24) \times S_y$$

El valor de $T_{\alpha} = q_{0.05} (6, 24)$ de halla en la tabla de puntos porcentuales superiores de Tuckey a un nivel de significancia del 95%.

$$q_{0.05} (6, 24) = 4.37$$

El Valor de S_y definido por:

El valor de $Sy = \sqrt{\frac{CME}{N^{\circ} DE TRAMIENTOS}}$

$$Sy = \sqrt{\frac{23.211}{6}}$$

$$Sy = 1.966$$

$$T_{\alpha} = q_{0.05}(6, 24) \times Sy$$

$$T_{\alpha} = 4.37 \times 1.966$$

$$T_{\alpha} = 8.595$$

En consecuencia la diferencia entre las formulaciones de agentes encapsulantes se declaran significativamente diferentes a menos que $|\bar{X}_1 - \bar{X}_2|$ exceda el valor Crítico de Tuckey (**8.595**)

Tabla 23: Tabla de Comparación con el valor crítico de Tuckey para la Viscosidad

M6-M1	47.035	>	8.595	SIGNIFICATIVO
M6-M2	34.544	>	8.595	SIGNIFICATIVO
M6-M3	33.105	>	8.595	SIGNIFICATIVO
M6-M4	26.841	>	8.595	SIGNIFICATIVO
M6-M5	22.171	>	8.595	SIGNIFICATIVO
M5-M4	4.670	<	8.595	NO SIGNIFICATIVO
M5-M3	10.934	>	8.595	SIGNIFICATIVO
M5-M2	12.373	>	8.595	SIGNIFICATIVO
M5-M1	24.864	>	8.595	SIGNIFICATIVO
M4-M3	6.265	<	8.595	NO SIGNIFICATIVO
M4-M2	7.703	<	8.595	NO SIGNIFICATIVO
M4-M1	20.195	>	8.595	SIGNIFICATIVO
M3-M2	1.439	<	8.595	NO SIGNIFICATIVO
M3-M1	13.930	>	8.595	SIGNIFICATIVO
M2-M1	12.492	>	8.595	SIGNIFICATIVO

Se determina que no difieren en forma significativa las siguientes formulaciones

Tabla 24: Mezclas que no difieren significativamente para la viscosidad

0.5%MD - 1.5%GA	Con	1%MD - 1%GA
0.5%MD - 1.5%GA	Con	1.5%MD - 0.5%GA
1%MD - 1%GA	Con	1.5%MD - 0.5%GA
1%MD - 1%GA	Con	2%MD - 0%GA
1.5%MD - 0.5%GA	Con	2%MD - 0%GA

8.1.2. Análisis estadístico de los valores obtenidos de INDICE DE CONSISTENCIA de la pulpa de mango fresca (antes de Liofilizar) y la pulpa Liofilizada y rehidratada A diferentes concentraciones

Tabla 25: Datos de los valores obtenidos para el Índice de Consistencia para la pulpa de mango fresca (antes de liofilizar) y la pulpa Liofilizada y rehidratada

	Testigo	2%MD - 0%GA	1.5%MD - 0.5%GA	1%MD - 1%GA	0.5%MD - 1.5%GA	0%MD - 2%GA
SIN LIOFILIZACION	1.299	1.389	1.428	1.465	1.485	1.572
	1.315	1.395	1.42	1.476	1.491	1.552
	1.325	1.413	1.43	1.475	1.485	1.559
LIOFILIZADO Y REHIDRATADO	1.157	1.198	1.259	1.296	1.355	1.433
	1.159	1.204	1.268	1.309	1.375	1.441
	1.155	1.201	1.265	1.307	1.359	1.434

Tabla 26: Análisis de Varianza para los datos obtenidos del Índice de Consistencia para la pulpa de mango fresca (antes de liofilizar) y la pulpa Liofilizada y rehidratada

INDICE DE CONSISTENCIA					
FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUDRADOS	CUADRADOS MEDIOS	F CALCULADO	F TABULADO (5%)
TRATAMIENTOS	1	0.2176	0.2176	3616.990	4.2780
FORMULACIONES	5	0.2609	0.0522	867.1089	2.6380
INTERACIONES	5	0.0059	0.0012	19.5831	2.6380
ERROR EXPERIMENTAL	24	0.0014	0.000060		
TOTAL	35	0.4858			

De los valores mostrados de puede concluir que el F Calculado es **mayor que F Tabulado** lo que determina que los Tratamientos **son estadísticamente diferentes** a un nivel de significancia del 95%. Solo para los Tratamientos y formulaciones. Calculamos en CV para determinar si se aplicara Tuckey o Duncan para llevar a cabo las comparaciones entre sus medias

Si

CV>15% Duncan

CV<15% Tuckey

Promedio total (\bar{X})=1.36

Coefficiente de Variación (CV) = $(\sqrt{CME}/\bar{X}) * 100$

$$CV = \frac{\sqrt{0.000774}}{1.36} \times 100 = 0.568\% \text{ ----- Tuckey}$$

Prueba de Comparación de Tuckey

Para los Tratamientos

Determinamos el valor crítico de Tuckey (T_α)

$$T_\alpha = q_{0.05}(2, 24) \times S_y$$

Determinamos los Promedios para los 2 procesos

Promedio de la pulpa fresca sin liofilizar ($\bar{X}_{SIN LIOFILIZAR}$)

Promedio de la pulpa liofilizada y rehidratada ($\bar{X}_{LIOFILIZADA Y REHIDRATA}$)

$$\bar{X}_{SIN LIOFILIZAR} = 1.434$$

$$\bar{X}_{SIN LIOFILIZAR} = 1.2875$$

El valor de $q_{0.005}$ se determinó de tabla de puntos porcentuales superiores a Tuckey a un nivel de significancia de 95%

$$q_{0.005} = 2.92$$

$$\text{El valor de } S_y = \sqrt{\frac{CME}{N^\circ \text{ DE TRATAMIENTOS}}}$$

$$S_y = \sqrt{\frac{0.000774}{2}}$$

$$S_y = 0.054$$

Valor Crítico de Tuckey es:

$$T_{\alpha} = q_{0.05}(2, 24) \times S_y$$

$$T_{\alpha} = 2.92 \times 0.0548$$

$$T_{\alpha} = 0.01601$$

Hallamos la diferencia entre los Tratamientos (Pulpa fresca y Pulpa Liofilizada y rehidratada) y comparamos entre el valor Crítico de Tuckey.

$$|\bar{X}_{SIN\ LIOFILIZAR} - \bar{X}_{LIFILIZADA\ Y\ REHIDR.}| = 1.434 - 1.2875 = 0.1465$$

0.1465 > 0.01601 **SIGNIFICATIVO**

Se concluye que los Tratamientos Pulpa Fresca y Pulpa Liofilizada y Rehidratada son **significativamente diferentes**

Para las formulaciones

Promedio de las Formulaciones:

Tabla 27: Promedio de las formulaciones para el Índice de Consistencia

CODIGO	FORMULACION	PROMEDIO
M1	Testigo	1.235
M2	2%MD - 0%GA	1.3
M3	1.5%MD - 0.5%GA	1.345
M4	1%MD - 1%GA	1.388
M5	0.5%MD - 1.5%GA	1.425
M6	0%MD - 2%GA	1.499

Determinamos el Valor Crítico de Tuckey

$$T_{\alpha} = q_{0.05}(6, 24) \times S_y$$

El valor de $T_{\alpha} = q_{0.05}(6, 24)$ de halla en la tabla de puntos porcentuales superiores de Tuckey a un nivel de significancia del 95%.

$$q_{0.05}(6, 24) = 4.37$$

El Valor de Sy definido por:

$$\text{El valor de } S_y = \sqrt{\frac{CME}{N^{\circ} \text{ DE TRAMIENTOS}}}$$

$$S_y = \sqrt{\frac{0.000774}{6}}$$

$$S_y = 0.00316$$

$$T_{\alpha} = q_{0.05}(6, 24) \times S_y$$

$$T_{\alpha} = 4.37 \times 0.00316$$

$$T_{\alpha} = 0.00138$$

En consecuencia la diferencia entre las formulaciones de agentes encapsulantes se declaran significativamente diferentes a menos que $|\bar{X}_1 - \bar{X}_2|$ exceda el valor Critico de Tuckey (**0.00138**)

Tabla 28: Tabla de Comparación con el valor critico de Tuckey para el Índice de Consistencia

M6-M1	0.264	>	0.00138	SIGNIFICATIVO
M6-M2	0.199	>	0.00138	SIGNIFICATIVO
M6-M3	0.154	>	0.00138	SIGNIFICATIVO
M6-M4	0.111	>	0.00138	SIGNIFICATIVO
M6-M5	0.073	>	0.00138	SIGNIFICATIVO
M5-M4	0.037	>	0.00138	SIGNIFICATIVO
M5-M3	0.080	>	0.00138	SIGNIFICATIVO
M5-M2	0.125	>	0.00138	SIGNIFICATIVO
M5-M1	0.190	>	0.00138	SIGNIFICATIVO
M4-M3	0.043	>	0.00138	SIGNIFICATIVO
M4-M2	0.088	>	0.00138	SIGNIFICATIVO
M4-M1	0.153	>	0.00138	SIGNIFICATIVO
M3-M2	0.045	>	0.00138	SIGNIFICATIVO
M3-M1	0.110	>	0.00138	SIGNIFICATIVO
M2-M1	0.065	>	0.00138	SIGNIFICATIVO

Se determina que difieren en forma significativa las todas las formulaciones

8.1.3. Análisis estadístico de los valores obtenidos de INDICE DE COMPORAMIWENTO AL FLUJO de la pulpa de mango fresca (antes de Liofilizar) y la pulpa Liofilizada y rehidratada

Tabla 29: Datos de los valores obtenidos para el Índice de Comportamiento al flujo para la pulpa de mango fresca (antes de liofilizar) y la pulpa Liofilizada y rehidratada

	Testigo	2%MD - 0%GA	1.5%MD - 0.5%GA	1%MD - 1%GA	0.5%MD - 1.5%GA	0%MD - 2%GA
SIN LIOFILIZACION	0.222	0.212	0.212	0.207	0.201	0.206
	0.223	0.213	0.214	0.209	0.211	0.204
	0.218	0.208	0.21	0.205	0.206	0.199
LIOFILIZADO Y REHIDRATADO	0.208	0.195	0.211	0.216	0.207	0.219
	0.212	0.201	0.206	0.208	0.208	0.209
	0.21	0.201	0.204	0.215	0.212	0.208

Tabla 30: Análisis de Varianza para los datos obtenidos del Índice de Comportamiento al Flujo para la pulpa de mango fresca (antes de liofilizar) y la pulpa Liofilizada y rehidratada

INDICE DE COMPORTAMIENTO AL FLUJO					
FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUDRADOS	CUADRADOS MEDIOS	F CALCULADO	F TABULADO (5%)
TRATAMIENTOS	1	0.0000250	0.0000	1.9737	4.2780
FORMULACIONES	5	0.0004	0.0001	6.0474	2.6380
INTERACIONES	5	0.0006	0.0001	9.4579	2.6380
ERROR EXPERIMENTAL	24	0.0003	0.000013		
TOTAL	35	0.0013			

De los valores mostrados se puede concluir que el F Calculado es menor que F Tabulado lo que determina que los Tratamientos **no son estadísticamente diferentes** a un nivel de significancia del 95%.Calculamos en CV para determinar si se aplicara Tuckey o Duncan para llevar a cabo las comparaciones entre sus medias

CV>15% Duncan

CV<15% Tuckey

Promedio total (\bar{X})=0.2073

Coefficiente de Variación (CV) = $(\sqrt{CME}/\bar{X}) * 100$

$$CV = \frac{\sqrt{0.000099}}{0.2073} \times 100 = 4.803\% \text{ ---- Tuckey}$$

Prueba de Comparación de Tuckey Para los Tratamientos

Determinamos el valor crítico de Tuckey (T_α)

$$T_\alpha = q_{0.05}(2, 24) \times S_y$$

Determinamos los Promedios para los 2 procesos

Promedio de la pulpa fresca sin liofilizar ($\bar{X}_{SIN LIOFILIZAR}$)

Promedio de la pulpa liofilizada y rehidratada ($\bar{X}_{LIOFILIZADO Y REHIDRATA}$)

$$\bar{X}_{SIN LIOFILIZAR} = 0.21$$

$$\bar{X}_{LIOFILIZADO Y REHIDRATA} = 0.204$$

El valor de $q_{0.005}$ se determinó de tabla de puntos porcentuales superiores a Tuckey a un nivel de significancia de 95%

$$q_{0.005} = 2.92$$

$$\text{El valor de } S_y = \sqrt{\frac{CME}{N^\circ \text{ DE TRAMIENTOS}}}$$

$$S_y = \sqrt{\frac{0.000099}{2}}$$

$$S_y = 0.00704$$

Valor Crítico de Tuckey es:

$$T_\alpha = q_{0.05}(2, 24) \times S_y$$

$$T_\alpha = 2.92 \times 0.00704$$

$$T_\alpha = 0.02056$$

Hallamos la diferencia entre los Tratamientos (Pulpa fresca y Pulpa Liofilizada y rehidratada) y comparamos entre el valor Critico de Tuckey.

$$|\bar{X}_{SIN\ LIOFILIZAR} - \bar{X}_{LIFILIZADA\ Y\ REHIDR.}| = 0.21 - 0.204 = 0.0052$$

$$0.0205 < 0.0052 \text{ NO SIGNIFICATIVO}$$

Se concluye que los Tratamientos Pulpa Fresca y Pulpa Liofilizada y Rehidratada **no son significativamente diferentes**

Para las formulaciones

Promedio de las Formulaciones:

Tabla 31: Promedio de las formulaciones para el Índice de comportamiento al Flujo

CODIGO	FORMULACION	PROMEDIO
M1	Testigo	0.216
M2	2%MD - 0%GA	0.205
M3	1.5%MD - 0.5%GA	0.210
M4	1%MD - 1%GA	0.210
M5	0.5%MD - 1.5%GA	0.208
M6	0%MD - 2%GA	0.208

Determinamos el Valor Crítico de Tuckey

$$T_{\alpha} = q_{0.05} (6,24) \times S_y$$

El valor de $T_{\alpha} = q_{0.05} (6,24)$ de halla en la tabla de puntos porcentuales superiores de Tuckey a un nivel de significancia del 95%.

$$q_{0.05} (6,24) = 4.37$$

El Valor de S_y definido por:

$$\text{El valor de } S_y = \sqrt{\frac{CME}{N^{\circ} \text{ DE TRAMIENTOS}}}$$

$$S_y = \sqrt{\frac{0.000099}{6}}$$

$$S_y = 0.00144$$

$$T_{\alpha} = q_{0.05} (6, 24) \times S_y$$

$$T_{\alpha} = 4.37 \times 0.00144$$

$$T_{\alpha} = 0.00629$$

En consecuencia la diferencia entre las formulaciones de agentes encapsulantes se declaran significativamente diferentes a menos que $|\bar{X}_1 - \bar{X}_2|$ exceda el valor Critico de Tuckey (**0.0155**)

Tabla 32: Tabla de Comparación con el valor critico de Tuckey para el Índice de Consistencia

M6-M1	0.008	>	0.00629	SIGNIFICATIVO
M6-M2	0.008	>	0.00629	SIGNIFICATIVO
M6-M3	0.015	>	0.00629	SIGNIFICATIVO
M6-M4	0.006	<	0.00629	NO SIGNIFICATIVO
M6-M5	0.011	>	0.00629	SIGNIFICATIVO
M5-M4	0.003	<	0.00629	NO SIGNIFICATIVO
M5-M3	0.003	<	0.00629	NO SIGNIFICATIVO
M5-M2	0.004	<	0.00629	NO SIGNIFICATIVO
M5-M1	0.005	<	0.00629	NO SIGNIFICATIVO
M4-M3	0.002	<	0.00629	NO SIGNIFICATIVO
M4-M2	0.002	<	0.00629	NO SIGNIFICATIVO
M4-M1	0.009	>	0.00629	SIGNIFICATIVO
M3-M2	0.007	>	0.00629	NO SIGNIFICATIVO
M3-M1	0.007	>	0.00629	NO SIGNIFICATIVO
M2-M1	0.000	<	0.00629	NO SIGNIFICATIVO

Se determina que defieren **significativamente** las siguientes formulaciones

Tabla 33: Mezclas que difieren significativamente para el Índice de comportamiento al flujo

0%MD - 2%GA	Con	testigo
0%MD - 2%GA	Con	2%MD - 0%GA
0%MD - 2%GA	Con	1.5%MD - 0.5%GA
0%MD - 2%GA	Con	1%MD - 1%GA
1%MD - 1%GA	Con	Testigo

8.2. Determinación de la Vitamina C

8.2.1. Preparación de los Reactivos

- a) La solución estándar (madre) de ácido ascórbico: se preparó una solución de 0.1% de ácido ascórbico en una solución acida de 0.4% de ácido oxálico. Se pesó 100 mg de ácido ascórbico y se llevó a volumen de 100ml. Con una solución de ácido oxálico al 0.4%.

- b) Estándares de trabajo (ET): Se tomaron 1, 2, 3, 4 y 5 ml de la solución madre de ácido ascórbico y se llevaron a volumen de 100 ml con una solución de ácido oxálico al 0.4%. Estas soluciones se enumeraron del 1 al 5 con una concentración de 1,2, 3, 4 y 5 mg de ácido ascórbico por 100 ml respectivamente

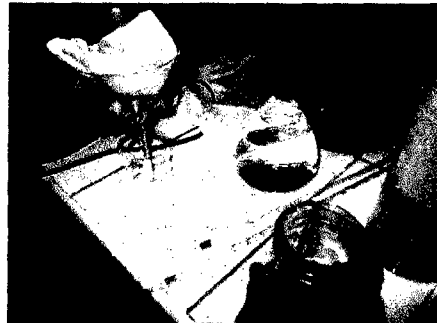
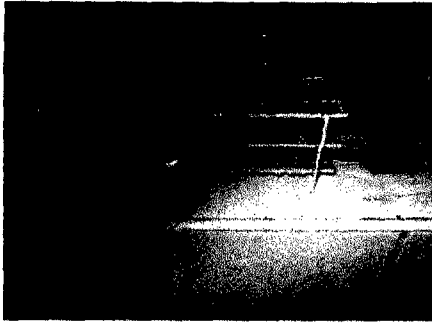
- c) Para la Solución coloreada (colorante): Se pesó 12 mg de 2-6 DFIF, disolviendo y llevando a 1000 ml de volumen con agua destilada. Se almacenó en botella de color oscura y en refrigeración.

8.2.2. Preparación de la Curva Patrón

- a) Se tomaron 4 tubos de prueba y se enumeraron de I al IV y agregaron siguiente.
 - I 10 ml de Agua destilada.
 - II 1 ml de Acido oxálico al 0.4%.
 - III 1 ml del estándar de trabajo (ET) N°1 + 9 ml del agua.
 - IV 1 ml del estándar de trabajo (ET) N°1.

- b) Al tubo II añadir 9 ml del colorante y, exactamente después de 15 segundos, leer la absorbancia (L1)

- c) Se ajustó a cero la absorbancia con la solución del tubo III.
- d) Al tubo IV se añadió 9 ml del colorante y, exactamente después de 15 segundos, se leyó r la absorbancia (L2).

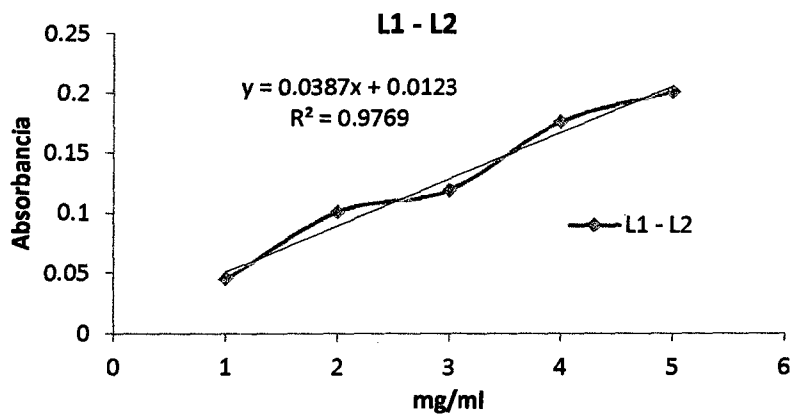


- e) Se repitieron las pasas para cada estándar de trabajo (ET) y se registraron los correspondientes valores de L1 y L2.

Tabla 34: Valores de L1 y L2 para la determinación de la Vitamina C

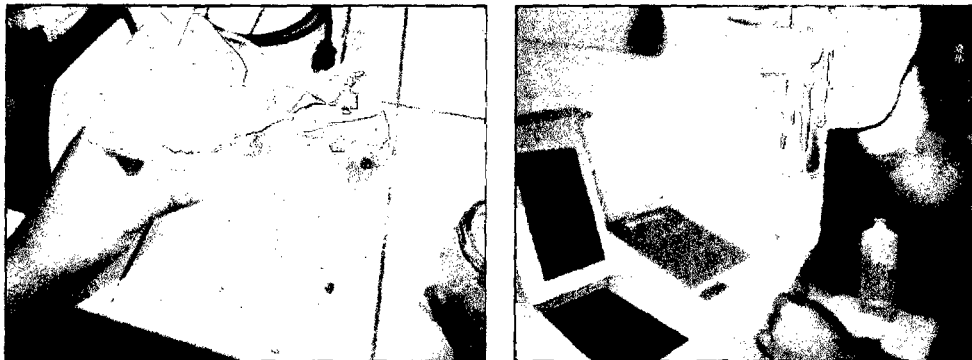
Estándares de Trabajo (ET)	L1	L2	L1 - L2	[] mgr/ml
1	0.185	0.14	0.045	1
2	0.187	0.086	0.101	2
3	0.191	0.072	0.119	3
4	0.217	0.041	0.176	4
5	0.219	0.018	0.201	5

Gráfico 34: Curva de calibración vitamina C



8.2.3. Preparación y lectura de la muestra

- a) Se maceró 50 gr de pulpa de mango fresca con 350 ml de una solución de ácido oxálico al 0.4% en una licuadora por 3 min y luego se filtró
- b) Determinamos L1 como se describió anteriormente
- c) En el tubo III colocamos 1ml de filtrado (muestra) + 9 ml de agua, ajustamos a cero la absorbancia.
- d) Luego en el tubo IV colocamos 1 ml del filtrado (muestra) + 9 ml del colorante y registramos la absorbancia (L2) después de 15 segundos.



- e) Calcular (L1-L2) y obtener la concentración de ácido ascórbico a partir de la curva estándar. Los resultados fueron los siguientes

Tabla 35: Valores de L1 y L2 de la muestra de pulpa de mango para la determinación de la Vitamina C

L1	0.1068
L2	0.0944
L1-L2	0.0124

Calculamos la concentración de vitamina C en la muestra

CALCULOS:

De la curva obtenida determinamos la concentración de Vitamina C en la pulpa de mango

$$\begin{aligned}y &= 0,0387x + 0,0123 \\0.0124 &= 0.0387x + 0.0123 \\0.00011 &= 0.0387x \\X &= \mathbf{0.002877}\end{aligned}$$

Sabiendo que está al 1%, entonces lo llevaremos al 100% aplicando regla de tres simple:

$$\begin{array}{ccc}0.002877 \text{ mgr} & \Rightarrow & 1\% \\X & \Rightarrow & 100\%\end{array}$$

$$X = \frac{0.002877 \times 100\%}{1\%} = 0.2877 \text{ mgr/ml} \dots \text{para 1ml de pulpa}$$

Y esto sería la concentración del ácido ascórbico para 1ml de pulpa, lo llevaremos a 100 ml.

$$\begin{array}{ccc}0.2877 \text{ mgr} & \Rightarrow & 1 \text{ ml} \\X & \Rightarrow & 100 \text{ ml}\end{array}$$

$$X = \frac{100 \text{ ml} \times 0.2877}{1 \text{ ml}} = 28.77 \text{ mgr} \dots \text{para 100 ml de pulpa}$$

8.3. Preparación de la mezclas con encapsulantes

Para la preparación de las muestras se realizó el siguiente cálculo:

Para 18g/100g de solución (18Brix)

Para el 2% Maltodextrina

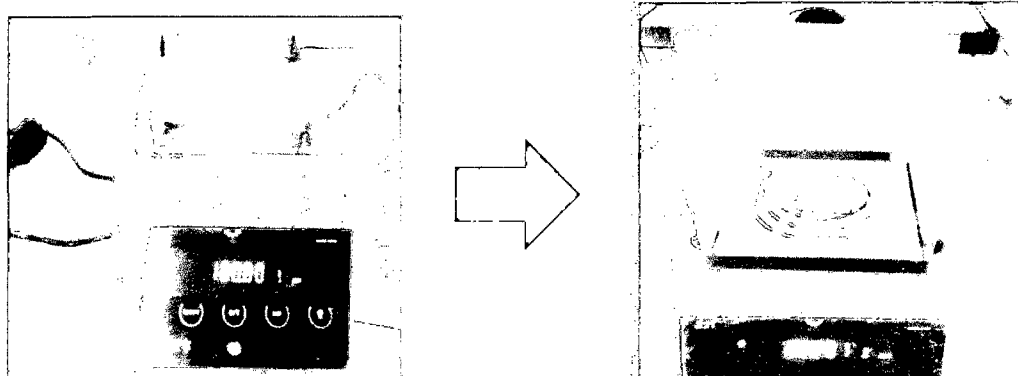
$$\begin{array}{l} 18 \text{ g} \text{ -----} 100\% \\ x \text{ -----} 2\% \\ x=0.36\text{g (por cada 100g de pulpa)} \end{array}$$

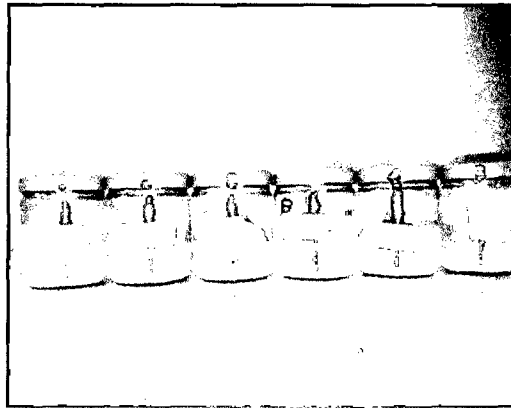
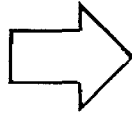
El mismo cálculo se realizó para todas la mezclas, la cual se muestra en la tabla 48

Tabla 36: Concentración de Encapsulantes de las muestras

MUESTRAS	composición		pesos (gr)	
	Maltodextrina	Goma Arábica	Maltodextrina	Goma Arábica
M1	2,0%	0,0%	0,36	0
M2	1,5%	0,5%	0,27	0,09
M3	1,0%	1,0%	0,18	0,18
M4	0,5%	1,5%	0,09	0,27
M5	0,0%	2,0%	0	0,36
M6	0,0%	0,0%	0	0

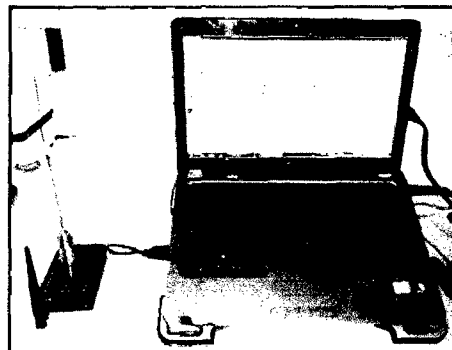
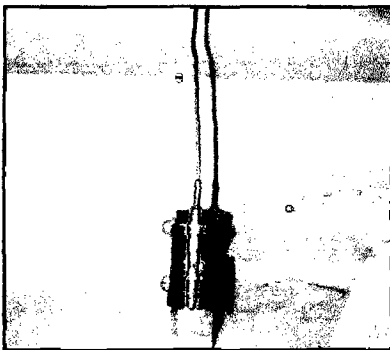
Una vez realizadas se procedió al peso de los encapsulantes y la homogenización de las mezclas



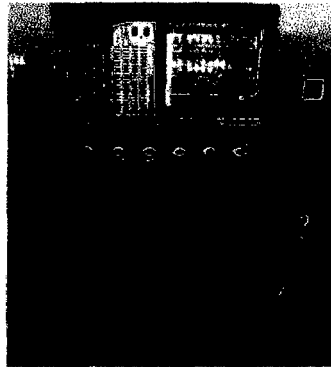
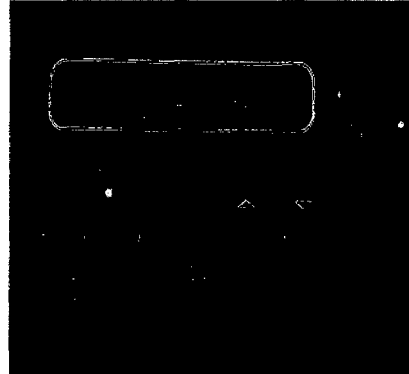
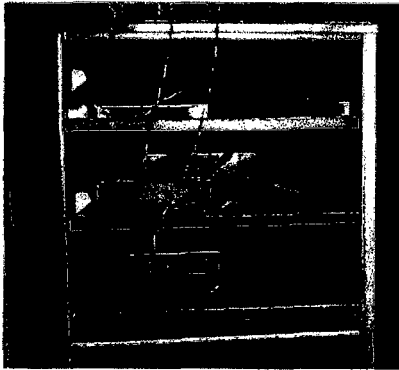


8.4. Liofilización de las muestras con encapsulantes

Una vez obtenidas todas las mezclas se procedió a la al proceso de Liofilización. Para este proceso se preparó el Software Data Trace para un seguimiento en tiempo real de las muestras a Liofilizar.

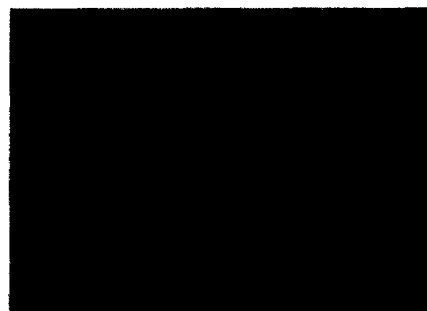
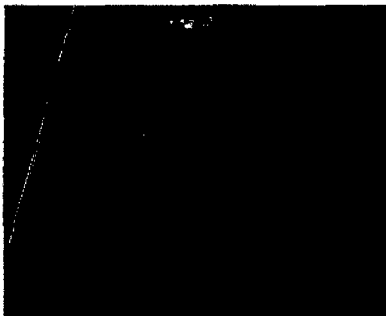


Seguidamente se programa el Liofilizador y se introducen las muestras. El proceso de Liofilización tomo un tiempo de 22 horas



8.5. Rehidratación de las muestras

Finalizado el proceso de liofilización se realizó la rehidratación de las muestras añadiendo el agua sustraída durante este proceso

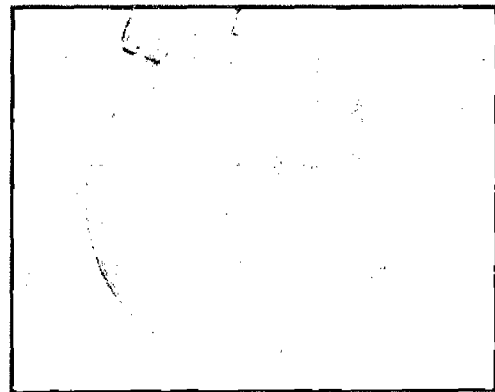
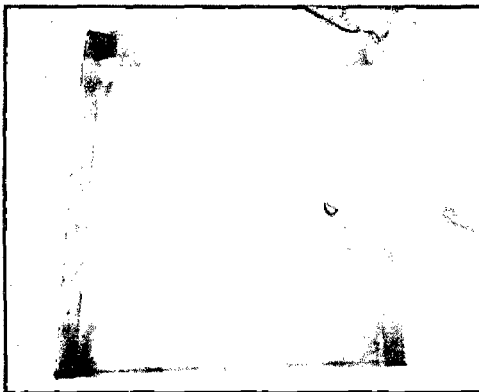


Para determinar la cantidad de agua extraída se procedió a hacer el cálculo que muestra en siguiente cuadro:

Tabla 37: Pesos de las muestras liofilizadas

Muestra	MD	GA	Peso de la placa	Peso de la muestra (gr)	Peso de la muestra seca + placa	Peso de la muestra seca	perdida de agua
M1	2.0%	0.0%	139.81	100	162.5	22.69	77.31
M2	1.5%	0.5%	140.59	100	164.12	23.53	76.47
M3	1.0%	1.0%	783.32	100	806.22	22.9	77.1
M4	0.5%	1.5%	140.1	100	163.01	22.91	77.09
M5	0.0%	2.0%	139.78	100	162.48	22.7	77.3
M6	0.0%	0.0%	783.15	100	812.6	29.45	70.55

Se procedió a extraer la materia seca pulverizarla y en un mortero y pilón para hacer que la rehidratación sea más fácil



Finalmente se agregó el agua dejando remojar por un tiempo de 20 minutos por cada muestra se removió para homogenizar la pulpa rehidratada, luego se llevó para su análisis reológico en el reómetro

8.6. Obtención de los parámetros reológicos de la pulpa de mango Edward ajustados al Modelo reológico Mizrahi – Berk.

De los datos obtenidos por el Reómetro Digital R/S Plus Modelo BROOKFIELD R/S-CC junto con el software Rheo3000, se construyó la Tabla 50.



Tabla 38: Datos de la pulpa de mango obtenidos del Reómetro Digital R/S Plus Modelo BROOKFIELD R/S-CC mediante el software Rheo3000.

Ritmo Cortante (1/s)	Esfuerzo Cortante (Pa) (ascendente)			Esfuerzo Cortante (Pa) (descendente)			Temperatura (°C)
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
0.000	1.312	1.626	1.335	1.302	1.456	1.317	30.0
15.789	14.003	14.033	14.120	13.825	13.989	14.012	30.0
31.579	16.574	17.297	16.832	16.224	16.843	16.534	30.0
47.369	18.398	19.028	18.714	18.112	18.512	18.408	30.0
63.158	20.118	20.424	20.548	19.786	19.934	20.024	30.0
78.949	21.873	22.065	22.044	21.103	21.383	21.434	30.0
94.737	23.167	23.613	23.486	22.543	22.911	22.694	30.0
110.527	24.487	24.978	24.706	23.767	24.134	23.828	30.0
126.317	25.682	26.207	25.963	25.034	25.401	25.149	30.0
142.107	26.770	27.412	27.154	26.112	26.488	26.148	30.0
157.897	27.790	28.346	28.091	27.134	27.538	27.073	30.0
173.685	28.762	29.372	29.112	28.138	28.346	27.886	30.0
189.476	29.587	30.088	30.011	29.223	29.242	28.983	30.0
205.265	30.588	30.747	30.852	30.226	30.131	29.848	30.0
221.054	31.431	31.405	31.587	31.045	30.903	30.769	30.0
236.846	32.204	32.069	32.341	31.940	31.643	31.523	30.0
252.633	33.012	32.602	32.935	32.858	32.368	32.445	30.0
268.425	33.778	33.222	33.650	33.622	33.032	33.244	30.0
284.214	34.391	33.790	34.291	34.327	33.654	33.993	30.0
300.001	35.166	34.358	34.954	35.122	34.352	34.950	30.0

Cada muestra fue programada para un tiempo de ejecución de 4 min., y que dentro de los dos minutos iniciales varíe la velocidad de deformación en forma

creciente hasta alcanzar un valor máximo, cerca de 300 s^{-1} , y en los dos minutos restantes varié la velocidad de deformación en forma decreciente hasta alcanzar un valor mínimo de 0 s^{-1} . Tanto en la corrida ascendente y descendente se obtuvo 20 puntos de la velocidad de deformación, resultando un total de 40 puntos, tal como se muestra en la Tabla 50. La prueba fue realizada a una temperatura de 30°C (303.15°K).

La corrida ascendente y descendente para cada muestra de pulpa de mango Edward se promedió obteniéndose la Tabla 51.

Tabla 39: Datos de esfuerzo cortante y ritmo cortante de las muestras de pulpa de mango Edward.

Ritmo cortante (s^{-1})	Esfuerzo cortante (Pa)			Temperatura ($^\circ\text{C}$)
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
0.000	1.307	1.541	1.326	30.0
15.789	13.914	14.011	14.066	30.0
31.579	16.399	17.070	16.683	30.0
47.369	18.255	18.770	18.561	30.0
63.158	19.952	20.179	20.286	30.0
78.949	21.488	21.724	21.739	30.0
94.737	22.855	23.262	23.090	30.0
110.527	24.127	24.556	24.267	30.0
126.317	25.358	25.804	25.556	30.0
142.107	26.441	26.950	26.651	30.0
157.897	27.462	27.942	27.582	30.0
173.685	28.450	28.859	28.499	30.0
189.476	29.405	29.665	29.497	30.0
205.265	30.407	30.439	30.350	30.0
221.054	31.238	31.154	31.178	30.0
236.846	32.072	31.856	31.932	30.0
252.633	32.935	32.485	32.690	30.0
268.425	33.700	33.127	33.447	30.0
284.214	34.359	33.722	34.142	30.0
300.001	35.144	34.355	34.952	30.0

Para la obtención de los parámetros reológicos se utilizó los datos de esfuerzo cortante y ritmo cortante de cada muestra que se presentan en la Tabla 51. Se realizó una regresión no lineal tomando como función a estimar para la regresión el modelo Mizrahi - Berk, para esto se hizo uso del paquete estadístico Statgraphics Centurion XVI y tomándose como opciones para la regresión no lineal lo que se muestra en la Figura 32

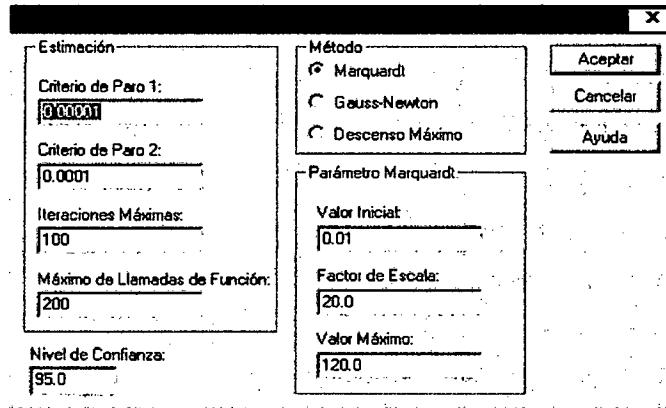


Figura 32: Opciones de Regresión No Lineal

El resultado de la regresión no lineal tomando como función a estimar la ecuación del Modelo Mizrahi – Berk nos permitió encontrar los valores K_{OM} , K_M y n , tal como se muestran en la Tabla 03 de los resultados.

A) Determinación de la viscosidad aparente de la pulpa de mango Edward

Para determinar la viscosidad aparente de la pulpa de mango Edward los datos de la Tabla N°xx se ajustaron al modelo Mizrahi – Berk utilizando para esto los valores de K_{OM} , K_M y n obtenidos por la regresión no lineal. Estos valores se reemplazaron en la siguiente ecuación propuesta por Mizrahi – Berk ;

$$(\sigma)^{0.5} = K_{OM} + K_M(\dot{\gamma})^n \dots\dots\dots (1)$$

Dónde:

σ : Esfuerzo cortante (Pa)

K_{OM} : Raíz cuadrada de la tensión inicial (Pa)^{0.5}

K_M : Índice de consistencia (Pa.s)

n : Índice de comportamiento al flujo

$\dot{\gamma}$: Ritmo cortante (s⁻¹)

Los datos se ajustaron a la ecuación del modelo Mizrahi – Berk, obteniéndose nuevos valores de esfuerzo cortante, tal como se muestra en la Tabla N°xx.

Tabla 40: Datos ajustados al modelo reológico Mizrahi - Berk

Ritmo cortante (s ⁻¹)	Esfuerzo cortante (Pa)			Temperatura (°C)
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
0.000	1.333	1.551	1.345	30.0
15.789	13.058	13.658	13.389	30.0
31.579	16.194	16.731	16.502	30.0
47.369	18.451	18.923	18.727	30.0
63.158	20.280	20.689	20.524	30.0
78.949	21.846	22.196	22.058	30.0
94.737	23.231	23.523	23.411	30.0
110.527	24.482	24.719	24.630	30.0
126.317	25.628	25.812	25.745	30.0
142.107	26.691	26.823	26.778	30.0
157.897	27.685	27.767	27.742	30.0
173.685	28.620	28.654	28.648	30.0
189.476	29.505	29.492	29.504	30.0
205.265	30.347	30.288	30.318	30.0
221.054	31.150	31.047	31.094	30.0
236.846	31.920	31.773	31.837	30.0
252.633	32.660	32.470	32.551	30.0
268.425	33.373	33.141	33.237	30.0
284.214	34.060	33.788	33.899	30.0
300.001	34.726	34.412	34.539	30.0

De la Tabla N°xx , para cada muestra se determinaron los valores de viscosidad aparente mediante la siguiente ecuación :

$$n = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \dots \dots \dots (2)$$

Donde;

τ : Esfuerzo cortante (Pa)

$\dot{\gamma}$: Ritmo cortante (s⁻¹)

n : Viscosidad aparente (Pa.s)

Y de esta forma se obtuvo los valores de viscosidad aparente de las muestras, las cuales se muestran en la Tabla N°xx.

Tabla 41 Viscosidad aparente de la pulpa de mango Edward.

Ritmo cortante (s ⁻¹)	Viscosidad aparente (mPa.s)			Temperatura (°C)
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
15.789	827.056	865.018	847.988	30.0
31.579	512.822	529.803	522.548	30.0
47.369	389.520	399.472	395.352	30.0
63.158	321.101	327.577	324.962	30.0
78.949	276.716	281.139	279.393	30.0
94.737	245.218	248.299	247.111	30.0
110.527	221.502	223.644	222.839	30.0
126.317	202.890	204.343	203.815	30.0
142.107	187.824	188.754	188.433	30.0
157.897	175.333	175.855	175.694	30.0
173.685	164.779	164.975	164.940	30.0
189.476	155.718	155.650	155.715	30.0
205.265	147.841	147.556	147.702	30.0
221.054	140.917	140.450	140.664	30.0
236.846	134.773	134.152	134.423	30.0
252.633	129.279	128.527	128.845	30.0
268.425	124.328	123.464	123.822	30.0
284.214	119.841	118.881	119.273	30.0
300.001	115.752	114.708	115.129	30.0

B) Obtención de los parámetros reológicos de la pulpa de mango Edward liofilizada y reconstituida ajustados al Modelo reológico Mizrahi – Berk.

De los datos obtenidos por el Reómetro Digital R/S Plus Modelo BROOKFIELD R/S-CC junto con el software Rheo3000, se construyó la Tabla N°xx.

Tabla 42 Datos de la pulpa de mango liofilizada y reconstituida obtenidos del Reómetro Digital R/S Plus Modelo BROOKFIELD R/S-CC mediante el software Rheo3000.

Ritmo Cortante (1/s)	Esfuerzo Cortante (Pa) (ascendente)			Esfuerzo Cortante (Pa) (descendente)			Esfuerzo Cortante (Pa) (Promedio)		
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
0.000	0.928	0.919	1.033	0.896	0.883	0.813	0.912	0.901	0.923
15.789	9.608	8.915	9.599	9.434	8.663	9.263	9.521	8.789	9.431
31.579	11.132	10.814	12.640	10.854	10.314	12.014	10.993	10.564	12.327
47.369	13.333	11.390	13.776	12.923	11.076	13.176	13.128	11.233	13.476
63.158	14.785	13.089	16.074	14.121	12.423	15.294	14.453	12.756	15.684
78.949	15.235	13.956	16.479	14.559	13.552	15.765	14.897	13.754	16.122
94.737	16.756	14.490	18.186	15.774	13.726	17.120	16.265	14.108	17.653
110.527	17.154	14.817	18.693	16.092	13.831	17.531	16.623	14.324	18.112
126.317	18.522	16.087	20.099	17.274	14.827	18.987	17.898	15.457	19.543
142.107	19.318	16.569	20.481	17.612	15.267	19.543	18.465	15.918	20.012
157.897	19.508	16.757	21.487	18.042	15.489	20.221	18.775	16.123	20.854
173.685	20.033	17.210	21.990	18.431	15.876	20.674	19.232	16.543	21.332
189.476	20.680	17.931	23.100	19.544	16.721	21.984	20.112	17.326	22.542
205.265	21.352	18.254	23.414	20.436	17.324	22.542	20.894	17.789	22.978
221.054	21.573	18.358	24.043	21.123	17.554	23.243	21.348	17.956	23.643
236.846	21.689	18.344	24.260	21.375	17.876	23.688	21.532	18.110	23.974
252.633	22.458	18.740	24.789	22.184	18.338	24.295	22.321	18.539	24.542
268.425	22.701	19.384	25.405	22.563	19.104	25.251	22.632	19.244	25.328
284.214	23.281	19.674	25.999	23.121	19.412	25.753	23.201	19.543	25.876
300.001	23.744	20.030	26.209	23.812	19.856	26.193	23.778	19.943	26.201

Para la obtención de los datos de la Tabla N°xx se procedió a programar para cada muestra de pulpa de mango liofilizada y reconstituida de la misma manera que para las muestra de pulpa de mango fresca, obteniéndose 40 puntos entre los valores ascendentes y descendentes por cada muestra. La corrida ascendente y descendente para cada muestra de pulpa de mango Edward liofilizada y reconstituida se promedió obteniéndose la Tabla N°xx.

Tabla 43: Datos de esfuerzo cortante y ritmo cortante de las muestras de pulpa de mango Edward.

Ritmo cortante (s ⁻¹)	Esfuerzo cortante (Pa)			Temperatura (°C)
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
0.000	0.912	0.901	0.923	30.0
15.789	9.521	8.789	9.431	30.0
31.579	10.993	10.564	12.327	30.0
47.369	13.128	11.233	13.476	30.0
63.158	14.453	12.756	15.684	30.0
78.949	14.897	13.754	16.122	30.0
94.737	16.265	14.108	17.653	30.0
110.527	16.623	14.324	18.112	30.0
126.317	17.898	15.457	19.543	30.0
142.107	18.465	15.918	20.012	30.0
157.897	18.775	16.123	20.854	30.0
173.685	19.232	16.543	21.332	30.0
189.476	20.112	17.326	22.542	30.0
205.265	20.894	17.789	22.978	30.0
221.054	21.348	17.956	23.643	30.0
236.846	21.532	18.110	23.974	30.0
252.633	22.321	18.539	24.542	30.0
268.425	22.632	19.244	25.328	30.0
284.214	23.201	19.543	25.876	30.0
300.001	23.778	19.943	26.201	30.0

Para la obtención de los parámetros reológicos se utilizó los datos de esfuerzo cortante y ritmo cortante de cada muestra que se presentan en la Tabla xx. Se realizó una regresión no lineal tomando como función a estimar para la regresión el modelo Mizrahi – Berk y se procedió siguiendo la misma metodología que se realizó con las muestras de pulpa de mango frescas.

El resultado de la regresión no lineal tomando como función a estimar la ecuación del Modelo Mizrahi – Berk nos permitió encontrar los valores K_{OM} , K_M y n , tal como se muestran en la Tabla 05 de los resultados.

C) Determinación de la viscosidad aparente de la pulpa de mango Edward liofilizada.

Para determinar la viscosidad aparente de la pulpa de mango Edward liofilizada y reconstituida los datos de la Tabla N°xx se ajustaron al modelo Mizrahi – Berk utilizando para esto los valores de K_{OM} , K_M y n obtenidos por la regresión no lineal. Estos valores se reemplazaron en la ecuación propuesta por Mizrahi – Berk (ecuación (1)), obteniéndose nuevos valores de esfuerzo cortante, tal como se muestra en la Tabla N°xx.

Tabla 44: Datos ajustados al modelo reológico Mizrahi - Berk

Ritmo cortante (s^{-1})	Esfuerzo cortante (Pa)			Temperatura (°C)
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
0.000	0.915	0.903	0.920	30.0
15.789	9.299	8.704	9.658	30.0
31.579	11.418	10.434	12.046	30.0
47.369	12.928	11.640	13.771	30.0
63.158	14.143	12.597	15.171	30.0
78.949	15.178	13.404	16.373	30.0
94.737	16.090	14.109	17.437	30.0
110.527	16.910	14.739	18.398	30.0
126.317	17.660	15.312	19.281	30.0
142.107	18.354	15.838	20.099	30.0
157.897	19.000	16.327	20.865	30.0
173.685	19.608	16.784	21.586	30.0
189.476	20.182	17.214	22.270	30.0
205.265	20.727	17.621	22.920	30.0
221.054	21.246	18.007	23.541	30.0
236.846	21.743	18.376	24.136	30.0
252.633	22.219	18.729	24.708	30.0
268.425	22.678	19.067	25.259	30.0
284.214	23.120	19.393	25.792	30.0
300.001	23.547	19.706	26.306	30.0

De la Tabla 44, para cada muestra se determinaron los valores de viscosidad aparente mediante la ecuación (2)

Y de esta forma se obtuvo los valores de viscosidad aparente de las muestras, las cuales se muestran en la Tabla 45.

Tabla 45: Viscosidad aparente de la pulpa de mango Edward.

Ritmo cortante (s ⁻¹)	Viscosidad aparente (mPa.s)			Temperatura (°C)
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
15.789	588.933	551.241	611.690	30.0
31.579	361.578	330.403	381.459	30.0
47.369	272.918	245.727	290.711	30.0
63.158	223.928	199.453	240.212	30.0
78.949	192.254	169.784	207.385	30.0
94.737	169.837	148.930	184.052	30.0
110.527	152.998	133.354	166.460	30.0
126.317	139.810	121.215	152.638	30.0
142.107	129.154	111.451	141.438	30.0
157.897	120.334	103.400	132.144	30.0
173.685	112.892	96.632	124.285	30.0
189.476	106.513	90.850	117.533	30.0
205.265	100.974	85.844	111.660	30.0
221.054	96.112	81.461	106.493	30.0
236.846	91.801	77.587	101.906	30.0
252.633	87.951	74.134	97.802	30.0
268.425	84.484	71.034	94.102	30.0
284.214	81.346	68.232	90.747	30.0
300.001	78.489	65.687	87.688	30.0

D) Obtención de los parámetros reológicos de la pulpa de mango Edward con encapsulantes ajustados al Modelo reológico Mizrahi – Berk.

Cada muestra de las mezclas realizadas de la pulpa de mango con encapsulantes se realizó por triplicado en el Reómetro Digital R/S Plus Modelo BROOKFIELD R/S-CC junto con el software Rheo3000 y se obtuvo el promedio de estos datos.

Se programó para cada mezcla de pulpa de mango con encapsulantes de la misma manera que para las muestra de pulpa de mango fresca, obteniéndose 40 puntos entre los valores ascendentes y descendentes por cada muestra.

La corrida ascendente y descendente para cada mezcla de pulpa de mango Edward con encapsulantes se promedió obteniéndose la Tabla 46.

Tabla 46: Datos de la pulpa de mango con encapsulantes obtenidos del Reómetro Digital R/S Plus Modelo BROOKFIELD R/S-CC mediante el software Rheo3000.

Ritmo Cortante (s^{-1})	Esfuerzo Cortante (Pa)						Temperatura ($^{\circ}C$)
	0% Maltodextrina + 0% Goma Arábica	2% Maltodextrina + 0% Goma Arábica	1.5% Maltodextrina + 0.5% Goma Arábica	1% Maltodextrina + 1% Goma Arábica	0.5% Maltodextrina + 1.5% Goma Arábica	0% Maltodextrina + 2% Goma Arábica	
0.000	1.143	1.212	1.040	0.971	0.966	0.851	30.0
15.789	13.094	13.738	13.610	13.739	13.758	14.317	30.0
31.579	15.406	16.252	16.184	16.252	16.325	16.659	30.0
47.369	17.137	18.050	18.025	18.062	18.143	18.666	30.0
63.158	18.732	19.707	19.676	19.858	19.853	20.479	30.0
78.949	20.180	21.099	21.136	21.197	21.299	22.001	30.0
94.737	21.470	22.395	22.502	22.509	22.614	23.263	30.0
110.527	22.672	23.520	23.692	23.629	23.791	24.608	30.0
126.317	23.839	24.762	24.761	24.780	24.879	25.677	30.0
142.107	24.862	25.812	25.819	25.818	25.836	26.820	30.0
157.897	25.826	26.700	26.882	26.819	26.922	27.773	30.0
173.685	26.762	27.576	27.850	27.817	27.889	28.756	30.0
189.476	27.666	28.535	28.806	28.652	28.767	29.751	30.0
205.265	28.621	29.351	29.614	29.595	29.613	30.543	30.0
221.054	29.407	30.142	30.464	30.369	30.399	31.396	30.0
236.846	30.196	30.861	31.253	31.134	31.149	32.221	30.0
252.633	31.017	31.585	32.018	31.903	31.905	33.020	30.0
268.425	31.742	32.310	32.777	32.657	32.650	33.781	30.0
284.214	32.361	32.973	33.508	33.414	33.335	34.524	30.0
300.001	33.108	33.752	34.202	34.147	34.079	35.321	30.0

Para la obtención de los parámetros reológicos se utilizó los datos de esfuerzo cortante y ritmo cortante de cada mezcla que se presentan en la Tabla 46. Se realizó una regresión no lineal tomando como función a estimar para la regresión el modelo Mizrahi – Berk y se procedió siguiendo la misma metodología que se realizó con las muestras de pulpa de mango frescas.

El resultado de la regresión no lineal tomando como función a estimar la ecuación del Modelo Mizrahi – Berk nos permitió encontrar los valores K_{OM} , K_M y n , tal como se muestran en la Tabla 08 de los resultados.

E) Determinación de la viscosidad aparente de la pulpa de mango Edward con encapsulantes

Para determinar la viscosidad aparente de la pulpa de mango Edward con encapsulantes los datos de la Tabla N°xx se ajustaron al modelo Mizrahi – Berk utilizando para esto los valores de K_{OM} , K_M y n obtenidos por la regresión no lineal. Estos valores se reemplazaron en la ecuación propuesta por Mizrahi

– Berk (ecuación (1)), obteniéndose nuevos valores de esfuerzo cortante, tal como se muestra en la Tabla N°xx.

Tabla 47: Datos ajustados al modelo reológico Mizrahi - Berk

Ritmo Cortante (s^{-1})	Esfuerzo Cortante (Pa)						Temperatura ($^{\circ}C$)
	0% Maltodextrina + 0% Goma Arábica	2% Maltodextrina + 0% Goma Arábica	1.5% Maltodextrina + 0.5% Goma Arábica	1% Maltodextrina + 1% Goma Arábica	0.5% Maltodextrina + 1.5% Goma Arábica	0% Maltodextrina + 2% Goma Arábica	
0.000	1.168	1.230	1.059	0.989	0.982	0.868	30.0
15.789	12.239	13.060	12.889	12.989	13.069	13.426	30.0
31.579	15.202	16.070	15.967	16.060	16.140	16.622	30.0
47.369	17.334	18.215	18.169	18.248	18.325	18.894	30.0
63.158	19.061	19.943	19.945	20.010	20.083	20.722	30.0
78.949	20.540	21.415	21.462	21.511	21.580	22.277	30.0
94.737	21.847	22.713	22.799	22.833	22.897	23.646	30.0
110.527	23.027	23.880	24.004	24.023	24.082	24.877	30.0
126.317	24.109	24.948	25.106	25.110	25.165	26.001	30.0
142.107	25.112	25.935	26.126	26.115	26.166	27.039	30.0
157.897	26.049	26.856	27.078	27.053	27.099	28.007	30.0
173.685	26.931	27.721	27.973	27.934	27.975	28.916	30.0
189.476	27.766	28.538	28.818	28.766	28.802	29.774	30.0
205.265	28.560	29.314	29.622	29.555	29.587	30.588	30.0
221.054	29.318	30.054	30.388	30.308	30.335	31.364	30.0
236.846	30.044	30.762	31.122	31.028	31.051	32.106	30.0
252.633	30.741	31.441	31.825	31.719	31.737	32.817	30.0
268.425	31.413	32.094	32.503	32.383	32.397	33.501	30.0
284.214	32.062	32.724	33.156	33.023	33.034	34.161	30.0
300.001	32.689	33.333	33.787	33.642	33.648	34.797	30.0

De la Tabla 47 para cada mezcla de pulpa de mango con encapsulantes se determinaron los valores de viscosidad aparente mediante la ecuación (2). Y de esta forma se obtuvo los valores de viscosidad aparente de las muestras, las cuales se muestran en la Tabla 48.

Tabla 48: Viscosidad aparente de la pulpa de mango Edward.

Ritmo Cortante (s^{-1})	Viscosidad ($10^{-3}Pa.s$)						Temperatura ($^{\circ}C$)
	0% Maltodextrina + 0% Goma Arábica	2% Maltodextrina + 0% Goma Arábica	1.5% Maltodextrina + 0.5% Goma Arábica	1% Maltodextrina + 1% Goma Arábica	0.5% Maltodextrina + 1.5% Goma Arábica	0% Maltodextrina + 2% Goma Arábica	
15.789	775.159	827.158	816.328	822.661	827.728	850.285	30.0
31.579	481.397	508.882	505.621	508.566	511.099	526.354	30.0
47.3685	365.932	384.538	383.563	385.235	386.856	398.868	30.0
63.158	301.796	315.764	315.795	316.824	317.980	328.098	30.0
78.949	260.163	271.251	271.846	272.467	273.341	282.170	30.0
94.737	230.605	239.748	240.656	241.015	241.690	249.596	30.0
110.527	208.341	216.056	217.178	217.348	217.881	225.074	30.0
126.317	190.862	197.503	198.756	198.786	199.221	205.839	30.0
142.107	176.710	182.503	183.847	183.770	184.129	190.272	30.0
157.897	164.975	170.086	171.492	171.333	171.625	177.375	30.0
173.685	155.057	159.605	161.056	160.831	161.067	166.485	30.0
189.476	146.541	150.615	152.093	151.820	152.009	157.139	30.0
205.265	139.137	142.811	144.311	143.985	144.141	149.017	30.0
221.054	132.628	135.958	137.469	137.107	137.229	141.884	30.0
236.846	126.850	129.882	131.402	131.005	131.102	135.556	30.0
252.6325	121.684	124.454	125.973	125.554	125.625	129.900	30.0
268.425	117.028	119.565	121.088	120.641	120.693	124.806	30.0
284.214	112.808	115.139	116.659	116.191	116.229	120.195	30.0
300.0005	108.962	111.109	112.623	112.140	112.160	115.990	30.0
Promedio	227.191	236.980	237.250	237.751	238.516	246.048	

F) Obtención de los parámetros reológicos de la pulpa de mango con encapsulantes liofilizadas y reconstituidas ajustados al Modelo reológico Mizrahi – Berk.

Cada muestra de las mezclas realizadas de la pulpa de mango con encapsulantes liofilizadas y reconstituidas se realizó por triplicado en el Reómetro Digital R/S Plus Modelo BROOKFIELD R/S-CC junto con el software Rheo3000 y se obtuvo el promedio de estos datos.

Se programó para cada mezcla de pulpa de mango con encapsulantes liofilizadas y reconstituidas de la misma manera que para las muestra de pulpa de mango fresca, obteniéndose 40 puntos entre los valores ascendentes y descendentes por cada muestra.

La corrida ascendente y descendente para cada mezcla de pulpa de mango Edward con encapsulantes se promedió obteniéndose la Tabla 49

Tabla 49: Datos de la pulpa de mango con encapsulantes obtenidos del Reómetro Digital R/S Plus Modelo BROOKFIELD R/S-CC mediante el software Rheo3000.

Ritmo Cortante (s ⁻¹)	Esfuerzo Cortante (Pa)						Temperatura (°C)
	0% Maltodextrina +	2% Maltodextrina +	1.5% Maltodextrina +	1% Maltodextrina +	0.5% Maltodextrina +	0% Maltodextrina +	
	0% Goma Arabiga	0% Goma Arabiga	0.5% Goma Arabiga	1% Goma Arabiga	1.5% Goma Arabiga	2% Goma Arabiga	
0.000	0.921	1.343	0.867	0.786	0.769	1.040	30.0
15.789	9.124	10.423	10.276	10.213	11.684	13.733	30.0
31.579	11.223	12.653	12.121	13.415	13.483	16.341	30.0
47.369	12.653	13.984	14.221	14.632	15.140	18.207	30.0
63.158	13.874	15.372	15.330	16.547	16.852	19.878	30.0
78.949	14.852	16.013	16.412	17.329	18.249	21.355	30.0
94.737	15.793	17.324	17.475	18.958	19.325	22.736	30.0
110.527	16.481	17.751	18.123	19.547	20.485	23.939	30.0
126.317	17.287	18.122	19.347	20.932	21.364	25.021	30.0
142.107	17.831	19.387	19.621	21.121	22.233	26.090	30.0
157.897	18.573	19.543	20.884	22.542	23.108	27.164	30.0
173.685	19.144	20.447	21.103	23.232	23.988	28.142	30.0
189.476	19.718	20.773	21.987	23.326	24.796	29.108	30.0
205.265	20.223	21.123	22.254	24.015	25.452	29.924	30.0
221.054	20.756	21.978	23.102	25.421	26.113	30.783	30.0
236.846	21.215	22.113	23.879	25.324	26.736	31.581	30.0
252.633	21.535	22.897	24.012	26.629	27.347	32.353	30.0
268.425	22.148	23.321	24.319	26.545	27.971	33.120	30.0
284.214	22.532	23.442	25.432	27.642	28.544	33.858	30.0
300.001	22.968	23.976	25.675	27.863	29.183	34.560	30.0

Para la obtención de los parámetros reológicos se utilizó los datos de esfuerzo cortante y ritmo cortante de cada mezcla que se presentan en la Tabla 49. Se realizó una regresión no lineal tomando como función a estimar para la regresión el modelo Mizrahi – Berk y se procedió siguiendo la misma metodología que se realizó con las muestras de pulpa de mango frescas.

El resultado de la regresión no lineal tomando como función a estimar la ecuación del Modelo Mizrahi – Berk nos permitió encontrar los valores K_{OM} , K_M y n , tal como se muestran en la Tabla 10 de los resultados.

G) Determinación de la viscosidad aparente de la pulpa de mango Edward con encapsulantes liofilizadas y reconstituidas.

Para determinar la viscosidad aparente de la pulpa de mango Edward con encapsulantes liofilizadas y reconstituidas los datos de la Tabla 50 se ajustaron al modelo Mizrahi – Berk utilizando para esto los valores de K_{OM} , K_M y n obtenidos por la regresión no lineal. Estos valores se reemplazaron en la ecuación propuesta por Mizrahi – Berk (ecuación (1)), obteniéndose nuevos valores de esfuerzo cortante, tal como se muestra en la Tabla 50

Tabla 50: Datos ajustados al modelo reológico Mizrahi - Berk

Ritmo Cortante (s^{-1})	Esfuerzo Cortante (Pa)						Temperatura ($^{\circ}C$)
	0% Maltodextrina + 0% Goma Arabiga	2% Maltodextrina + 0% Goma Arabiga	1.5% Maltodextrina + 0.5% Goma Arabiga	1% Maltodextrina + 1% Goma Arabiga	0.5% Maltodextrina + 1.5% Goma Arabiga	0% Maltodextrina + 2% Goma Arabiga	
0.000	0.921	1.343	0.871	0.784	0.781	1.059	30.0
15.789	9.144	10.482	10.064	10.452	10.969	13.012	30.0
31.579	11.204	12.565	12.379	13.008	13.625	16.125	30.0
47.369	12.669	14.026	14.024	14.840	15.524	18.351	30.0
63.158	13.848	15.189	15.348	16.320	17.056	20.147	30.0
78.949	14.851	16.173	16.474	17.584	18.363	21.680	30.0
94.737	15.734	17.034	17.466	18.700	19.515	23.032	30.0
110.527	16.529	17.805	18.358	19.707	20.553	24.251	30.0
126.317	17.255	18.507	19.172	20.628	21.502	25.365	30.0
142.107	17.926	19.153	19.925	21.481	22.380	26.397	30.0
157.897	18.551	19.754	20.626	22.277	23.200	27.359	30.0
173.685	19.138	20.316	21.285	23.026	23.970	28.264	30.0
189.476	19.693	20.847	21.908	23.734	24.698	29.120	30.0
205.265	20.220	21.349	22.498	24.407	25.389	29.932	30.0
221.054	20.722	21.826	23.061	25.049	26.049	30.707	30.0
236.846	21.202	22.282	23.599	25.663	26.679	31.449	30.0
252.633	21.662	22.718	24.115	26.253	27.285	32.161	30.0
268.425	22.105	23.137	24.612	26.820	27.867	32.846	30.0
284.214	22.532	23.540	25.090	27.368	28.429	33.506	30.0
300.001	22.944	23.929	25.552	27.897	28.971	34.145	30.0

De la Tabla 51, para cada mezcla de pulpa de mango con encapsulantes liofilizadas y reconstituidas se determinaron los valores de viscosidad aparente mediante la ecuación (2). Y de esta forma se obtuvo los valores de viscosidad aparente de las muestras, las cuales se muestran en la Tabla 51

Tabla 51: Viscosidad aparente de la pulpa de mango Edward.

Ritmo Cortante (s ⁻¹)	Viscosidad (mPa.s)						Temperatura (°C)
	0% Maltodextrina + 0% Goma Arábica	2% Maltodextrina + 0% Goma Arábica	1.5% Maltodextrina + 0.5% Goma Arábica	1% Maltodextrina + 1% Goma Arábica	0.5% Maltodextrina + 1.5% Goma Arábica	0% Maltodextrina + 2% Goma Arábica	
15.789	579.115	663.876	637.434	662.011	694.651	824.132	30.0
31.579	354.797	397.906	391.987	411.923	431.460	510.618	30.0
47.3685	267.465	296.094	296.071	313.281	327.729	387.399	30.0
63.158	219.258	240.493	243.006	258.396	270.052	318.993	30.0
78.949	188.113	204.852	208.672	222.732	232.593	274.612	30.0
94.737	166.085	179.802	184.360	197.394	205.992	243.119	30.0
110.527	149.547	161.091	166.089	178.299	185.954	219.409	30.0
126.317	136.599	146.510	151.777	163.304	170.225	200.808	30.0
142.107	126.142	134.779	140.209	151.159	157.490	185.753	30.0
157.897	117.489	125.106	130.632	141.086	146.931	173.274	30.0
173.685	110.190	116.973	122.551	132.572	138.009	162.733	30.0
189.476	103.936	110.023	115.622	125.261	130.350	153.686	30.0
205.265	98.506	104.006	109.606	118.903	123.691	145.823	30.0
221.054	93.741	98.737	104.323	113.314	117.838	138.913	30.0
236.846	89.517	94.078	99.640	108.353	112.644	132.782	30.0
252.6325	85.745	89.926	95.456	103.916	108.001	127.302	30.0
268.425	82.351	86.196	91.690	99.918	103.817	122.365	30.0
284.214	79.277	82.826	88.279	96.294	100.026	117.891	30.0
300.0005	76.480	79.764	85.174	92.991	96.571	113.815	30.0
Promedio	164.440	179.634	182.241	194.269	202.843	239.654	



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



I. DATOS GENERALES (PRE GRADO):

1.1. UNIVERSIDAD:

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

1.2. ESCUELA O CARRERA PROFESIONAL:

INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

1.3. TITULO DE TRABAJO:

“EFECTO DE LA LIOFILIZACIÓN CON ENCAPSULANTES SOBRE
EL COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DE LA PULPA DE MANGO
(*Mangifera Indica L.*) DE VARIEDAD EDWARD”

1.4. AREA DE INVESTIGACION:

EXPERIMENTAL Y APLICADO

1.5. AUTORES:

DNI: 0000000, GAMBOA ALARCÓN, PEDRO WILFREDO

DNI: 45845876, SUYÓN MARTINEZ, JUAN ALBERTO

1.6. TITULO PROFESIONAL AL QUE CONDUCE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

1.7. AÑO DE APROBACION DE LA SUSTENTACION:

2015



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



II. CONTENIDO DEL RESUMEN:

2.1. RESUMEN /ABSTRACT

La presente investigación tiene como objetivo determinar el efecto de la liofilización con encapsulantes sobre el comportamiento reológico de la pulpa de mango (*Mangifera indica* L.) variedad Edward. La metodología consiste en tres etapas. La primera etapa consiste en la construcción de curvas de fluidez en muestras de pulpa de mango fresca y muestras de pulpa de mango liofilizada y reconstituida (incorporación del contenido de humedad extraído) a diferentes concentraciones de encapsulantes (2%MD-0%GA, 1.5%MD-0.5%GA, 1%MD-1%GA, 0.5%MD-1.5%GA y 0%MD-2%GA). Estas curvas de fluidez se ajustan al modelo reológico que mejor se correlacione para obtener los parámetros reológicos (índice de comportamiento al flujo, índice de consistencia y viscosidad aparente) y así poder determinar mediante reogramas de viscosidad aparente el comportamiento reológico de cada una de las muestras. Se utilizó el Reómetro Digital R/S Plus Modelo BROOKFIELD R/S-CC con el software Reo3000, el ritmo cortante se programó de 0 a 300 s^{-1} con un tiempo de ejecución de 4 minutos por cada muestra. La segunda etapa consiste en la construcción de reogramas (viscosidad vs ritmo cortante) para cada una de las concentraciones de encapsulantes para antes y después del liofilizado y comparar si este proceso incide en sus parámetros reológicos. La tercera etapa consiste en el análisis estadístico ANVA de estos parámetros reológicos para antes y después de la liofilización.

Para las muestras de pulpa de mango fresca y muestras de pulpa de mango liofilizada y reconstituida a diferentes concentraciones de encapsulantes se obtuvo un comportamiento no newtoniano del tipo



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



pseudoplástico, siendo el modelo de Mizarhi y Berk el que mejor se correlaciona para todas las muestras. Así también se puede visualizar una disminución de los valores de viscosidad e Índice de Consistencia después del tratamiento de Liofilización. Para el análisis estadístico se pudo corroborar que existe diferencia significativa para la viscosidad (antes y después del tratamiento de liofilización), así como en sus concentraciones (mezclas) y sus interacciones.

2.1.1. Formulación del Problema:

¿Qué efecto produce la liofilización con encapsulantes (Goma Arábica, Maltodextrina y su interacción) sobre el comportamiento reológico de la pulpa de mango de la variedad Edward?

2.2. OBJETIVOS:

2.2.1. Objetivo General:

Evaluar el efecto de liofilización con encapsulantes (Goma Arábica (GA), Maltodextrina (MD) y su interacción) a diferentes concentraciones (2% GA, 1.5%GA-0.5%MD, 1%GA- 1%MD, 0.5%GA-1.5%MD, 2%MD) sobre el comportamiento reológico de la pulpa de mango variedad Edward.

2.2.2. Objetivos Específicos:

- Caracterizar con análisis fisicoquímico la pulpa de mango variedad Edward.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



- Determinar el comportamiento reológico de la pulpa de mango variedad Edward
- Determinar el comportamiento reológico de la pulpa de mango con encapsulantes (2% GA, 1.5%GA-0.5%MD, 1%GA- 1%MD, 0.5%GA-1.5%MD, 2%MD).
- Determinar el comportamiento reológico de la pulpa de mango con encapsulantes (2% GA, 1.5%GA-0.5%MD, 1%GA- 1%MD, 0.5%GA-1.5%MD, 2%MD) liofilizada y reconstituida.
- Modelar, correlacionar y comparar los datos reológicos.

2.3. HIPOTESIS:

El proceso de liofilización con encapsulantes influye en el comportamiento reológico de la pulpa de mango variando la viscosidad, índice de comportamiento al flujo así como el índice de consistencia propio de un fluido pseudoplástico.

2.4. MARCO TEORICO:

2.4.1. Mangos:

En el Perú se cultivan dos tipos de mangos: las plantas francas (no injertadas y poliembriónicas) y las variedades mejoradas (injertadas y monoembriónicas). Entre las segundas encontramos, principalmente a las variedades rojas: Haden, Kent, Tommy Atkins y Edward; traídas de Florida, Estados Unidos y son preferidas por los principales importadores y son exportadas en estado fresco (Minaya, 1999).

La pulpa (que es la parte comestible) puede ser firme o acuosa, con o sin fibras, de color amarillo o anaranjado y de



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



sabor variable. Las variedades mejoradas presentan fibras más cortas en el carozo. La cascara del fruto es de un grosor variable. El peso del fruto a la madurez varía desde 100 g hasta 2 Kg por unidad (Minaya, 1999).

2.4.2. Liofilización:

La liofilización es un proceso de secado mediante sublimación. Se ha desarrollado con el fin de reducir las pérdidas de los compuestos responsables del sabor y el aroma en los alimentos, los cuales se pierden durante los procesos convencionales de secado. El proceso de liofilización consta principalmente de dos pasos; el primero consiste en congelar el producto y el segundo paso el producto es secado por sublimación directa del hielo bajo presión reducida (Orrego, 2008).

2.4.2.1. Congelación:

El proceso de congelación se discrimina en tres etapas:

- Pre-congelación, que es el período desde el comienzo del enfriamiento hasta que comienza a cristalizarse el agua.
- Congelación, que es el período durante el cual la temperatura del material es más o menos constante (cambio de fase) si la sustancia es pura.
- Para el caso de un alimento, que como una aproximación puede considerarse como una solución acuosa, la temperatura en la que comienzan a aparecer los primeros cristales de hielo está siempre por debajo de la del punto de fusión del agua. Se



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



puede presentar un sub enfriamiento como en el primer caso pero el cambio de fase se hace con temperatura variable, cristalizando inicialmente solo agua pura hasta un punto en el que se comienzan a formar los cristales del "soluto" (o del alimento o solución concentrada), lo que nuevamente causa un pequeño salto en la temperatura conocido como punto eutéctico, seguido por una "meseta" de congelación (se ha dibujado horizontal pero generalmente es curva) que finaliza en un punto generalmente difícil de determinar, en donde se considera que el producto está completamente congelado (Orrego, 2008).

2.4.2.2. Secado primario:

En el secado primario el hielo se retira de la muestra mediante sublimación desde la fase sólida a la gaseosa. Mientras se disponga de un sistema que constantemente retire este vapor, el proceso de secado por sublimación continuará hasta que se agote el hielo presente. Este papel lo cumple en un liofilizador el condensador (o mejor des- sublimador), elemento del equipo que ofrece una superficie suficientemente fría como para que el vapor de agua pase nuevamente a la fase sólida. La fuerza impulsora que mantiene la sublimación es el gradiente de presión de vapor entre la superficie congelada del producto y el condensador (Orrego, 2008).



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



2.4.2.3. Secado secundario:

Las porciones remanentes de agua no congelada, que no subliman en la primera etapa del secado, lo hacen por evaporación en la segunda etapa al incrementarse la temperatura de la matriz del alimento. Para el caso de matrices cristalinas, el mecanismo de secado es el de desorción y evaporación del agua desde la superficie cristalina.

2.4.3. Encapsulantes:

- **Maltodextrinas:**

Las maltodextrinas son hidratos de carbono obtenidos por hidrólisis parcial del almidón de maíz mediante enzimas hidrolíticas en medio ácido.

La Maltodextrina es una buena solución entre el costo y la efectividad; tiene baja viscosidad a alta proporción de sólidos, son inodoras, incoloras y de baja viscosidad a altas concentraciones, además permiten la formación de polvos de libre flujo sin enmascarar el sabor original (Parra, 2010).

- **Goma arábica:**

La goma arábica es un heteropolisacárido ramificado, formado por una cadena principal de unidades de β -galactopiranosas, a la cual se une L-ramnopiranosas, arabinofuranosas y ácido glucorónico, lo que le da la propiedad de ser un hidrocoloide hidrofílico.

La razón por la cual la goma arábica proporciona aumento en la viscosidad es su capacidad de formar gel, es decir, un estado intermedio entre el estado



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



líquido y el sólido, constituido por una red macromolecular que retiene entre sus mallas una fase líquida. (López et al., 2009)

2.4.4. Reología de fluidos alimentarios:

Existen 3 tipos de fluidos: Newtonianos (proporcionalidad entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación); No Newtonianos (no hay proporcionalidad entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación); y viscoelásticos (se comportan como líquidos y sólidos, presentando propiedades de ambos) (Ramírez, 2006).

2.4.4.1. Fluidos Independientes del Tiempo

• **Fluidos Newtonianos:**

Los fluidos que obedecen la ley de viscosidad de Newton, se llaman fluidos newtonianos. En los fluidos newtonianos existe una relación lineal entre el esfuerzo cortante τ y el gradiente de velocidad dv/dy (velocidad cortante). Esto significa que la viscosidad μ es constante e independiente de la velocidad cortante (Ramírez, 2006).

El esfuerzo cortante es una función lineal de la velocidad de corte, y la constante de proporcionalidad para la relación μ se conoce como viscosidad dinámica: (Sharma, Shri K., Mulvaney, Steven J., & Rizvi, Syed S. 2003)

• **Fluidos No Newtonianos**

En los fluidos no newtonianos, la consistencia (concepto análogo al de viscosidad, y que relaciona el esfuerzo de corte con la tasa de deformación), depende de la presión tangencial, y, por lo tanto, no es constante sino que puede



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



variar entre amplios límites. Rojas, O., Briceño, M., y Avendaño, J., (2012).

Por esta razón, en lugar del coeficiente de viscosidad, η , se usa frecuentemente un "coeficiente de viscosidad aparente", η_{ap} que se define como el primero, es decir, como la tensión tangencial dividida por la velocidad de deformación (Quintáns, 2009).

2.4.4.2. Fluidos Dependientes del Tiempo

- **Fluido Tixotrópico:**

La viscosidad va disminuyendo al aplicar una fuerza y acto seguido vuelve a aumentar al cesar dicha fuerza debido a la reconstrucción de sus estructuras y al retraso que se produce para adaptarse al cambio. Aparece un fenómeno de Histéresis (Ramírez, 2006). La tixotropía es un ablandamiento dependiente del tiempo (Quintáns, 2009).

- **Fluido Reopéctico:**

Su viscosidad aumenta con el tiempo y con la velocidad de deformación aplicada y presentan una histéresis inversa a estos últimos (Ramírez, 2006). La reopexía es un espesamiento dependiente del tiempo (Quintáns, 2009).

2.4.5. Modelos de ajuste para fluidos no newtonianos

- **Modelo de Ostwald- Waele:**

Es un modelo de dos parámetros: K (índice de consistencia) y n (índice de comportamiento). Para $n=1$, el modelo representa el comportamiento newtoniano, con $\eta=k$. Por consiguiente, la desviación del valor de n de la



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



unidad es una medida del grado de desviación del comportamiento newtoniano. Para $n > 1$, el modelo sigue un comportamiento dilatante, mientras que $n < 1$ indica un comportamiento pseudoplástico.

$$\tau = k \cdot \dot{\gamma}^n$$

- **Modelo de Herschel – Bulkley:**

En este modelo, k es un índice de consistencia y n es el índice de comportamiento. Con $n > 1$, representa un comportamiento plástico dilatante, mientras que para $n < 1$ representa un comportamiento plástico pseudoplástico.

$$\tau = \tau_0 + k \cdot \dot{\gamma}^n$$

- **Modelo de Casson :**

La curva de esfuerzo cortante contra velocidad de corte puede transformarse en una línea recta elaborando una gráfica de la raíz cuadrada del esfuerzo cortante contra la raíz cuadrada de la velocidad de corte. El chocolate es un ejemplo notable de este tipo de fluido.

$$\tau^{1/2} = m \cdot \left(\frac{dv}{dy}\right)^{1/2} + \tau_0^{1/2}$$

- **Modelo de Mizahri Berk:**

Este modelo se basa en el de Casson y fue concebido para explicar el comportamiento reológico del concentrado de naranja. En este modelo se considera la interacción de las partículas en suspensión dentro de un disolvente pseudoplástico.

$$(\sigma)^{0.5} = K_{OM} + K_M(\dot{\gamma})^n$$



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



2.5. CONCLUSIONES:

1. La curva de fluidez realizada a la pulpa de mango de variedad Edward a 18°Brix y a una temperatura de 30°C se ajustó modelo reológico Mizrahi – Berk quien demostró tener una mejor correlación y con el cual se obtuvo un índice de comportamiento al flujo menor que la unidad, propio de un fluido no newtoniano. En el reograma de viscosidad realizado se obtuvo un descenso de la viscosidad aparente a medida que se le va aumentando el esfuerzo cortante, por lo tanto la pulpa de mango Edward se clasifica como un fluido no newtoniano del tipo pseudoplástico. Asimismo, al analizar los valores de viscosidad aparente en el tiempo, la pulpa de mango Edward se comporta como un fluido tixotrópico.
2. La curva de fluidez de la pulpa de mango Edward liofilizada y posteriormente reconstituida (adición de líquido extraído) se ajustó al modelo reológico Mizrahi – Berk quien mostro tener una mejor correlación de los datos. Asimismo, mantuvo su comportamiento reológico como un fluido no newtoniano del tipo pseudoplástico y al analizar su viscosidad aparente en el tiempo mantuvo su comportamiento como un fluido tixotrópico.
3. El efecto del liofilizado de la pulpa de mango Edward se vio reflejado en la disminución de su viscosidad aparente, esto es debido a que la pulpa liofilizada al ser reconstituido experimento una modificación en el tamaño de partículas y un cambio en su estructura interna. No hubo efecto por concentración de solidos ya que los 18°Brix de la pulpa de mango al ser liofilizado y posteriormente reconstituido no



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



variaron y tampoco efecto por temperatura ya que para nuestra investigación todas nuestras lecturas reológicas se hicieron a 30°C.

4. En las mezclas realizadas a la pulpa de mango con encapsulantes se obtuvo que la mezcla con 2% Maltodextrina – 0% Goma arábica presentó un aumento en los °Brix, pero no aumento mucho su viscosidad aparente de la pulpa de mango a diferencia de la mezcla con 0% Maltodextrina – 2% Goma arábica que no aumento mucho su °Brix pero si aumento su viscosidad aparente. Todas las mezclas se ajustaron al modelo reológico Mizrahi – Berk quien mostro mejor correlación de los datos de la curva de fluidez. Tanto las mezclas de pulpa de mango con Maltodextrina, Goma arábica y su interacción presentaron comportamiento de fluido no newtoniano del tipo pseudoplástico.
5. El efecto de la liofilización en las mezclas de pulpa de mango con encapsulantes se vio reflejada en la disminución de su índice de consistencia y por tanto en su viscosidad aparente. En la mezcla de pulpa de mango con 2% Maltodextrina – 0% Goma arábica presentó mayor disminución de la viscosidad frente a la mezcla de la pulpa de mango con 0% Maltodextrina – 2% Goma arábica. Todas las mezclas de pulpa de mango con encapsulantes liofilizadas y posteriormente reconstituidas se ajustaron al modelo Mizrahi – Berk quien mostro mejor correlación de los datos de curva de fluidez. Asimismo, mostraron un comportamiento de fluido no newtoniano del tipo pseudoplástico.
6. El análisis estadístico aplicado reafirma los resultados gráficos obtenidos, por lo que se puede aseverar, con un porcentaje de



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



confiabilidad de 95%, que se presentaron diferencias estadísticamente significativas en los valores de índice de consistencia y viscosidad aparente en la pulpa de mango antes y después de ser sometida a un proceso de deshidratación por liofilización bajo diferentes tipos de mezclas con encapsulantes. Asimismo, el análisis de varianza realizado permitió afirmar que ambos efectos (liofilización y encapsulantes) tienen un efecto estadísticamente significativo con un nivel de confianza igualmente del 95%

2.6. RECOMENDACIONES:

1. Para poder determinar el comportamiento del fluido del mango Edward en el tiempo se debe considerar un tiempo mayor a 200 min para así definir con certeza que la viscosidad en el tiempo sigue disminuyendo y describiendo una curva propia de un fluido tixotrópico.
2. Un análisis adicional para percibir el efecto de la liofilización con encapsulantes en la pulpa de mango Edward es analizar la morfología de las partículas constituyentes de los productos en polvo mediante observaciones a nivel microscópico por microscopía electrónica de barrido (SEM) y a nivel macroscópico con un estereomicroscopio.
3. Para la rehidratación en la reconstitución de las muestra se tener bastante cuidado de agregar cuidadosamente la cantidad de agua extraída durante la liofilización, ya que el agregar demás este influye en la viscosidad haciéndola disminuir y de la misma si se agrega menos se obtendrá una pulpa más viscosa. Además influyendo en los cálculos para la obtención de los parámetro reológicos.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



4. La reconstitución de las muestras debe ser de manera inmediata después de liofilizar evitando que la muestra este el menor tiempo expuesto al ambiente ya que el polvo que se obtiene es altamente higroscópico. La humedad del ambiente produce que el polvo obtenido forme masas que puedan influir en su peso y haciendo más difícil su reconstitución.

2.7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:

1. Agronegocios Valladolid S.A.C. (2015). Catálogos de Productos: Ficha Técnica del Mango Edward. Disponible en <http://www.pe.all.biz/mango-edward-fresco-g46108>
2. AOAC. (1990). Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists (15th ed.). In K. Helrich (ed). Washington. DC, USA: AOAC
3. Asociación Peruana de Productores y Exportadores de Mango. (2014). *Perspectivas de la Industria de Exportación de Mango*. Perú: Autor
4. Badui Dergal, Salvador. (2006). *Química de Alimentos* (4ta ed.). Naucalpan de Juárez, México: Pearson Educación
5. Baraona, M., & Sancho, E. (1991). *Fruticultura especial: Fruticultura II*. San José, Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia.
6. Barreto Boggio, Hernán. (1966). *Liofilización: Un método de Secado para Alimentos*. Lima, Perú: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA Zona Andina.
7. Bezerra, J., Pelegri, D., & Gasparetto, C. (2004). Efeito da Temperatura no Comportamento reológico da Pólpa de Manga



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



- (*Mangifera indica* L-Keitt). Revista de la Ciencia, Tecnología e Ingeniería de los Alimentos, 24(1), 39-42.
8. Coello, A., Fernández, D., & Galán, V. (1997). Guía descriptiva de Cultivares de Mango. Canarias, España: Consejería de Agricultura, Pesca y Alimentación.
 9. Favaro, C., Santana, A., Monterrey, E., Trindade, M., & Netto, F. (2010). Food Hydrocolloids: The use of spray drying technology to reduce bitter taste of casein hydrolysate. *ELSEVIER*, 24(1), 336-340
 10. Fellows, P. (1994). Tecnología del procesado de los alimentos, principios y practicas: 2da ed. Zaragoza: Editorial Acribia S.A. pág. 162.
 11. Galán Saúco, V. (2009). El cultivo del Mango (2da ed.). Madrid, España: Ediciones Mundi – Prensa.
 12. Geankoplis, C. (1998). Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias (3ra ed.). México D.F., México: Compañía Editorial Continental C.V.
 13. Gil Hernández, Ángel. (2010). Tratado de Nutrición Tomo III: Nutrición Humana en el Estado de Salud (2da ed.). Madrid, España: Editorial Médica Panamericana.
 14. Gonzales, C., & Soto, N. (2009). Efecto de la liofilización sobre la viscosidad aparente de la pulpa refinada de mango (*Mangifera indica* L.). III Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Córdoba, Argentina. p. 116 – 125.
 15. Ibarz, A., & Barbosa-Cánovas, G. (2005). Tecnología de Alimentos: Operaciones Unitarias en la Ingeniería de Alimentos. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa.
 16. Kosterman, A., & Bompard, J. (1993). The mangoes, their Botany, Nomenclature, Horticulture and Utilization. Londres, España: Academic Press.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



17. López, B., Carvajal, L., & Millán, L. (2009). Establecimiento de Condiciones de la Mezcla de Pulpa de Banano (*Musa paradisiaca* L.) para someter a Secado por Aspersión. Revista de la Facultad de Química Farmacéutica, 16(3), 287-296.
18. López, O., Cernada, A., Fernández, R., Torres, L., & Sanabria, L. (2006). Influencia del uso de aditivos sobre el rendimiento del proceso de secado por aspersión de extracto acuoso de *Calendula officinalis* L. Revista Cubana de Plantas Medicinales, 11(1) ,1-8.
19. Manero A. (2013). Industria del mango. Disponible en <http://archive-pe.com/page/4266961/2014-07-12/http://agraria.pe/blogs/la-industria-del-mango>
20. Marulanda Loaiza J. (2002) Determinación del Perfil de Calentamiento y Evaluación Sensorial en la Elaboración de Pulpa Liofilizada de Mango Variedad Tommy Atkins. Tesis inédita de Doctorado. Universidad Nacional de Colombia.
21. Melo, A., Vidal, J., & Gasparetto, C. (1999). Influencia dos sólidos insolúveis no comportamento reológico do suco de manga. Revista Brasileira de Productos Agroindustriais, 1(1), 27 – 32.
22. Minaya, A. (1999). El Mango en el Perú y sus Vínculos con el Mercado Internacional. Lima, Perú: IICA.
23. Ministerio de Agricultura y Riego. (2014). Informe de Seguimiento Agroeconómico. Perú: Autor.
24. Montañez, J., Barragán, B., & Cruz, M. (2002). Propiedades Físicoquímicas de las Maltodextrinas a partir del Punto Crioscópico de sus soluciones. Información Tecnológica, 13(3), 77-81
25. Mora, J., Gamboa, J., & Elizondo, R. (2002). Guía para el Cultivo del Mango. San José, Costa Rica: Ministerio de Agricultura y Ganadería



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA



ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

26. Mosquera, L. (2010). Influencia de la humedad y de la adición de solutos (maltodextrina o goma arábica) en las propiedades fisicoquímicas de borjón y fresa en polvo. (Tesis inédita de doctorado). Universidad Politécnica de Valencia, España, Valencia
27. Mott, Robert L. (2006). Mecánica de Fluidos (6ta ed.). Naucalpan de Juárez, México: Pearson Educación.
28. Navarro Lujan, Mara (2010). Evaluación de la Estabilidad de la Pro Vitamina A en la Pulpa Liofilizada de tres morfotipos de Aguaje (*Mauritia flexuosa* L.f)” (Tesis inédita de Título profesional). Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, Iquitos, Perú
29. Orrego Alzate, Carlos. (2003). Procesamiento de Alimentos. Manizales, Colombia: Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.
30. Orrego Alzate, Carlos. (2008). Congelación y Liofilización de Alimentos. Manizales, Colombia: Artes Gráficas Tizan Ltda.
31. Parra Huertas, Adolfo. (2010). Microencapsulación de Alimentos. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, 63(2), 5669-5684.
32. Pelegrine, D., Vidal, J., & Gasparetto, C.(2000). Estudo da viscosidade aparente das polpas de manga (Keitt) e abacaxi (Pérola). Revista de la Ciencia, Tecnología e Ingeniería de los Alimentos, 20(1), p. 115.
33. Quintáns Riveiro, Lourdes. (2009). Reología de Productos Alimentarios (Tesis inédita de doctorado). Universidad de Santiago de Compostela
34. Ramírez Navas, Juan. (2006). Fundamentos de Reología de Alimentos. Cali, Valle, Colombia: JSR e-books.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



35. Ramírez Navas, Juan. (2006). Introducción a la Reología de los Alimentos. *Revista de la Ciencia, Tecnología e Ingeniería de los Alimentos*, 6(1), 1-46
36. Ramírez Navas, Juan. (2006). Liofilización de Alimentos. *Recítema*, 6(2), 1-23.
37. Reyes, M., Gómez, I., Espinoza, C., Bravo, F., & Ganoza, L. (2009). *Tablas Peruanas de Composición de Alimentos (8va ed.)*. Lima, Perú: Ministerio de Salud, Instituto Nacional de Salud
38. Rojas, O., Briceño, M., & Avendaño, J. (2012). *Fundamentos de Reología. Módulo de Enseñanza en Fenómenos Interfaciales*, Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela
39. Sharma, Shri K., Mulvaney, Steven J., & Rizvi, Syed S. (2003). *Ingeniería de Alimentos: Operaciones Unitarias y Prácticas de Laboratorio*. Balderas, México D.F.: Editorial LIMUSA
40. Siller-Cepeda, J., Muy-Rangel, D., Báez-Sañudo, M., Araiza-Lizarde, E., & Ireta-Ojeda, A. (2009). Calidad Poscosecha de Cultivares de Mango de Maduración Temprana Intermedia y Tardía. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 32(1), 45-52.
41. Soto, E., Avilán, L., Unai, E., Rodríguez, M., & Ruiz, J. (2004). Comportamiento y Características de algunos Cultivares Promisorios de Mango. *Agronomía Tropical*, 54(2).
42. Suarez Moreno, Diana. (2003). *Guía de procesos para la elaboración de néctares, mermeladas, uvas, pasas y vinos*. Bogotá, Colombia: Convenio Andrés Bello.
43. Torres Oquendo, J. (2007). *Optimización de las Condiciones de Operación de Tratamientos Osmóticos destinados al Procesado Mínimo de Mango (Mangifera Indica L.)* (Tesis inédita de doctorado). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



44. Yáñez, J., Salazar, J., Chaires, L., Jiménez, J., Márquez, M., & Ramos, E. (2005). Aplicaciones Biotecnológicas de la Microencapsulación. *Mundo Alimentario*, 24-30.
45. Vargas, F., Salas, F., & Duarte, C. (2006). Caracterización reológica de pulpa de mango variedad Haden. *Revista Multidisciplinaria: Anales científicos*. 66(1), 26 – 37.
46. Vidal, J., & Gasparetto, C. (2000). Comportamento reológico da polpa de manga (*Mangifera indica* L) – Efeito dos sólidos insolúveis. *Revista de la Ciencia, Tecnología e Ingeniería de los Alimentos*, 20(2), p. 81.
47. Vidal, J., Pelegri, D., & Gasparetto, C. (2004). Efeito da temperatura no comportamento reológico da polpa de manga (*Mangifera indica* L-Keitt). *Revista de la Ciencia, Tecnología e Ingeniería de los Alimentos*, 24(1), 39 – 42.
48. Vidal, J., Sierakowski, M., Isidoro, Ch., & Masson, M. (2006). Propiedades Reológicas da polpa de manga (*Mangifera indica* L. cv. Keitt) centrifugada. *Ciência e Agrotecnologia*, 30(5), 955 – 960.