

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA**

### **OBTENCIÓN DE UNA BASE DESHIDRATADA A PARTIR DE PULPA DE TAXO (*Passiflora mollisima*) CONSERVANDO CAROTENOS Y COMPUESTOS FENÓLICOS**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA  
AGROINDUSTRIAL**

**GIOVANNA PAOLA LEÓN TOAPANTA**

**paito\_lt82@hotmail.com**

**DIRECTORA: ING. JENNY CUMANDÁ RUALES NÁJERA, Ph.D.**

**jeny.ruales@epn.edu.ec**

**Quito, septiembre de 2016**

© Escuela Politécnica Nacional 2016  
Reservados todos los derechos de reproducción

## **DECLARACIÓN**

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

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

---

Giovanna Paola León Toapanta

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Giovanna Paola León Toapanta, bajo mi supervisión.

---

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

## AUSPICIO

El presente estudio contó con el financiamiento del proyecto Semillas PIS 12-21 “El Taxo (*Passiflora mollisima*) una alternativa de carotenoides y compuestos fenólicos para prevenir enfermedades degenerativas: Desarrollo de un producto deshidratado”

## **AGRADECIMIENTOS**

Primeramente a Dios por ser mi guía, mi fortaleza y mi apoyo durante este arduo camino estudiantil, segundo a mis padres José y Luisa que estuvieron alentándome día a día y que fueron mi fuerza y un pilar fundamental para culminar una etapa más de mi vida.

A mis hermanos, por el apoyo y su preocupación a lo largo de todo este tiempo, gracias; porque la “gordis” lo logró.

A la Doctora Jenny Ruales, por la confianza depositada en mi persona y por ser la lucecita al final del túnel.

Un millón de gracias a Darío Sandoval, por su tiempo, por sus ánimos y sobre todo por su ayuda a lo largo de todo este tiempo invertido en este proyecto de titulación.

A mi tío Marcos, por inyectarme alegría, tranquilidad y esperanza.

A mis amigas Anita, Mónica P., Gaby, Salo y Mónica Ch., porque sin ustedes no hubiera llegado a culminar mis estudios, gracias por su apoyo, por su ayuda y por los miles de momentos felices que pasamos durante esta etapa estudiantil. Son unas verdaderas amigas

A Víctor, Kleber, Marina, Mayra, Marthita, Elisa, Naty, Normita, Lu, Loli, Grace, Danilo, Wlady por brindarme su amistad y por la ayuda recibida en momentos que los necesitaba, mil gracias chicos.

## DEDICATORIA

*A Dios por ser mi soporte, mi fuerza, mi guía y esperanza.*

*A mis padres, Luisa Toapanta y José León, por inculcarme responsabilidad, respeto, honestidad y sobre todo solidaridad.*

*A mis hermanos que me brindaron su apoyo.*

*A mis amigos que estuvieron durante toda mi trayectoria estudiantil.*

*A Darío Sandoval, porque sin tí no lo hubiera logrado.*

*A mi tío, Marcos León por traer a mi vida tranquilidad y alegría.*

*Y a la Doctora Jenny Rúaless por creer en mí y ser mi apoyo y guía, porque nunca olvidaré la frase “Paola la meta es graduarse”.*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
<b>RESUMEN</b>	<b>xvii</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>xix</b>
<b>1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>1</b>
1.1 Taxo ( <i>Passiflora mollisima</i> )	1
1.1.1. Origen y clasificación botánica	1
1.1.2. Morfología general	2
1.1.3. Manejo agronómico del cultivo	3
1.1.3.1. Clima y suelo	3
1.1.3.2. Propagación	4
1.1.3.3. Transplante	4
1.1.3.4. Sistema de plantación	5
1.1.4. Labores culturales	5
1.1.4.1. Podas	6
1.1.4.2. Riego	7
1.1.4.3. Abonadura y fertilización	7
1.1.4.4. Controles de malezas	7
1.1.5. Manejo fitosanitario	8
1.1.6. Variedades	10
1.1.7. Tecnología de cosecha y poscosecha	11
1.1.8. Composición química	12
1.2 Actividad antioxidante	13
1.2.1 Antioxidantes	13
1.2.1.1 Generalidades	13
1.2.1.2 Los carotenoides	14
1.2.1.3 $\beta$ -Caroteno	15
1.2.2 COMPUESTOS FENÓLICOS	17
1.2.2.1 Generalidades	17
1.3 USO DE ENZIMAS EN LA OBTENCIÓN DE PULPAS	20
1.3.1 Generalidades	20



1.3.2	Uso de enzimas en la industria	22
1.4	Deshidratación por aspersión	25
1.4.1	Microencapsulación	27
1.4.1.1	Procesos químicos	29
1.4.1.2	Procesos mecánicos	30
1.4.1.3	Materiales de recubrimiento	31
1.4.1.4	Maltodextrinas	32
<b>2</b>	<b>PARTE EXPERIMENTAL</b>	<b>33</b>
2.1	Materiales	33
2.2	Caracterización físico química y nutricional de la materia prima	33
2.2.1	Análisis físico químicos	34
2.2.2	Propiedades nutricionales	35
2.3	Hidrólisis enzimática y obtención de pulpa de taxo	38
2.3.1	Obtención de la placenta	38
2.3.1.1	Pruebas preliminares para hidrólisis de la placenta	38
2.3.1.2	Determinación de sólidos insolubles en suspensión	39
2.3.2	Hidrólisis enzimática	39
2.3.3	Despulpado	39
2.4	Caracterización físico-química y nutricional de la pulpa	40
2.4.1	Propiedades físico-químicas	40
2.4.2	Propiedades nutricionales	41
2.5	Obtención de la base deshidratada mediante secado por aspersión	41
2.5.1	Descripción del equipo de secado por aspersión	42
2.6	Caracterización química y nutricional del producto deshidratado	43
2.7	Análisis sensorial	44

2.8	Estudio de estabilidad	44
2.8.1	Parámetros del estudio de estabilidad	45
2.8.2	Estimación del tiempo de vida útil	46
2.8.3	Estudio microbiológico	47
2.9	Estimación de costos de producción	47
<b>3</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>48</b>
3.1	Caracterización de la materia prima: taxo	48
3.1.1	Análisis físico-químicos	48
3.1.2	Composición química del fruto	49
3.2	Hidrólisis enzimática y obtención de pulpa de taxo	50
3.2.1	Selección del coctel enzimático	50
3.2.2	Proceso de obtención de pulpa de taxo	55
	3.2.2.1 Hidrólisis enzimática con el coctel rapidasa carrot juice	55
3.3	Caracterización físico-química y nutricional de la pulpa	57
3.3.1	Análisis químicos	57
3.3.2	Análisis nutricional	58
3.4	Obtención de la base deshidratada mediante secado por aspersión	59
3.5	Caracterización química y nutricional del producto deshidratado	62
3.5.1	Contenido de $\beta$ -carotenos	62
3.5.2	Compuestos fenólicos solubles	64
3.5.3	Concentración de vitamina c en la base deshidratada de taxo	66
3.5.4	Cuantificación de minerales	67
3.5.5	Cuantificación de ph	73
3.6	Análisis sensorial	74

3.7	estudio de estabilidad	78
3.7.1	Contenido de $\beta$ -carotenos en el empaque LDPE/FOIL/ LDPE y BOPP	79
3.7.2	Compuestos fenólicos solubles en el empaque LDPE/ FOIL/ LDPE y BOPP	83
3.7.3	Cuantificación de vitamina c en el empaque LDPE/FOIL/ LDPE y BOPP	87
3.7.4	Porcentaje de humedad en empaque LDPE/FOIL/LDPE y BOPP	90
3.7.5	Índice de solubilidad (% isa) en el empaque LDPE/FOIL/ LDPE y BOPP	94
3.7.6	Estimación de la vida útil	98
3.7.7	Análisis microbiológicos	102
3.8	Estimación de costos	103
<b>4</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>105</b>
4.1	Conclusiones	105
4.2	Recomendaciones	107
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>108</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>118</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

		<b>PÁGINA</b>
<b>Tabla 1.1</b>	Características morfológicas del taxo	2
<b>Tabla 1.2</b>	Distancia de siembra y sistema de soporte utilizado	5
<b>Tabla 1.3</b>	Manejo fitosanitario recomendado para el taxo	8
<b>Tabla 1.4</b>	Composición de ácido ascórbico, $\beta$ -caroteno y compuestos fenólicos solubles totales en el taxo	12
<b>Tabla 1.5</b>	Composición química del taxo	12
<b>Tabla 1.6</b>	Características de las subclases de flavonoides	19
<b>Tabla 1.7</b>	Aplicaciones de enzimas en alimentos por sus características de pH y temperatura	21
<b>Tabla 1.8</b>	Características generales de las enzimas industriales	22
<b>Tabla 1.9</b>	Aplicaciones de las enzimas que se utilizan en la industria alimenticia	24
<b>Tabla 3.1</b>	Propiedades físico –químicas del taxo ( <i>Passiflora mollisima</i> )	48
<b>Tabla 3.2</b>	Composición química del taxo	50
<b>Tabla 3.3</b>	Análisis de varianza para la concentración de enzima a 200 ppm/kg y % SIS	51
<b>Tabla 3.4</b>	Anova para la concentración de enzima a 200 ppm/Kg y % SIS	51
<b>Tabla 3.5</b>	Análisis de varianza para la concentración de enzima a 500 ppm/kg y % SIS	53

<b>Tabla 3.6</b>	Análisis de varianza para % SIS con la aplicación de preparados enzimáticos Cellubrix <sup>TM</sup> L Novo Nordisk A/S Bagsvaerd, Denmark <sup>®</sup> , Rapidasa Carrots Juice Interenzimas Gist-Brocades <sup>®</sup> y Pectinex Ultra SP-L Novozymes <sup>®</sup> en el tiempo	53
<b>Tabla 3.7</b>	Peso de pulpa obtenido luego de los tratamientos enzimáticos realizados a la placenta de taxo con la enzima Rapidasa Carrot Juice, con 10 kg de fruta	55
<b>Tabla 3.8</b>	Análisis de varianza para el rendimiento de pulpa de taxo	56
<b>Tabla 3.9</b>	Prueba de rango múltiple para rendimiento de pulpa hidrolizada de taxo	56
<b>Tabla 3.10</b>	Análisis químico de la pulpa hidrolizada de taxo	57
<b>Tabla 3.11</b>	Propiedades nutricionales de la pulpa hidrolizada de taxo	58
<b>Tabla 3.12</b>	Análisis de varianza para el rendimiento de la base deshidratada al variar el flujo de alimentación (mL/min) y la cantidad de maltodextrina	60
<b>Tabla 3.13</b>	Concentración de $\beta$ -caroteno al variar el flujo de alimentación (mL/min) y el porcentaje de maltodextrina	63
<b>Tabla 3.14</b>	Análisis de varianza para la concentración de $\beta$ -caroteno al variar el flujo de alimentación (mL/min) y el porcentaje de maltodextrina	63
<b>Tabla 3.15</b>	Concentración de compuestos fenólicos solubles totales obtenidos a dos niveles experimentales de flujo de entrada mL/min y porcentaje de maltodextrina	64
<b>Tabla 3.16</b>	Análisis de varianza para concentración de compuestos fenólicos solubles totales a dos niveles experimentales de flujo de entrada mL/min y porcentaje de maltodextrina	65

<b>Tabla 3.17</b>	Concentración de vitamina C en cada tratamiento experimental a dos niveles de flujo de entrada y porcentaje de maltodextrina	66
<b>Tabla 3.18</b>	Análisis de varianza para concentración de vitamina C a dos niveles de flujo de entrada y porcentaje de maltodextrina	67
<b>Tabla 3.19</b>	Concentración de calcio en cada tratamiento experimental a dos niveles de flujo de entrada (mL/min) y porcentaje de maltodextrina	68
<b>Tabla 3.20</b>	Análisis de varianza para concentración de calcio a dos niveles de flujo de entrada (mL/min) y porcentaje de maltodextrina	68
<b>Tabla 3.21</b>	Concentración de hierro en cada tratamiento experimental a dos niveles de flujo de entrada (mL/min) y porcentaje de maltodextrina	69
<b>Tabla 3.22</b>	Análisis de varianza para concentración de hierro experimental a dos niveles de flujo de entrada (mL/min) y porcentaje de maltodextrina	69
<b>Tabla 3.23</b>	Concentración de potasio en cada tratamiento experimental a dos niveles de flujo de entrada (mL/min) y porcentaje de maltodextrina	70
<b>Tabla 3.24</b>	Análisis de varianza para concentración de potasio a dos niveles de flujo de entrada (mL/min) y porcentaje de maltodextrina	71
<b>Tabla 3.25</b>	Concentración de sodio en cada tratamiento experimental a dos niveles de flujo de entrada (mL/min) y porcentaje de maltodextrina	72
<b>Tabla 3.26</b>	Análisis de varianza para concentración de sodio a dos niveles de flujo de entrada (mL/min) y porcentaje de maltodextrina	72
<b>Tabla 3.27</b>	Cuantificación de pH en cada tratamiento experimental a dos niveles de flujo de entrada (mL/min) y porcentaje de maltodextrina	73
<b>Tabla 3.28</b>	Análisis de varianza para cuantificación de pH a dos niveles de flujo de entrada (mL/min) y porcentaje de maltodextrina	74
<b>Tabla 3.29</b>	Tratamientos elegidos y codificaciones para el análisis sensorial	75

<b>Tabla 3.30</b>	Análisis de varianza para el atributo apariencia a 3 y 7% de maltodextrina	75
<b>Tabla 3.31</b>	Análisis de varianza para el atributo sabores extraños a 3 y 7% de maltodextrina	75
<b>Tabla 3.32</b>	Análisis de varianza para el atributo aroma a taxo a 3 y 7% de maltodextrina	76
<b>Tabla 3.33</b>	Análisis de Varianza para el atributo color a 3 y 7% de maltodextrina	76
<b>Tabla 3.34</b>	Análisis de Varianza para el atributo sabor a taxo a 3 y 7% de maltodextrina	77
<b>Tabla 3.35</b>	Concentración de $\beta$ -caroteno en empaque LDPE/FOIL/LDPE para cada tratamiento experimental	79
<b>Tabla 3.36</b>	Análisis de varianza para concentración de $\beta$ -caroteno en empaque LDPE/FOIL/LDPE a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo	80
<b>Tabla 3.37</b>	Concentración de $\beta$ -caroteno en empaque (BOPP) para cada tratamiento experimental	81
<b>Tabla 3.38</b>	Análisis de varianza para concentración de $\beta$ -caroteno en empaque (BOPP) a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo	82
<b>Tabla 3.39</b>	Concentración de compuestos fenólicos solubles totales obtenidos en cada tratamiento experimental para el empaque LDPE/FOIL/LDPE a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo	83
<b>Tabla 3.40</b>	Análisis de varianza para Concentración de compuestos fenólicos solubles totales para empaque LDPE/FOIL/LDPE a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo	84

<b>Tabla 3.41</b>	Concentración de compuestos fenólicos solubles totales obtenidos en cada tratamiento experimental para el empaque BOPP a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo	85
<b>Tabla 3.42</b>	Análisis de varianza para concentración de compuestos fenólicos solubles totales para empaque BOPP a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y	86
<b>Tabla 3.43</b>	Pruebas de rangos múltiples para concentración de compuestos fenólicos solubles totales para empaque BOPP a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo	86
<b>Tabla 3.44</b>	Concentración de vitamina C en cada tratamiento experimental para empaque LDPE/FOIL/LDPE a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo	88
<b>Tabla 3.45</b>	Análisis de varianza para concentración de vitamina C en empaque LDPE/FOIL/LDPE a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo	88
<b>Tabla 3.46</b>	Análisis de varianza para concentración de vitamina C en empaque BOPP a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo	89
<b>Tabla 3.47</b>	Porcentaje de humedad en cada tratamiento experimental para empaque LDPE/FOIL/LDPE a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo	91
<b>Tabla 3.48</b>	Análisis de varianza para el porcentaje de humedad en el empaque LDPE/FOIL/LDPE a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo	92
<b>Tabla 3.49</b>	Porcentaje de humedad en cada tratamiento experimental para el empaque BOPP a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo	93



<b>Tabla 3.50</b>	Análisis de varianza para porcentaje de humedad en empaque BOPP a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo	93
<b>Tabla 3.51</b>	Índice de solubilidad (% ISA) en cada tratamiento experimental para empaque LDPE/FOIL/LDPE a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo	95
<b>Tabla 3.52</b>	Análisis de varianza para índice de solubilidad (% ISA) en empaque LDPE/FOIL/LDPE a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo	95
<b>Tabla 3.53</b>	Pruebas de rangos múltiples para índice de solubilidad (ISA %) en empaque LDPE/FOIL/LDPE	96
<b>Tabla 3.54</b>	Índice de solubilidad (% ISA) en cada tratamiento experimental para empaque BOPP a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo	97
<b>Tabla 3.55</b>	Análisis de varianza para índice de solubilidad (% ISA) en empaque BOPP a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo	97
<b>Tabla 3.56</b>	Velocidad de disminución para concentración de $\beta$ -caroteno, en material de empaque LDPE/FOIL/LDPE y BOPP	99
<b>Tabla 3.57</b>	Energía de activación y factor de frecuencia para concentración de $\beta$ -caroteno en material de empaque LDPE/FOIL/LDPE y BOPP	99
<b>Tabla 3.58</b>	Velocidad de disminución para concentración de compuestos fenólicos solubles, en material de empaque LDPE/FOIL/LDPE y BOPP	100
<b>Tabla 3.59</b>	Energía de activación y factor de frecuencia para concentración de compuestos fenólicos solubles en material de empaque LDPE/FOIL/LDPE y BOPP	101

<b>Tabla 3.60</b>	Resultados de las pruebas microbiológicas durante el estudio de estabilidad , en material de empaque LDPE/FOIL/LDPE y BOPP a tiempo 0 y 15 días a una temperatura de 8 °C	102
<b>Tabla 3.61</b>	Activos fijos tangibles	103
<b>Tabla 3.62</b>	Capital de trabajo	103
<b>Tabla 3.63</b>	Costo unitario por cada 100 g de base deshidratada de taxo	104
<b>Tabla A VI 1.</b>	Construcciones	138
<b>Tabla A VI 2.</b>	Muebles y enseres	138
<b>Tabla A VI 3.</b>	Utensilios y accesorios	139
<b>Tabla A VI 4.</b>	Materia prima	139
<b>Tabla A VI 5.</b>	Materiales directos	139
<b>Tabla A VI 6.</b>	Mano de obra directa	140
<b>Tabla A VI 7.</b>	Suministros	140
<b>Tabla A VI 8.</b>	Mantenimiento	140
<b>Tabla A VI 9.</b>	Seguros	140
<b>Tabla A VI 10.</b>	Activos diferidos	141
<b>Tabla A VI 11.</b>	Estado de fuentes y usos	141
<b>Tabla A VI 12.</b>	Condiciones de crédito	141
<b>Tabla A VI 13.</b>	Amortizaciones y gastos financieros	142
<b>Tabla A VI 14.</b>	Depreciación de activos fijos y Amortización de activos diferidos	143

## ÍNDICE DE FIGURAS

		PÁGINA
<b>Figura 1.1</b>	Fruto de taxo en su estado natural	1
<b>Figura 1.2</b>	Características morfológicas del taxo: a) flores y hojas b) fruto y semillas	3
<b>Figura 1.3</b>	Taxo amarillo o mango	10
<b>Figura 1.4</b>	Estructura química del $\beta$ -caroteno	15
<b>Figura 1.5</b>	Estructura básica de un flavonoide	18
<b>Figura 1.6</b>	Proceso de secado por atomización	26
<b>Figura 1.7</b>	Formas de encapsulación: cápsula mononuclear (izquierda) y agregado (derecha)	28
<b>Figura 3.1</b>	Sólidos Insolubles en Suspensión versus el tiempo a una concentración de 200 ppm/Kg de enzima Cellubrix <sup>TM</sup> L Novo Nordisk A/S Bagsvaerd, Denmark <sup>®</sup> (C), Rapidasa Carrots Juice Interenzimas Gist-Brocades <sup>®</sup> (R) y Pectinex Ultra SP-L Novozymes <sup>®</sup> (P)	52
<b>Figura 3.2</b>	Sólidos Insolubles en Suspensión versus el tiempo a una concentración de 500 ppm/kg de enzima Cellubrix <sup>TM</sup> L Novo Nordisk A/S Bagsvaerd, Denmark <sup>®</sup> (C), Rapidasa Carrots Juice Interenzimas Gist-Brocades <sup>®</sup> (R), y Pectinex Ultra SP-L Novozymes <sup>®</sup> (P)	54
<b>Figura 3.3</b>	Equipo de secado por aspersion	60
<b>Figura 3.4</b>	Superficie de respuesta estimada para porcentaje de rendimiento	61

<b>Figura 3.5</b>	Gráfico de efectos principales para el porcentaje de rendimiento de la base deshidratada de taxo versus flujo de entrada (mL/min) y porcentaje de maltodextrina	62
<b>Figura 3.6</b>	Gráfico de efectos principales para concentración de $\beta$ -caroteno en la base deshidratada de taxo versus flujo de entrada (mL/min) y porcentaje de maltodextrina	64
<b>Figura 3.7</b>	Superficie de respuesta estimada para concentración de compuestos fenólicos solubles totales (mg AG/100g) versus flujo mL/min y porcentaje de maltodextrina	65
<b>Figura 3.8</b>	Gráfico de efectos principales para concentración de vitamina C versus flujo de entrada (mL/min) y porcentaje de maltodextrina	67
<b>Figura 3.9</b>	Gráfico de efectos principales para concentración de hierro versus flujo de entrada (mL/min) y porcentaje de maltodextrina	70
<b>Figura 3.10</b>	Gráfico de efectos principales para concentración de potasio versus flujo de entrada (mL/min) y porcentaje de maltodextrina	71
<b>Figura 3.11</b>	Gráfico de efectos principales para concentración de sodio versus flujo de entrada (mL/min) y porcentaje de maltodextrina	73
<b>Figura 3.12</b>	Diagrama de Pareto para pH a dos niveles de flujo de entrada (mL/min) y porcentaje de maltodextrina	74
<b>Figura 3.13</b>	Gráfico de medias (LSD, $\alpha=0,05$ ) para el atributo aroma a taxo versus porcentaje de maltodextrina	76
<b>Figura 3.14</b>	Gráfico de medias (LSD, $\alpha=0,05$ ) para el atributo color versus porcentaje de maltodextrina	77
<b>Figura 3.15</b>	Gráfico de medias (LSD, $\alpha=0.05$ ) para el atributo sabor a taxo versus el porcentaje de maltodextrina	78

- Figura 3.16** Gráfico de medias (LSD,  $\alpha=0,05$ ) para concentración de  $\beta$ -caroteno en empaque LDPE/FOIL/LDPE a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo 80
- Figura 3.17** Gráfico de medias (LSD,  $\alpha=0,05$ ) para concentración de  $\beta$ -caroteno en empaque BOPP a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo 82
- Figura 3.18** Gráfico de interacciones para concentración de compuestos fenólicos solubles totales para el empaque LDPE/FOIL/LDPE a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo 84
- Figura 3.19** Gráfico de interacciones para concentración de compuestos fenólicos solubles totales para el empaque BOPP a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo 87
- Figura 3.20** Gráfico de interacciones para concentración de vitamina C en empaque LDPE/FOIL/LDPE a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo 89
- Figura 3.21** Gráfico de interacciones para concentración de vitamina C en empaque BOPP a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo 90
- Figura 3.22** Gráfico de interacciones para porcentaje de humedad en empaque LDPE/FOIL/LDPE a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo 92
- Figura 3.23** Gráfico de medias (LSD,  $\alpha=0,05$ ) para porcentaje de humedad en empaque BOPP a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo 94
- Figura 3.24** Gráfico de interacciones para índice de solubilidad en empaque LDPE/FOIL/LDPE a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo 96

**Figura 3.25** Gráfico de interacciones para índice de solubilidad en empaque BOPP a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>PÁGINA</b>
<b>ANEXO I</b> Determinación de vitamina C	119
<b>ANEXO II</b> Determinación de $\beta$ -carotenos por HPLC	123
<b>ANEXO III</b> Diagrama de flujo para la obtención de pulpa de taxo	133
<b>ANEXO IV</b> Hoja de análisis sensorial para la selección de la mejor formulación de base deshidratada	134
<b>ANEXO V</b> Balance de masa y energía del proceso	136
<b>ANEXO VI</b> Elementos del costo de producción de la base deshidratada de taxo	138

## RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo obtener una base deshidratada a partir de pulpa de taxo, optimizando las condiciones de procesamiento de secado por aspersión, para conservar los compuestos bioactivos y características organolépticas.

Se efectuó una hidrólisis enzimática antes del despulpado. Para ello se ensayaron tres tipos de cocteles enzimáticos: Celubrix, Rapidasa Carrot y Pectinex, a una concentración de 200 y 500 ppm, temperatura de 30 °C y un tiempo de 120 minutos, respectivamente. El coctel Rapidasa Carrot Juice Interenzimas Gist-Brocades a una concentración de 200 ppm presentó los mejores resultados en cuanto a disminución de la carga de sólidos insolubles. Además se evidenció un incremento del rendimiento de extracción de pulpa de un 60,65 % a un 75,86 % y un aumento de la cantidad de sólidos disueltos (SD) de 10,5 a 13 °Brix.

La placenta previo tratamiento enzimático fue colocada en un despulpador para extraer la pulpa, la misma fue sometida a un proceso de secado por aspersión. Se aplicó un diseño factorial de 2<sup>2</sup> en el que las variables fueron: flujo de alimentación y cantidad de maltodextrina adicionada a la pulpa. Se estableció que las condiciones más adecuadas para el secado por aspersión fueron: 12 mL/min de flujo de alimentación y 3 % de maltodextrina. Se analizó la muestra en polvo y se obtuvo como resultado una concentración de  $\beta$ -carotenos y compuestos fenólicos solubles de: 12,14  $\pm$  0,67 mg/100g y 4 121,47  $\pm$  7,25 mg AG/100g, respectivamente.

Se realizó un balance de masa donde se obtuvo un porcentaje de recuperación del 74,33 % de pulpa hidrolizada en 100 Kg de fruta fresca y un porcentaje de recuperación del 8,24 % de deshidratado en 48,33 kg de pulpa formulada.

La base deshidratada de taxo que presentó las mejores características en cuanto a concentración de  $\beta$ -caroteno, compuestos fenólicos solubles y atributos



sensoriales, fue empacada en dos materiales de empaque un trilaminado de polietileno y aluminio (LDPE/FOILD/LDPE) y un polipropileno biorientado transparente (BOPP) y sometida a un estudio de estabilidad durante 45 días a temperaturas de 8 °C, 18 °C y 40 °C. Se realizaron análisis de  $\beta$ -caroteno, compuestos fenólicos solubles totales, vitamina C, humedad, índice de solubilidad ISA (%) y análisis microbiológicos. Los resultados de los análisis mostraron que la base deshidratada de taxo es apta para el consumo y que conservó los compuestos bioactivos de interés  $\beta$ -carotenos ( $9,84 \pm 0,45$ ) y compuestos fenólicos solubles ( $4\ 102,92 \pm 33,59$ ). El tiempo de vida útil conseguido para el producto en polvo, en base a concentración de compuestos fenólicos solubles, fue de 650 días en empaque trilaminado de polietileno y aluminio (LDPE/FOILD/LDPE).

Finalmente se realizó una estimación de costos de producción en base al proceso realizado en la planta piloto del DECAB y de los balances de masa y energía. Se obtuvo el costo unitario de producción para la base deshidratada de taxo de 5,38 USD por funda de 100 g.

## INTRODUCCIÓN

Deficiencias significativas de vitaminas, antioxidantes y minerales en la alimentación del ser humano constituyen los factores más característicos para incrementar la actividad degenerativa de las sustancias oxidantes en las diferentes células y tejidos del ser humano (Hercberg et al., 2004, pp. 2 335-2 342).

Las frutas y vegetales, al ser consumidas por el ser humano, contribuyen con la reducción de la tasa de enfermedades cardiovasculares; igualmente pueden reducir las enfermedades crónicas, por medio de sus constituyentes de protección, tales como: potasio, ácido fólico, vitaminas (Vitamina C,  $\beta$ -caroteno), fibra y otros compuestos fenólicos (Van Duyn y Pivonka, 2000, p. 1 511; Dauchet, Amouyel y Dallongeville, 2005, p. 1 193).

Los productos vegetales poseen una variedad de compuestos químicos que actúan como agentes antioxidantes, inhibiendo el daño producido por radicales libres, que no solo producen rancidez y pérdida de alimentos en el almacenamiento, sino que están asociados con enfermedades crónicas degenerativas como el cáncer y el mal de Alzheimer y están fuertemente ligados al proceso de envejecimiento prematuro (Choksi, Boylston, Rabek, Widger y Papaconstantinou, 2004, pp. 95-101).

En Ecuador se investigaron 17 frutas por su concentración de compuestos fenólicos totales; el contenido de compuestos fenólicos en el taxo (*Passiflora mollisima*) fue alto en comparación con el maracuyá y la granadilla, que son otro tipo de frutas *Passiflora* (Vasco, Riihinen, Ryyanen, Ruales y Kamal-Eldin, 2008, pp. 816-823).

El taxo es fuente de flavan-3-oles y proantocianidinas; sin embargo es una fruta de poco consumo. Posee altos contenidos de compuestos fenólicos solubles,  $\beta$ -carotenos y también una alta capacidad antioxidante total que puede ser

aprovechada tecnológicamente elaborando productos de mayor valor agregado (Vasco et al., 2008, pp. 816-823; Botero, Ricaurte, Monsalve y Rojano, 2007, pp. 295-296).

El secado por aspersión es un método de encapsulación muy utilizado en la industria de alimentos y se presenta como una alternativa tecnológica importante, ya que se utiliza para estabilizar el producto, eliminar térmicamente la humedad, a partir de una solución líquida para obtener un polvo (Devahastin, 2010, p. 5).

La técnica de encapsulación de aditivos se considera como un factor de competitividad entre industrias, ya que permite ofrecer al consumidor un producto con mejores cualidades organolépticas y funcionales; esta técnica se emplea para proteger los aditivos y principios bioactivos (minerales, vitaminas, antioxidantes, compuestos de sabor y probióticos), utilizados en la industria de alimentos, y para incrementar la calidad nutricional y la vida útil del producto (Sandoval, Rodríguez y Ayala, 2009, pp. 73-74; Chegini y Ghobadian, 2007, pp. 230-236).

La presente investigación muestra los efectos del tratamiento enzimático en el proceso de despulpado, aplica el proceso de microencapsulación y utiliza la técnica de secado por aspersión en la obtención de una base deshidratada de taxo para conservar carotenos y compuestos fenólicos.

# 1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

## 1.1 TAXO (*Passiflora mollissima*)

### 1.1.1. ORIGEN Y CLASIFICACIÓN BOTÁNICA

El taxo, que se muestra en la Figura 1.1, es nativo de América del Sur y fue domesticado en la etapa prehispánica. El cultivo de taxo se localiza desde el norte de Argentina hasta México. Se cultiva principalmente en Ecuador, Bolivia, Colombia y Venezuela. El taxo es reconocido como “Curuba” en Colombia, “Parcha” en Venezuela, “Tumbo” en Bolivia, “Banana passion fruit” en Nueva Zelanda, Australia, Nueva Guinea y “Banana Poka” en Hawaii (Bernal y Díaz, 2005, p. 12; Campos, 2001, p. 15).



**Figura 1.1** Fruto de taxo en su estado natural

El nombre científico del taxo es *Passiflora mollissima* y la clasificación taxonómica se indica a continuación (Bernal y Díaz, 2005, p. 14):

Reino: Vegetal  
 Subreino: Esphermatophyta  
 División: Angiosperma  
 Clase: Dicotiledonea  
 Subclase: Archiclamydae  
 Orden: Parietales  
 Suborden: Flacaurtinea  
 Familia: Passifloraceae  
 Género: Passiflora  
 Subgénero: Tacsonia  
 Especie: *Passiflora mollissima*

### 1.1.2. MORFOLOGÍA GENERAL

A continuación en la Tabla 1.1 y en la Figura 1.2 se identifican las características morfológicas del taxo.

**Tabla 1.1** Características morfológicas del taxo

MORFOLOGÍA	CARACTERÍSTICAS
Raíz	Ramificadas, fibrosas y poco profundas
Tallo	Cilíndrico, semileñoso, trepador y amarillo verdoso
Hojas	Alternas, polifórmicas, pequeñas y grandes.
Flores	Solitarias, hermafroditas y penduladas.
Fruto	Es una baya oblonga a redonda. Cáscara de 5 a 12 cm de largo, diámetro de 3 a 4 cm.
Semilla	De color oscuro o marrón y envuelta por un arilo.

(Bernal y Díaz, 2005, pp. 15-17 y Campos, 2001, pp. 19-20)



**Figura 1.2** Características morfológicas del taxo: a) flores y hojas b) fruto y semillas

### **1.1.3. MANEJO AGRONÓMICO DEL CULTIVO**

#### **1.1.3.1. Clima y suelo**

Las condiciones óptimas de temperatura en el taxo van desde 12 hasta 16 °C, requiere una humedad relativa de 70 a 75 %. Demanda vientos suaves que admitan el transporte del polen; vientos excesivos provocan que los estigmas se

sequen y que se produzca daño en los componentes de la planta y en los sistemas de conducción (Bernal y Díaz, 2005, pp. 32 -33; Campos, 2001, p. 36).

El taxo necesita suelos de textura franco arcillosa a franco arenosa, estructura granular, con pH de 5,5 a 6,5, moderadamente profundos de 50 a 60 cm, buena fertilidad, muy ricos en fósforo, potasio y sin exceso de nitrógeno (Bernal y Díaz, 2005, p. 65).

### **1.1.3.2. Propagación**

El taxo origina frutos con muchas semillas de buena viabilidad, por lo que el método más generalizado y común es la propagación sexual (por semilla) y su poder de germinación es de 90 %, las semillas germinan en menos de 10 semanas. También se han desarrollado formas de propagación asexual o vegetativa, (*in vitro*, injerto y por estaca en el que existe dificultad de enraizamiento), el periodo de enraizamiento se produce en un aproximado de 45 días para evitar el estrés en las plántulas (Bernal y Díaz, 2005, p. 38; Campos, 2001, pp. 39-40).

**Semillero:** Por el tamaño pequeño de la semilla del taxo, y por lo delicada que es la plántula en sus primeras fases de desarrollo, se recomienda sembrarla en semilleros. Para la germinación se recomienda una mezcla de dos partes de suelo de textura mediana, una parte de materia orgánica bien descompuesta o compostada y una parte de arena para mejorar el drenaje. Esta mezcla debe estar bien desinfectada. La germinación dura entre 3 y 4 semanas (Bernal y Díaz, 2005, p. 45).

### **1.1.3.3. Transplante**

Cuando las plantas alcanzan una altura de 2 cm en el semillero y tienen de 2 a 3 hojas verdaderas se las coloca en bolsas de polietileno; deben mantenerse en un

sitio donde no estén expuestas directamente a los rayos solares, vientos fuertes ni lluvias constantes de 30 a 45 días, hasta que alcancen una altura de 25 a 30 cm, para luego ser trasplantadas definitivamente (Campos, 2001, p. 39).

#### 1.1.3.4. Sistema de plantación

Las plantas de taxo son sembradas en hoyos de 40 cm de diámetro x 40 cm de profundidad. Se emplean diferentes distancias de siembra que varían dependiendo del sistema de soporte utilizado, como se puede observar en la Tabla 1.2. Las distancias más usadas en este cultivo oscilan de 4 a 6 m entre plantas y de 2 a 4 m entre espalderas (Bernal y Díaz, 2005, pp. 51-52).

**Tabla 1.2** Distancia de siembra y sistema de soporte utilizado

SISTEMA DE SOPORTE	DISTANCIA DE SIEMBRA ENTRE		N° DE PLANTAS/HA
	PLANTAS m	SURCOS m	
Espaldera	4	2	1 250
	6	4	416
Emparrado	4	4	625
	6	4	416
"T" sencilla	4	2	1 000
	6	3	555

(Bernal y Díaz, 2005, p 51)

#### 1.1.4. LABORES CULTURALES

Entre las labores culturales más importantes se encuentran: podas, riegos, abonadura, fertilización y control de malezas.



#### 1.1.4.1. Podas

La poda es una labor cultural en la cual se realizan cortes de ramas. Es importante considerar el hábito de crecimiento y que el taxo puede producir frutos durante varios años. Por tanto es preciso renovar las zonas productivas, a través de podas orientadas de acuerdo con el crecimiento de la planta. Existen cuatro clases de poda: de formación, de fructificación o mantenimiento, sanitaria y de renovación (Bernal y Díaz, 2005, pp. 56 - 57).

- **Poda de formación:** Se realiza entre los 4 y 6 meses; consiste en despuntar el tallo principal, para estimular el crecimiento de ramas laterales que son productivas (Villavicencio y Vásquez, 2008, p. 7).
- **Poda de fructificación:** Se efectúa para eliminar ramas que ya han producido y ramas laterales largas de 2 m que se encuentran guiadas en los pisos de su conducción, los brotes improductivos también se eliminan para inducir a ramas productoras (Villavicencio y Vásquez, 2008, p. 8).
- **Poda sanitaria:** Se realiza para eliminar las ramas que están enfermas o que han sido atacadas por insectos, adicionalmente se hace un deshoje de las hojas enfermas, amarillas y secas (Bernal y Díaz, 2005, p. 58).
- **Poda de renovación:** Se practica para eliminar las ramas primarias, secundarias y terciarias, con lo que se consigue obtener una planta joven. Esta poda se recomienda cada tres a cuatro años, según las condiciones climáticas y los ciclos productivos que se den en el tiempo (Bernal y Díaz, 2005, p. 59).

#### **1.1.4.2. Riego**

El riego es primordial en la floración, en la transición de flor a fruto, en el engrosamiento del mismo y en la poda; ya que el nacimiento de las yemas se agiliza. Dependiendo de las condiciones medio ambientales, se recomienda utilizar el riego por inundación cada 30 días, también se utiliza el riego por goteo; dado que ha mostrado generar un aumento en la producción (Villavicencio y Vásquez, 2008, p. 8; Campos, 2001, p. 56).

#### **1.1.4.3. Abonadura y fertilización**

Este trabajo se realiza con base en un análisis de suelo. Si no se realiza el análisis, una recomendación general de fertilización es:

- **Plantación:** En cada hoyo aplicar 2 kg de abono orgánico descompuesto, 100 g de 18 N, 46 P y 00 K y 50 g de sulphomag, mezclar con el suelo y realizar la plantación.
  
- **Mantenimiento:** Al inicio de la floración se recomienda aplicar 250 g/planta de 10 N, 30 P, 10 K. En el desarrollo del fruto aplicar 150 g/planta de nitrato de potasio. Si se realiza fertirrigación es necesario aplicar cinco días seguidos el fertilizante de acuerdo a las necesidades del cultivo (Villavicencio y Vásquez, 2008, p.8).

#### **1.1.4.4. Controles de malezas**

Existen algunas alternativas para el manejo de malezas en el cultivo del taxo, tales como: método manual, mecánico y químico; estos no se deben tomar independientemente. Cuando se usa un solo método, la eficiencia se verá reducida con el tiempo y traerá complicaciones para el manejo en general; por

consiguiente, se aconseja la combinación de algunos de ellos (Bernal y Díaz, 2005, p. 83).

Se puede efectuar en forma química con aspersores utilizando una campana en la boquilla con asadillas, y se realizará en forma manual entre las hileras y caminos (Villavicencio y Vásquez, 2008, p.8).

### 1.1.5. MANEJO FITOSANITARIO

En la Tabla 1.3 se puede observar el manejo fitosanitario recomendado para el cultivo de taxo.

**Tabla 1.3** Manejo fitosanitario recomendado para el taxo

<b>PLAGAS</b>			
<b>NOMBRE COMÚN</b>	<b>NOMBRE CIENTÍFICO</b>	<b>DAÑO</b>	<b>CONTROL</b>
Arañita roja	<i>Tetranychus spp.</i>	Arrugamiento de las hojas	Azufre 150 g
Mosca de la fruta	<i>Anastrepha spp.</i>	Ovipositan en frutos tiernos, provocan el amarillamiento de los mismos y la caída prematura.	Dimetoato 100 mL + melaza 1L  Malathion 250 g + melaza 1L
Gusano del follaje	<i>Dionne vanillae</i>	Devora el follaje y deja solo las nervaduras	Endosulfan 250 mL
<b>ENFERMEDADES</b>			
<b>NOMBRE COMÚN</b>	<b>NOMBRE CIENTÍFICO</b>	<b>DAÑO</b>	<b>CONTROL</b>
Antracnosis	<i>Colletotrichum sp.</i>	Ataca a frutos tallos y hojas; formando manchas pardas que luego se necrosan	Captan 250 mL Benomil 100 mL Maneb 250 mL

**Tabla 1.3.** Manejo fitosanitario recomendado para el taxo (continuación...)

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	DAÑO	CONTROL
			Oxicloruro de cobre 250 mL
Mancha parda	<i>Alternaria passiflorae</i>	Manchas marrón-rojizas en las hojas y frutos con áreas necróticas hundidas	Oxicloruro de cobre 250 mL
Pudrición del talluelo	<i>Phytium sp.</i> <i>Rhizoctonia sp.</i>	Necrosamiento de la base de la planta y pudrición radicular	Benomil 100 mL
Pudrición del cuello	<i>Phytophthora Cinamomi</i>	Estrangulamiento del cuello del tallo, clorosis de las hojas y muerte de la planta	Metalaxil 300 mL Fosetil aluminio 300 mL
Botritis	<i>Botrytis sp.</i>	Pudrición de flores	Iprodione 200 MI
Fusariosis	<i>Fusarium sp.</i>	Pudrición radicular	Carbendazim 300 mL Tiabendazol 100 mL
Fomosis	<i>Phomopsis sp.</i>	Lesiones de frutos	Difenoconazol 25 mL
Lesiones acuosas	<i>Xanthomonas campestris sp. passiflorae</i>	Lesiones irregulares acuosas de color verde oliva	Caldo bordeles 1 kg
Virosis	CMY PTMY	Crecimiento anormal de la planta, proliferación de ramas, hojas pequeñas.	Control de vectores

Adaptado de: (Villavicencio y Vásquez, 2008, p 9)

### 1.1.6. VARIEDADES

Según Villavicencio y Vásquez (2008), en el sector de Tungurahua se encuentran 9 clases de taxo, 4 corresponden a variedades que mantienen sus características botánicas, a estas pertenecen el taxo amarillo o mango que se muestra en la Figura 1.3, taxo blanco (o de Castilla), taxo silvestre y el taxo rayado. Los 5 restantes corresponden a ecotipos que no mantienen sus características botánicas ya que sufren variaciones en su coloración y en su textura (p. 11).



**Figura 1.3** Taxo amarillo o mango

### **1.1.7. TECNOLOGÍA DE COSECHA Y POSCOSECHA**

La cosecha se ejecuta a los 9 meses del trasplante y se logra la mayor producción a los 15 meses y luego se mantiene. Una planta bien manejada puede llegar a producir hasta 10 años y proporcionar 320 frutos al año, con un peso promedio de 70 g (Villavicencio y Vásquez, 2008, p. 9).

El porcentaje de maduración dado por la coloración de la fruta, constituye la variable más utilizada por los productores para fijar el momento óptimo de la cosecha, la cual está determinada, en gran parte, por las exigencias del mercado. Se puede iniciar la cosecha hasta con un 50 % de maduración, porque el taxo es una fruta climatérica. La definición del porcentaje de madurez está ligada al tipo de mercado, las distancias hasta los centros de acopio y los precios de venta, entre otros factores.

En el instante de la recolección se debe tener cuidado para no producir desgarramientos y fisuras de ramas y tallos, tanto para proteger a la planta, como para garantizar la calidad de la fruta cosechada. Los frutos recolectados se depositan con suavidad en cajas de cartón, se utiliza como soporte una canastilla plástica, a la cual se le coloca una tela suave o espuma delgada que proteja el golpeteo y rayado de la fruta. Para impedir daños por sobrepeso, no se deben colocar más de tres tendidos de fruta en la canasta; entre un tendido y otro se colocan hojas de papel periódico sin impresos o papel de seda, lo cual impide el rozamiento entre los frutos (Bernal y Díaz, 2005, p. 1).

Durante el almacenamiento la fruta entra en proceso de maduración en condiciones ambiente, esto es a 18 °C y humedad de 70 %, donde aumenta la acidez y se produce una disminución de sólidos solubles, lo que provoca una pérdida de peso. Además, con la maduración del fruto los carbohidratos se degradan y se produce una conversión de almidón en azúcar, por lo que se obtiene un fruto más dulce. El taxo tiene una perecibilidad media. Al estar expuesto a temperatura de 18 °C y humedad de 70 % son aptos para el consumo

humano por un lapso de 10 días; a temperatura de 7 y 8 °C con una humedad relativa de 90 y 95 % pueden conservarse de 30 a 45 días (Campos, 2001, p 70).

### 1.1.8. COMPOSICIÓN QUÍMICA

La composición de la pulpa de taxo se muestra en la Tabla 1.4 y en la Tabla 1.5.

**Tabla 1.4** Composición de ácido ascórbico,  $\beta$ -caroteno y compuestos fenólicos solubles totales en el taxo

COMPONENTE	TAXO ( <i>P.mollisima</i> )
Ácido ascórbico (mg/100g FW)	77 $\pm$ 15
$\beta$ -caroteno ( $\mu$ g/100 g FW)	306 $\pm$ 282
Compuestos fenólicos solubles totales (mg GAE/100 g FW)	1 010 $\pm$ 198

(Vasco, 2009) todos los resultados están valorados en 100 g de fruta fresca)

**Tabla 1.5** Composición química del taxo

COMPONENTES	CONTENIDO
Agua	92 g
Proteína	0,6 g
Grasa	0,1 mg
Carbohidratos	6,3 g
Fibra	0,3 g
Calcio	4 mg
Fósforo	20 mg
Hierro	0,4 mg
Vitamina A	1,02 mg
Riboflavina	0.03 mg
Niacina	2,5 mg
Ácido ascórbico (Vitamina C)	70 mg

Adaptado de (SICA, 2014, p. 48; todos los resultados están valorados en 100 g de la parte comestible)

## **1.2 ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE**

Es el mecanismo de acción que poseen las sustancias antioxidantes ante la presencia de radicales libres y tienen la capacidad de impedir la degradación oxidativa (por ejemplo la peroxidación lipídica) (Londoño, 2012, p. 130).

### **1.2.1 ANTIOXIDANTES**

#### **1.2.1.1 Generalidades**

Los antioxidantes son sustancias químicas que se encuentran en los alimentos, se caracterizan por disminuir los efectos contraproducentes de especies reactivas como las del oxígeno y nitrógeno que se producen en varias sustancias especialmente en los ácidos grasos. Dichos procesos se originan en los alimentos y también en el organismo humano, donde se pueden producir alteraciones fisiológicas. El principal mecanismo de acción de los antioxidantes es la captación de radicales libres. Los antioxidantes protegen a las células contra el daño de los radicales libres al actuar como fuentes de hidrógeno oxidándose en lugar del ácido graso. (Zamora, 2009, p. 6; Pokorni, Yanishlieva y Gordon, 2004, p. 1).

Los radicales libres son especies químicas, con electrones desapareados en sus órbitas exteriores; capturan fácilmente un átomo de otras moléculas iniciando una reacción en cadena que destruyen células, ya que son inestables porque tienen un gran poder reactivo (Ochoa y Ayala, 2009, p. 96).

El daño celular desencadenado por radicales libres, se produce al generarse el estrés oxidativo, en este proceso el oxígeno, primordialmente, puede afectar a uno o varios mecanismos de la célula (proteínas, carbohidratos, lípidos y ácidos nucleicos), ocasionando daño en sus funciones. Este mecanismo se relaciona con las acciones patogénicas de diferentes enfermedades, como la aterosclerosis, cáncer, Parkinson, diabetes, aceleración del envejecimiento, entre otros (Vega, 2009, p. 4).



Los primeros antioxidantes utilizados fueron sustancias naturales en muchos casos procedentes de las plantas, pero estos fueron remplazados por sustancias sintéticas, más baratas (Pokorni et al., 2004, p. 2).

Los antioxidantes naturales se encuentran en vegetales y en animales, los cuales han sido utilizados en la prevención de ciertas enfermedades como el cáncer, padecimientos del corazón y la degeneración macular relacionada con la edad. Demostraciones científicas explican que estas sustancias sirven de protección a macromoléculas biológicas para prevenir el daño oxidativo (Carranco, Calvo y Pérez, 2011, pp. 233-237).

Los antioxidantes se clasifican en dos sistemas: enzimáticos y no enzimáticos; también conocidos como endógeno y exógeno (Zamora, 2009, p. 6).

Entre los antioxidantes endógenos se encuentran la glutatión peróxidasa, superóxido dismutasa y catalasa; las cuales cumplen una función fisiológica dentro del organismo, atacando la producción de radicales libres. Los antioxidantes exógenos provienen de la dieta, y dentro de este grupo se incluye la vitamina E, la vitamina C y los carotenoides (Zamora, 2009, p. 10).

Otros compuestos bioactivos antioxidantes (fitoquímicos) son los compuestos fenólicos, los mismos que se encuentran primordialmente en las plantas y actúan favorablemente en el metabolismo humano por su acción biológica (Gil, 2010, p. 15).

#### **1.2.1.2 Los carotenoides**

Son pigmentos orgánicos que se encuentran ampliamente distribuidos en las estructuras de plantas, animales, algas, hongos y bacterias; son sustancias hidrofóbicas, lipofílicas e insolubles en agua. El cromóforo es el responsable de la capacidad de los carotenos de absorber la luz en la región del visible y por ende

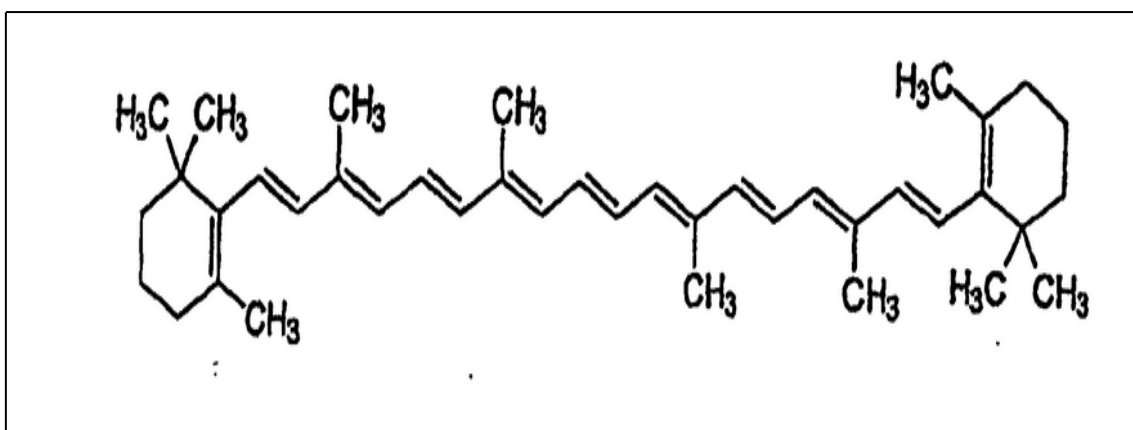
conferir a frutos y verduras colores amarillos, anaranjados y rojizos; la concentración de carotenos tiende a aumentar en las frutas durante el proceso de maduración (Meléndez-Martínez, Vicario y Heredia, 2007, pp. 109-110; Márquez y García, 2007, pp. 69-70).

Algunos de los carotenoides tienen la capacidad para actuar como provitamina A. Se encuentran dos tipos de carotenoides: los carotenos o provitamínicos como el  $\beta$ -caroteno, el licopeno, entre otros; los cuales no contienen oxígeno en sus anillos terminales, y las xantófilas, que sí poseen oxígeno (Carranco et al., 2011, p. 241).

### 1.2.1.3 $\beta$ -Caroteno

Es un pigmento natural liposoluble que se encuentra principalmente en frutas, cereales, aceites y verduras, es el más abundante en los alimentos, confiere colores naranjas o amarillos y pertenece al grupo de los carotenos (Engel, 2009, p. 1).

La estructura química del  $\beta$ -caroteno se presenta en la Figura 1.4.



**Figura 1.4** Estructura química del  $\beta$ -caroteno

(Meléndez et al., 2007)

Es fuente de provitamina A y manifiesta actividad antioxidante en la célula al intervenir en la interrupción de especies reactivas de oxígeno y nitrógeno producidas como parte del metabolismo celular; al ser ingeridas pueden reducir la incidencia de ciertas enfermedades como la aterosclerosis o incluso el cáncer (Carranco et al., 2011, pp. 233- 235; Meléndez et al., 2007, p. 109).

La actividad antioxidante de estas sustancias depende de factores tales como: distribución química (configuración cis o trans, tamaño, número de sustituyentes, etc.), la presión parcial de oxígeno, su concentración o su interacción con otros antioxidantes, principalmente con las vitaminas E y C (Meléndez et al., 2007, p. 112).

Según estudios realizados se pudo determinar que el taxo contiene mayor cantidad de  $\beta$ -caroteno  $306 \pm 282 \mu\text{g}/100\text{g FW}$ , en comparación con otras dos familias de Passifloras (Vasco, 2009, pp. 7-13).

Los  $\beta$ -carotenos son sensibles a la luz, a la presencia de oxígeno y a la temperatura, estas características se deben considerar al momento de efectuar su extracción; preferentemente extraer en circunstancias de: ausencia de luz, a temperatura ambiente o menor, en ausencia de oxígeno y lo más pronto posible; además los tejidos deben estar frescos para así evitar la degradación de esta sustancia (Yanza y Maldonado, 2012, p. 32; Martínez, 2003, p. 4).

Según los métodos de procesamiento y/o conservación que se den a los productos, los carotenos pueden sufrir transformaciones, destrucciones o pueden permanecer inalterados (Mínguez, Pérez y Hornero, 2005, p. 3).

El color se presenta como un factor determinante para la evaluación instantánea de los carotenoides, en productos tales como: tomates, zumo de naranja y albaricoques, convirtiéndose en un instrumento útil dentro del control calidad en la industria alimenticia (Meléndez et al., 2007, p. 112); estos compuestos se utilizan

como colorantes, para obtener productos con la coloración deseada (Gil, 2010 p. 443).

## **1.2.2 COMPUESTOS FENÓLICOS**

### **1.2.2.1 Generalidades**

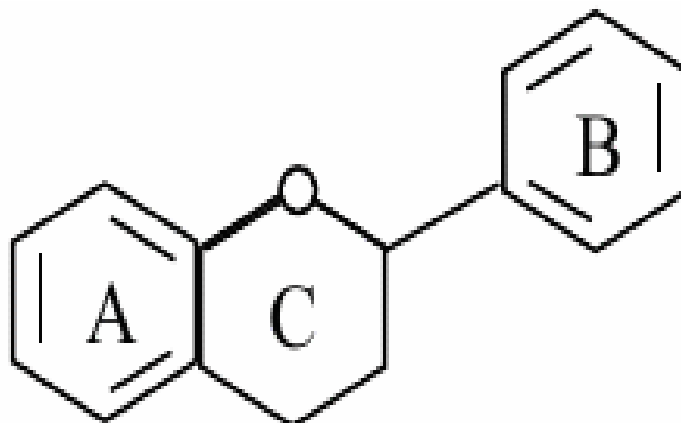
Los compuestos fenólicos confieren propiedades características a los alimentos respecto a sabor; dentro de este atributo se presenta el amargor (polifenoles de bajo peso molecular) y la astringencia (polifenoles de alto peso molecular, como los taninos) (Rodríguez, Monereo y Molina, 2006, pp. 317-331), los colores rojos, azules y violáceos de las frutas y verduras son debido a los pigmentos que provienen de estos compuestos (Gil, 2010, p. 399)

Los compuestos fenólicos se agrupan de acuerdo a su estructura química en tres grupos principales: los flavonoides, los polifenoles y los ácidos fenólicos. En los productos de origen vegetal se encuentran en pequeñas cantidades (Ochoa y Ayala, 2009, p. 94).

En frutas y vegetales, los flavonoides son el grupo más relevante de los polifenoles, se localizan en las vacuolas de las células en la piel de estos productos (Prior, Wu y Gu, 2006, pp. 2 487 -2 490; Ochoa y Ayala, 2009, p. 94). Los flavonoides contienen gran cantidad de sustancias que proporcionan color a vegetales y frutas (Lincoln y Zeiger, 2006, p. 552).

Los flavonoides no son sintetizados por el cuerpo humano, una gran parte de estos compuestos no son solubles en agua ni pueden ser elaborados sintéticamente, cumplen ciertas funciones tales como: modular la actividad enzimática, inhibir la proliferación celular; además son agentes antiinflamatorios y tienen actividad antibiótica, antialérgica y antioxidante (Gil, 2010, p. 402).

Estructuralmente los flavonoides poseen anillos compuestos por 15 carbonos (C6-C3-C6) en dos anillos aromáticos (A y B) que contienen generalmente grupos hidroxilos unidos por una cadena lineal de 3 carbonos como se presenta en la Figura 1.5. En algunos casos, el anillo heterocíclico C ocurre en forma abierta (Ochoa y Ayala, 2009, p. 94).

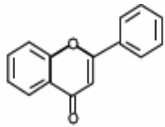
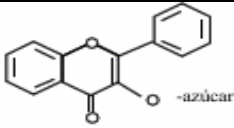
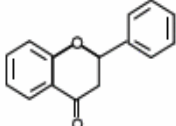
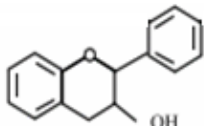
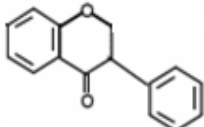
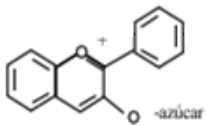


**Figura 1.5** Estructura básica de un flavonoide  
(Ochoa y Ayala, 2009)

Los flavonoides se dividen en dos grupos: antocianinas y antoxantinas, los cuales a su vez se subdividen en: antocianidinas (antocianinas) y flavonoles, flavonas, flavanonas, flavanoles e isoflavonoides (antoxantinas). Los flavonoles, flavonas y antocianinas son los flavonoides que mayoritariamente se encuentran en las frutas (Prior et al., 2006, p. 2 491; Ochoa y Ayala, 2009, pp. 94-95).

Las subclases se categorizan generalmente por la estructura del anillo C como se puede observar en Tabla 1.6 (Ochoa y Ayala, 2009, p. 95).

**Tabla 1.6** Características de las subclases de flavonoides

Subclase	Estructura	Compuestos	Fuente
Flavona		Sinensetina, apigenina diosmina y luteolina	Hiervas, apio, pimentón, uva, naranja y limón
Flavonol		Quercetina, myrecetina y kaempferol	Cebolla, vino, tomate, naranja, manzana, té, frutas rojas
Flavanona		Maringenina, hesperidina e isoxanthohumol	Miel, cítricos, tomate, lúpulo y cerveza
Flavanol o catequina		Catequina, epicatequina y galocatequina	Vino, chocolate, cocoa, té, uva, manzana, y pera
Isoflavona		Genisteina, daidzeina y gliciteina	Soya y leguminosas
Antocianina		Cianidina, pelargonidina, delfinidina y peonidina	Frutas rojas, manzanas, pera, uva y naranja.

(Ochoa y Ayala, 2009)

Los flavonoides han despertado interés en el área alimenticia, cosmética y farmacéutica debido a sus características antioxidantes.

La placenta de taxo es rica en polifenoles, tales como: taninos, flavonoides y ácidos fenólicos; estos compuestos tienen actividad antioxidante, cuyo

mecanismo sirve para atrapar los radicales libres provocados principalmente por el oxígeno (Rojano, Acosta y Cortés, 2012, p. 408).

El taxo es fuente de flavan-3-oles y proantocianidinas, estos compuestos juntos podría ser responsables de la alta capacidad antioxidante mostrada por los extractos de frutas (Vasco et al., 2008, p. 820).

Diversos estudios epidemiológicos han notificado que el consumo de frutas, vegetales y fitoquímicos como los carotenoides y flavonoides tiene similitud con la reducción del riesgo de cáncer de colon (Rajamanickam y Agarwal, 2008, p. 462).

Los polifenoles, al ser consumidos con la dieta, contribuyen a la disminución de padecer enfermedades degenerativas (Pokorni et al., 2004, p. 93). Según Quiñones, Miguel y Aleixandre (2012), la ingesta de compuestos fenólicos con la dieta puede ser un factor positivo para disminuir la influencia de enfermedades cardiovasculares y mejorar la salud debido a sus propiedades antioxidantes (p. 77).

El jugo de taxo tiene un gran potencial nutracéutico, debido a la concentración de polifenoles que posee (Rojano et al., 2012, p. 409).

### **1.3 USO DE ENZIMAS EN LA OBTENCIÓN DE PULPAS**

#### **1.3.1 GENERALIDADES**

La aplicación de enzimas en la industria es una de las áreas de mayor impacto en la biotecnología y específicamente dentro del sector alimentario. La industria alimenticia abarca el 65 % de las enzimas que se producen industrialmente. Otro tipo de enzimas como las proteasas alcalinas ocupan el 25 % en detergentes y el 10 % en las áreas farmacéutica y analítica (García, Quintero, López y Canales, 2004, p. 102).

Las enzimas son biocatalizadores autógenos de acción concreta, las cuales aceleran la velocidad de las reacciones químicas; además dependen de su actividad biológica, características (temperatura y pH), forma física y el grado de pureza para actuar con el sustrato a ser utilizado (Jaramillo, 2004, pp. 36-37; Garrido et al., 2006, p. 194).

Las enzimas comerciales normalmente son producidas por bacterias y operan (catalizan reacciones) en condiciones de pH de 4 a 9 y temperaturas de 24 a 71 °C (Fogler, 2001, p. 383)

En la Tabla 1.7 se observa la importancia del pH y la temperatura en la aplicación de enzimas en la industria alimentaria.

Las enzimas toman gran importancia dentro de los atributos de calidad de frutas y verduras respecto a valor nutricional y propiedades sensoriales; ya que mejoran estas propiedades (Bayindirli, 2010, p. 246).

**Tabla 1.7** Aplicaciones de enzimas en alimentos por sus características de pH y temperatura

ENZIMA	APLICACIONES
Glucosa isomerasa	En la isomerización de glucosa; no fue posible sino hasta que se logró obtener una enzima que operase en medio no alcalino.
Alfa-amilasa termo resistente	Gelatinización y licuefacción simultanea del almidón incrementando la productividad.
Papaína	En el ablandamiento de carnes por su activación durante su cocción.
Lactasa de levadura	En leche por el pH óptimo de actividad.
Lactasa fungal	En suero de leche ácido.

(García et al., 2004)



### 1.3.2 USO DE ENZIMAS EN LA INDUSTRIA

Las enzimas son utilizadas como auxiliares tecnológicos para mejorar la calidad del producto, aumentar la eficiencia de operaciones como pelado y clarificación; además mejoran el proceso de filtración, impiden la turbidez, mejoran la digestibilidad, mejoran la textura, impiden la cristalización y mejoran las características organolépticas (Bayindirli, 2010 p. 14). Procesos con extractos enzimáticos se pueden utilizar para pelar o segmentar las frutas (Bayindirli, 2010 p. 14).

Las enzimas a escala industrial se utilizan de 2 formas: La enzima es colocada en una solución líquida regulada, la misma que se mezcla con el sustrato fijo en condiciones explícitas para dar lugar al producto deseado, en este medio la enzima se utiliza una sola vez.

Las enzimas extraídas, purificadas e inmovilizadas y posteriormente separadas por filtración se pueden reutilizar más de una vez, permiten tratar a una mayor cantidad de sustrato (Gutiérrez, 2000, p. 73).

En la industria alimentaria la mayor parte de enzimas son de origen microbiano, en la Tabla 1.8 se presentan las características generales de las enzimas industriales.

**Tabla 1.8** Características generales de las enzimas industriales

<b>Origen</b>	Microbiano
<b>Tipo: Extracelulares (mayoría)</b>	Mezclas de varias enzimas que se producen en las células, pero se toman fuera para la expresión de su actividad.
<b>Formulación</b>	Son catalizadores, soluciones concentradas, granulado (inmovilizadas) y polvo.
<b>Actividad Enzimática</b>	Variable

(Khan, 2015, p. 5)

Los cocteles enzimáticos comerciales se pueden utilizar como auxiliares tecnológicos en los procesos de desintegración y solubilización de las pieles de las frutas (Brito, 2003, p. 25).

Las enzimas hidrolasas se utilizan en la industria alimentaria para hidrolizar carbohidratos, proteínas y grasas. A través de la hidrólisis de estas moléculas complejas se optimizan los procesos de los alimentos, se mejoran las distintas propiedades reológicas de la masa (panificación), se reduce la viscosidad de los zumos y se facilita el desarrollo del sabor. Se agregan muy pequeñas cantidades (entre 0,1 y 0,5 %) durante el proceso y se inactivan luego de que hayan ejercido su acción catalítica (Gil, 2010, p. 189).

Las hemicelulasas, celulasas y pectinasas son enzimas que se encuentran como componentes principales de los cocteles enzimáticos comerciales; poseen la capacidad de licuefacción y sacarificación de las paredes celulares de los tejidos en las pulpas de frutas. Cada fruta tiene una estructura celular propia que se debe tomar en cuenta para obtener los efectos tecnológicos deseados (Laverde, 2010 p. 57).

Las celulasas, amilasas y pectinasas facilitan la maceración, licuefacción y clarificación durante el proceso de obtención de jugos, reducen los costos de procesamiento y mejoran el rendimiento (Gil, 2010, p. 191; Bayindirli, 2010 p. 14). Las celulasas poseen viabilidad biotecnológica en diversas industrias tales como alimentos, agricultura, comida para animales, cervecería y vinos, entre otros. Estas enzimas tienen importancia durante la extracción de jugos de diversas frutas y verduras, ya que hidrolizan los componentes de la pared celular, lo que implica mejoras en su estabilidad y viscosidad; además liberan antioxidantes y mejoran la textura de los néctares y purés (Gupta, Mehta, Deswal, Sharma y Jain, 2013, pp. 95-96).

Las pectinasas facilitan la extracción de jugos, ya que solubilizan la pectina y los revestimientos de las células, con lo que se produce un ablandamiento de las

mismas (Ovando y Waliszewski, 2005, p. 114), es por esto que estas enzimas son utilizadas en el proceso de prensado en frutas blandas (mora, fresa, plátano entre otras) con lo que se obtiene buenos rendimientos de zumo y pigmentos (mejora el color) (Gil, 2010, p. 237).

La pectina es un polisacárido que se localiza en la laminilla media de la pared de las células vegetales. Se relaciona por medio de enlaces naturales con la celulosa y las hemicelulosas que son componentes mayoritarios de la pared celular de las frutas (Gil, 2010, p. 237).

En la Tabla 1.9 se presentan algunas aplicaciones de enzimas que se utilizan en la industria alimenticia.

**Tabla 1.9** Aplicaciones de las enzimas que se utilizan en la industria alimenticia

ENZIMA	APLICACIONES
Alfa-amilasa fúngica	Conversión del almidón en dextrinas (licuefacción) en producción de jarabe de maíz.
Celulosa	Procesado de frutas y verduras. Conversión de residuos celulósicos fermentables para producir etanol.
Pectinasa-pectinesterasa	Tratamiento de pulpa de fruta para facilitar la extracción, clarificación y filtración del jugo.
Pectinasa, hemicelulosa y Proteasas	Procesado de frutas (clarificación y extracción)

(Wong, 2013, p. 2)

En la extracción de jugo, la utilización de cocteles enzimáticos es recomendable para obtener un mejor rendimiento y mejorar su sabor (Ovando y Waliszewski, 2005, p. 113).

Investigaciones han demostrado que es posible la liberación de compuestos antioxidantes fenólicos al utilizar cocteles enzimáticos con actividad mixta, del mismo modo mejoran la actividad antioxidante de los extractos fenólicos (Ovando y Waliszewski, 2005, pp. 117-118).

Investigaciones realizadas en mortiño muestran un efecto beneficioso al emplear preparados enzimáticos antes del despulpado, con lo que se obtiene un mayor rendimiento de pulpa al comparar con el obtenido sin la aplicación del mismo. También se alcanzó un aumento de antocianinas; dado que las enzimas actuaron sobre las paredes celulares de la cáscara, donde se encuentran en mayor cantidad estos compuestos, y facilitaron su extracción (Tupuna, 2012, pp. 63-65).

Es primordial acentuar que la utilización de enzimas a nivel industrial no produce efectos nocivos para la salud humana (Brito, 2003, p. 58).

#### **1.4 DESHIDRATACIÓN POR ASPERSIÓN**

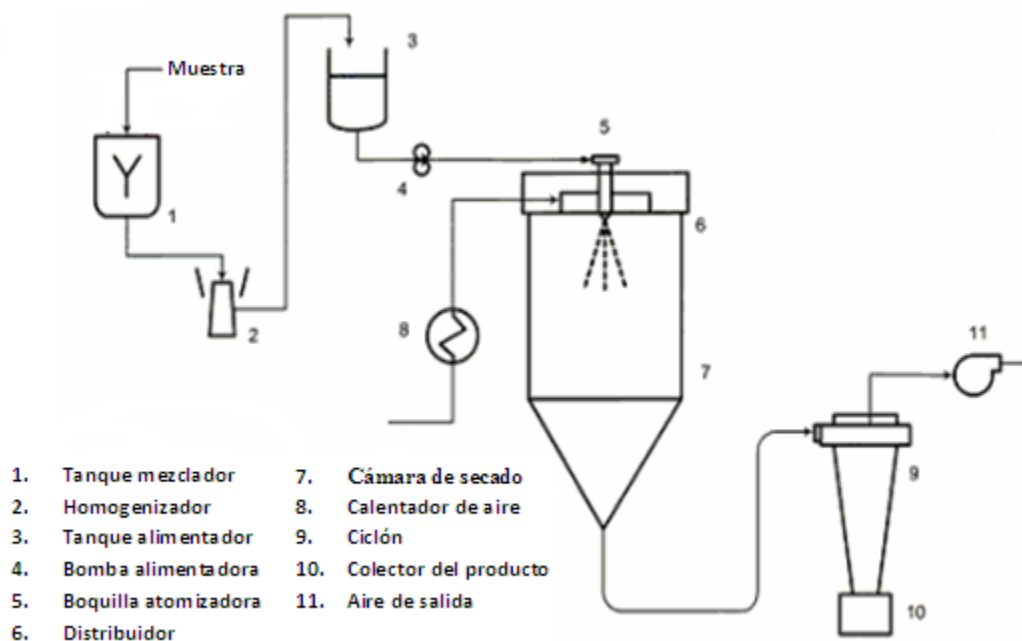
El secado por aspersión es el método más utilizado para producir partículas secas en polvo a partir de un material líquido o en pasta. Elimina térmicamente la humedad, debido a su sistema operativo relativamente simple y continuo, utiliza la técnica de encapsulación que se aplica para estabilizar el producto (Devahastin, 2010, p. 5).

Esta técnica se emplea para proteger los aditivos y principios bioactivos (minerales, vitaminas, antioxidantes, compuesto de sabor y probióticos) utilizados en la industria de alimentos, y para incrementar la calidad nutricional del producto y la vida útil (Sandoval et al., 2009, pp. 73-74; Chegini y Ghobadian, 2007, pp. 230-236).

El secador por aspersión se encuentra constituido de: una cámara de secado, un dispensador, una bomba de alimentación, un atomizador, un calentador de aire, y

sistemas para la limpieza del aire de escape y de recuperación de polvo. Para la formación de finas gotitas se emplea una boquilla de pulverización a presión o un tipo centrífugo de disco atomizador. La tecnología que se emplea en el secado por aspersión es la atomización, la cual determina la distribución de tamaño de gota y tamaños de polvo (Devahastin, 2001, p. 6).

En la Figura 1.6 se presenta un proceso de secado por aspersión.



**Figura 1.6** Proceso de secado por atomización  
(Bringas y Pino, 2012, p. 48)

La operación de secado por atomización comprende la aspersión del líquido para crear una nube de pequeñas gotas. Su acercamiento con el medio caliente ocasiona la evaporación de la humedad, el secado hasta el punto deseado y la recuperación del producto final (Orozco et al., 2006, pp. 1-2).

La técnica de encapsulación de aditivos se considera una ventaja competitiva entre industrias, al ofrecer un producto con mejores cualidades organolépticas y funcionales al consumidor (Sandoval et al., 2009, pp. 73-74; Chegini y Ghobadian, 2007, pp. 230-236).

Una de las grandes ventajas de este proceso es que resulta adecuado para productos termosensibles, ya que el tiempo de exposición a temperaturas elevadas es muy corto (5 a 30 segundos); existe baja posibilidad de que se oxiden o que sufran pérdida de aroma o degradación (Bringas y Pino, 2012, p. 37; Devahastin, 2010, p. 6).

El secado por aspersión es el proceso más usado debido a que opera a un bajo costo y fácilmente puede ser escalado desde la planta piloto hasta la producción industrial (Bringas y Pino, 2012, p. 42).

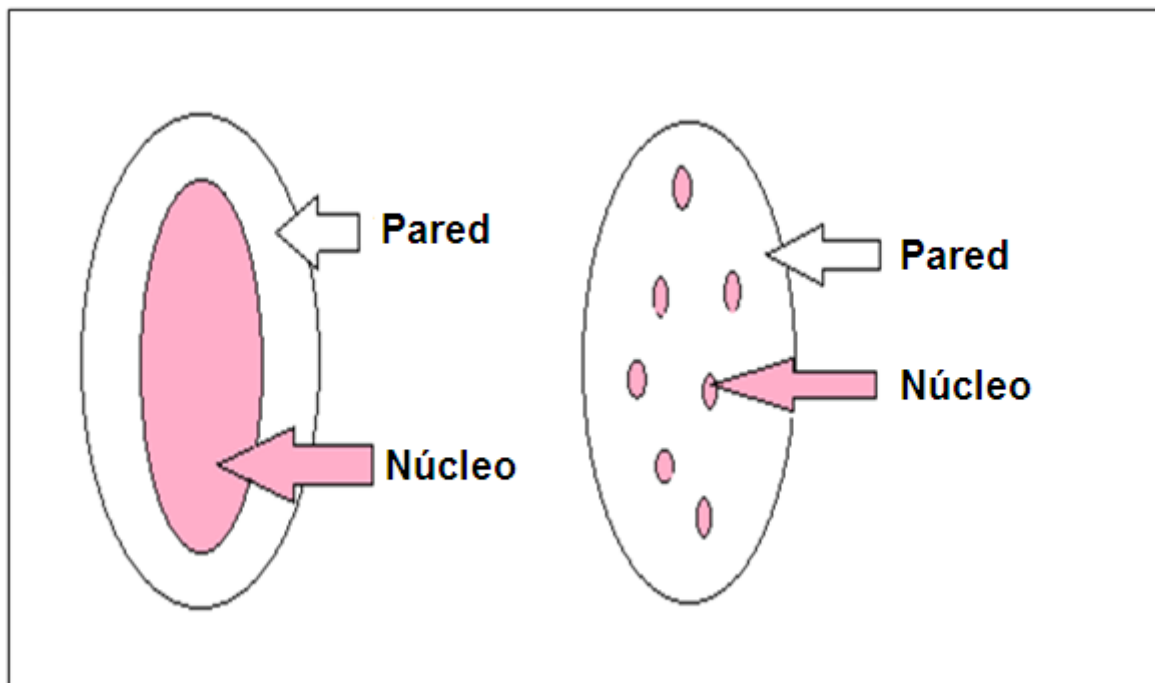
Estudios muestran que el secado por aspersión es una técnica apropiada para deshidratar el taxo; ya que aumenta la estabilidad química y microbiológica, la vida útil del producto; además protege a los componentes bioactivos del fruto y facilita su manipulación (Zapata, Rojano y Cortés 2014, p. 82).

#### **1.4.1 MICROENCAPSULACIÓN**

La microencapsulación es un proceso que data del año 1931, empleado en la industria alimenticia para proteger aditivos o ingredientes sensibles (ácidos, colorantes, pigmentos, enzimas, vitaminas, minerales, sustancias volátiles de los aromas, etc.) contra reacciones degradativas debido a la luz, al oxígeno y a la temperatura, mediante recubrimientos o cubiertas. Además incrementa la protección de dichos compuestos, controla la liberación bajo condiciones específicas, las propiedades físicas del compuesto original pueden cambiar y así volverse más manejables (una sustancia líquida se transforma en pequeñas partículas), reduce la volatilidad, el olor y sabor pueden ser recubiertos, aumenta la estabilidad en el almacenamiento y facilita su manipulación; al mismo tiempo ofrece al consumidor productos con mejores características organolépticas y funcionales (Sandoval *et al.*, 2009, pp. 73-74; Bringas y Pino, 2012, p. 37; Eliasson, 2004, p. 461).

Como consecuencia de este proceso se obtiene un producto denominado microesfera o microcápsula, cuya función se basa en retrasar las reacciones químicas con el medio que lo rodea promoviendo un aumento de la vida útil del producto, el tamaño de partícula varía de 1 a 2 000  $\mu\text{m}$  (Eliasson, 2004, p. 461). “Una microcápsula consiste de una membrana semi-permeable, esférica, delgada y fuerte alrededor de un centro sólido/líquido” (Parra, 2011, p. 5 669). La estructura de la microcápsula, va a depender de las características fisicoquímicas del principio activo y del material pared utilizado, como también del proceso tecnológico elegido (Lopretti, Barreiro, Fernandez, Damboriarena, Ottati y Olivera, 2007, p. 19).

Se presentan varias morfologías de la microcápsula en el proceso de microencapsulación, pero solamente dos son las más comunes Figura 1.7 entre estas están: cápsulas mononucleares (un solo núcleo) envueltas en una membrana y agregados que tienen varios núcleos introducidos en una matriz (Zhongxiang y Bhandari, 2010, p. 510).



**Figura 1.7** Formas de encapsulación: cápsula mononuclear (izquierda) y agregado (derecha)

(Zhongxiang y Bhandari, 2010, p. 510)

La encapsulación se puede dividir en dos procesos: químicos y mecánicos.

#### 1.4.1.1 Procesos químicos

Dentro de estos se presentan las siguientes técnicas: gelificación iónica, coacervación, co-cristalización, incompatibilidad polimérica, polimerización interfacial, inclusión molecular y atrapamiento por liposomas.

- **Gelificación iónica.** Dentro de este método existen dos tipos de técnicas interna y externa.
- **Gelificación interna.** Esta técnica consiste en liberar el ion calcio desde un complejo insoluble en una solución de alginato de sodio; la cual permite conseguir un tamaño de partículas alrededor de 50  $\mu\text{m}$ .
- **Gelificación externa.** Técnica, donde la sal de calcio soluble es añadida a una emulsión Agua/Aceite; donde el tamaño de partícula no está controlado ni definido, alcanza entre 400  $\mu\text{m}$  y 1 mm.
- **Coacervación.** Método en el cual un soluto polimérico es aislado en forma de moléculas líquidas pequeñas. El material que se utiliza debe ser semejante con el polímero del recipiente y ser insoluble al medio. Se utiliza este proceso para producir gelatina-acacia, microcápsulas de alcohol polivinilo y otros tipos de polímeros (Parra, 2010, p. 5 676).
- **Co-cristalización.** Método en el cual actúan dos ingredientes que son asociados en un conglomerado poroso de microcristales de sacarosa constituidos por cristalización espontánea; la co-cristalización es un proceso de bajo costo; ya que su procedimiento es simple, aquí algunos productos son encapsulados como por ejemplo: aceites esenciales, azúcar morena, jugo de frutas y saborizantes.



- **Incompatibilidad polimérica.** Mezcla de dos polímeros químicamente diferentes entre sí en un mismo solvente; en el cual uno de los dos sirve para encapsular el material al formar una película que los engloba. Esto se lleva a cabo solo en solventes orgánicos y sólidos de acuerdo al material que se utilice (Parra, 2010, p. 5 677).
- **Atrapamiento por liposomas.** Este método se utiliza en aplicación de alimentos líquidos, para proteger ingredientes hidrosolubles a través de la encapsulación de liposomas.
- **Inclusión molecular.** Interacción entre componentes donde una pequeña molécula se ajusta con otra formando una capa redonda, la cual es el agente encapsulante; a través de esta técnica se protege sabores e ingredientes sensibles al calor.

#### 1.4.1.2 Procesos mecánicos

Dentro de estos se encuentran inmersas las siguientes técnicas: extrusión, secado por aspersión y por congelamiento/enfriamiento.

- **Extrusión.** Este tipo de secado se considera el segundo más usado dentro de la industria para la encapsulación de sabores; ya que involucra el paso de emulsión de un material activo y pared a través de alta presión (Parra, 2010, p. 5 679).
- **Secado por aspersión.** Es el método más utilizado a nivel alimenticio por ser una técnica económica pero a gran escala de fabricación; garantiza una encapsulación relativamente alta entre un 96 y 100 % con respecto a los otros procesos. Dentro del secado de aspersión se debe tomar en cuenta algunos parámetros como: temperatura de entrada y salida del aire, tiempo

dentro de la cámara, flujo de alimentación y acondicionamiento de la materia prima (Parra, 2010, p. 5 678).

- **Secado por congelamiento/enfriamiento.** Este método es recomendado para el secado de alimentos sensibles y materiales biológicos; donde se involucran ingredientes solubles en agua grasa o cera fundida. Por medio de inyectores con calefacción se realiza este proceso, el mismo que se lleva a cabo en la parte interna de la cámara a temperatura ambiente o de refrigeración.

La técnica de microencapsulación ha sido utilizada en el área alimenticia para proteger y aumentar la vida útil de microorganismos en productos lácteos que son beneficiosos para la salud, al retener las células dentro de matrices encapsulantes que reducen el deterioro celular, con lo que se consigue mayores porcentajes de sobrevivencia de bacterias en jugos gástricos estimulados. Así también los colorantes naturales como los carotenoides pueden ser microencapsulados por sus características nutricionales que demandan protección, por su inestabilidad contra la luz, temperaturas altas, humedad y aire; ya que al ser procesados y almacenados pueden desencadenar procesos oxidativos que provocan la degradación del mismo y de su valor biológico (Parra, 2010, pp. 5 671-5 672).

#### **1.4.1.3 Materiales de recubrimiento**

Los materiales de recubrimiento o agentes encapsulantes intervienen en el proceso de secado al evitar la pegajosidad y aglomeración del producto final (Lozano, 2010 p. 18), y deben poseer las siguientes propiedades: formador de películas, tener baja viscosidad con altos valores de sólidos, baja higroscopicidad, buena propiedad emulsificante, bajo costo, no proporcionar aroma o sabor, liberar el compuesto bioactivo al disolver el producto, estabilidad en la oferta comercial y proteger adecuadamente al compuesto bioactivo (Bringas y Pino, 2012, p. 42).

Los agentes encapsulantes que más se utilizan se dividen en cuatro clases: almidones hidrolizados (maltodextrinas), gomas (goma arábica), monosacáridos y disacáridos y almidones químicamente modificados (Bringas y Pino, 2012, p. 43).

#### **1.4.1.4 Maltodextrinas**

Son productos sólidos de la clase de almidones modificados, poseen valores de DE (equivalentes de dextrosa) entre 5, 10, 15, 20, y en ocasiones hasta 30. Las maltodextrinas son menos dulces que los jarabes de glucosa y muy utilizados por la industria de alimentos, ya que tienen facilidad de dispersión, baja higroscopicidad, capacidad texturizante, bajo potencial de pardeamiento, bajo costo y baja osmolaridad. Se emplean en la fabricación de pasteles caramelos, salsas, sustitutos de grasas (nata, mantequilla, margarina), embutidos y alimentos dietéticos (fórmulas infantiles y enterales) (Gil, 2010, p. 28).

## **2 PARTE EXPERIMENTAL**

### **2.1 MATERIALES**

La fruta fresca fue adquirida en la provincia de Tungurahua, cantón Huambaló, cosechada en estado de madurez organoléptica. La fruta fue trasladada hasta las instalaciones del Departamento de Ciencias de Alimentos y Biotecnología (DECAB) de la Escuela Politécnica Nacional (EPN), lugar donde se ejecutaron todas las operaciones de experimentación. La fruta fue transportada en cajas de cartón; cada caja contenía 5 kg de taxo, se utilizaron 25 kg de fruta cada 15 días (Lote).

Cada lote receptado fue sometido a un lavado manual por inmersión en un tanque de acero inoxidable con agua clorada a 50 ppm, durante 5 minutos. La fruta lavada fue colocada en una gaveta previamente etiquetada, para remover el agua, y posteriormente fue trasladada a la cámara de refrigeración para almacenarla a una temperatura de 4 °C. La fruta fue sometida a distintos tratamientos: pelado manual con cuchillo, hidrólisis enzimática, extracción de pulpa, formulación con maltodextrina y secado por aspersión.

### **2.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA Y NUTRICIONAL DE LA MATERIA PRIMA**

Para la materia prima se evaluaron propiedades físico-químicas como: color, tamaño, forma, sólidos solubles totales (°Brix), pH y materia insoluble en alcohol, y propiedades nutricionales como: compuestos fenólicos solubles, vitamina C, carotenoides, minerales (Ca, Na, K, Fe) y azúcares.

### 2.2.1 ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS

- **Color.** Para la determinación del color se utilizó un colorímetro Minolta modelo CR-200, se tomaron tres frutas del lote para el análisis y se establecieron los parámetros (L, a y b) donde:

L= Coeficiente de luminosidad.

a= Componente de color que varía de tono rojo (+), verde (-).

b= Componente de color que varía de tono amarillo (+), azul (-).

- **Tamaño.** El tamaño se fue determinado con la utilización de un calibrador pie de rey, se escogieron tres frutas del lote y se procedió a tomar las respectivas medidas. Se realizó un análisis de varianza.
- **Peso.** El peso de la fruta se determinó mediante el uso de una balanza analítica (METTLER) modelo PE 3600. Se escogieron tres frutas al azar del respectivo lote. Se realizó un análisis de varianza.
- **Sólidos solubles totales (°Brix).** La determinación de los sólidos solubles totales (°Brix) se realizó según el método AOAC (2007) 932.12. Se colocaron dos gotas de jugo de taxo en el brixómetro (marca ATAGO modelo HSR-500) y se procedió a tomar lectura de los °Brix. Se realizaron tres réplicas.
- **Determinación de pH.** Se determinó según el método descrito en AOAC (2007) 981.12, (42.1.04), con un pH-metro digital ORION modelo 210. Se licuó la fruta y se filtró en un cernidor, se obtuvo una muestra de 30 mL en un vaso de precipitación, se introdujo el electrodo y se tomó la lectura. Se realizaron tres réplicas.
- **Determinación de la materia insoluble en alcohol (MIA).** La materia insoluble en alcohol se cuantificó con el método descrito por Voragen, Heutink y Pilnik, (1980). Se procedió a pesar 10 g de muestra (M) en un tubo para

centrífuga, se centrifugó la muestra por unos 15 min a 4 000 rpm y se retiró el sobrenadante. El residuo sólido se lavó con etanol al 90 %, nuevamente se centrifugó por 10 min y se retiró el sobrenadante. Este procedimiento se repitió hasta que el residuo quedó blanco y el sobrenadante quedó completamente claro. El residuo de color blanco fue transferido a una caja petri previamente tarada ( $P_1$ ), para secar el residuo en la estufa durante toda la noche a 60 °C. Se enfrió la caja petri con la muestra en un desecador y se pesó ( $P_2$ ). Con los datos obtenidos y aplicando la ecuación 2.1 se calculó el porcentaje de MIA Se realizaron tres réplicas.

$$\% \text{ MIA} = \frac{P_2 - P_1}{M} * 100 \quad [2.1]$$

## 2.2.2 PROPIEDADES NUTRICIONALES

- **Determinación de compuestos fenólicos solubles totales.** El contenido de polifenoles se determinó utilizando el método descrito por Slinkard y Singleton, (1997) y Georgé et al., (2005). El análisis se realizó con jugo clarificado de taxo, el mismo que se obtuvo al filtrar jugo pulposo por un filtro de poro 0,45  $\mu\text{m}$ . El método se fundamenta en una reacción de reducción-oxidación con el reactivo Folin-Ciocalteu's y los compuestos fenólicos presentes en la muestra. Se manejaron patrones de ácido gálico entre 10 y 100 mg/L que corresponden a valores de absorbancia entre 0,1 y 0,9 medidos a 760 nm de longitud de onda para efectuar una curva de calibración. A continuación se realizaron diluciones con el jugo clarificado de taxo y se midió la absorbancia a la misma longitud de onda. Con los datos conseguidos se calculó la cantidad de compuestos fenólicos en función del ácido gálico con una fórmula establecida. Se realizaron dos réplicas.

Para muestras líquidas (sin extracción):

$$Cn A = (y-b)/m*fd \quad [2.2]$$

$$Cn B = (y-b)/m*fd \quad [2.3]$$

Entonces:

$$Cn = Cn A - Cn B \quad [2.4]$$

Donde:

Cn = concentración de polifenoles totales como equivalente de ácido gálico (mg AG/g de muestra)

Fd = factor de dilución

V = volumen extractante (L)

P = peso de la muestra (g)

- **Determinación de vitamina C.** La vitamina C fue cuantificada mediante HPLC. Se usó el método modificado y validado del artículo de Macrae (1998) por el DECAB. Se tomaron 5 ml de la muestra de jugo de taxo en un matraz de 50 ml. Posteriormente se añadieron a cada muestra 30 mL de ácido meta-fosfórico al 3 % y 5 mL de homocisteina al 0,2 %. Luego los matraces fueron agitados en un baño de ultrasonido por 15 min, a continuación fueron aforados a 50 mL con agua destilada y centrifugados a 6 000 rpm a 4 °C. Finalmente se filtró la solución por una membrana de 0,45 µm y se inyectó en el equipo de HPLC. Se utilizó un cromatógrafo (HPLC) con una columna LiChrospher 100 RP18 de 5 µm, 250 mm-4,0 mm, con un flujo de 1 mL/min, con una presión de 230 ± 10 bar, a temperatura ambiente de 20 °C, y un detector ultravioleta a 244 nm. Se manejó un estándar de ácido ascórbico marca Dr. Ehrenstorfer GmbH, se realizaron dos réplicas. El proceso se describe en el Anexo I.
  
- **Contenido de carotenoides.** Para cuantificar el contenido de carotenoides en la fruta fresca se utilizó la técnica de HPLC, según el método descrito por Britton, Liaaen, y Pfander (1995). Primero se preparó la muestra se midieron 5 mL de pulpa de taxo y se colocaron 10 mL de acetona se

mezcló y se extrajo los pigmentos. El residuo se extrajo varias veces hasta no obtener más color (generalmente se realizaron entre 3 y 4 extracciones). A continuación se colocó  $\frac{1}{4}$  del extracto cetónico en un embudo de separación para ser extraído con dietil éter: hexano (1:1) y agua destilada, este proceso se lo realizó hasta terminar con los extractos cetónicos. Posteriormente el extracto obtenido fue sometido a saponificación para liberar la vitamina de la matriz del alimento y eliminar componentes como triglicéridos. Luego de la saponificación se extrajo la vitamina con éter de petróleo, la cual se leyó directamente en el HPLC.

Se manejó un estándar de carotenoides certificado marca Dr. Ehrenstorfer GmbH,  $\beta$ -Carotene CA11045800. Se emplearon tres fases móviles (A, B y C). Se utilizó una columna YMC carotenoid column C30, 4,8  $\mu$ m, 250 mm; con un lazo de inyección de 20  $\mu$ L y un detector ultravioleta a 450 nm BW 4, REF 580 nm BW 20 PeakWidth= 0.1 min. Se analizaron dos réplicas. El proceso se describe en el Anexo II.

- **Análisis de minerales.** Los minerales fueron analizados usando el método validado en el DECAB, (2001) el mismo que consiste en una digestión en microondas y lectura directa de Ca, Na, K y Fe por espectrofotometría de absorción atómica en el equipo marca PERKIN ELMER modelo 3 300. Se realizaron dos réplicas.
  
- **Contenido de azúcares.** El contenido de azúcares se cuantificó mediante Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC) y se usó el método modificado descrito en el manual de la Columna (ASTEC NH2 series, 2006).

En un matraz de 25 mL se pesaron 2,5 g de muestra. Se colocaron 15 mL de fase móvil y se mantuvo en agitación durante 15 min, se aforó la solución con fase móvil hasta 25 mL y se trasladó a un tubo, donde se



centrifugó a 4 000 rpm y 4 °C por 8 min. Posteriormente se filtró la solución en una membrana de 0,45 µm y se inyectó al HPLC.

## **2.3 HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA Y OBTENCIÓN DE PULPA DE TAXO**

### **2.3.1 OBTENCIÓN DE LA PLACENTA**

Se clasificó la fruta en 5 lotes de 10 kg, cada lote fue sometido a un pelado manual con cuchillo para obtener la placenta, la misma que se colocó en un recipiente de acero inoxidable y fue pesada en una balanza electrónica FIDELITY MEASUREMENT modelo FM 18 III y a continuación se sometió a hidrolizado. Los 5 lotes fueron utilizados para pruebas en el laboratorio.

#### **2.3.1.1 Pruebas preliminares para hidrólisis de la placenta**

Cada lote de fruta fue sometido a corte manual cada vez que se realizaba la experimentación. Se ensayaron 3 tipos de cocteles enzimáticos: Cellubrix™L Novo Nordisk A/S Bagsvaerd, Denmark®, Rapidasa Carrots Juice Interenzimas Gist-Brocades y Pectinex Ultra SP-L Novozymes®. Se ensayaron dos concentraciones de enzima (200 y 500 ppm) para cada coctel, se incubó cada muestra por lapso de 2 h, a 30 °C y manteniendo agitación constante. Este proceso se llevó a cabo en un baño termostático PRECION SCIENTIFIC. Se realizaron dos repeticiones para cada ensayo y se usó 1 kg de muestra para cada tratamiento. Se realizó un ensayo de obtención de pulpa sin la aplicación de ninguna enzima, y se usó igualmente 1 kg de muestra. En intervalos de 30 min se tomaron muestras para realizar análisis de sólidos insolubles (SIS) AOAC (1998). A la placenta con tratamiento enzimático se le cuantificó sólidos solubles (°Brix) por el método AOAC (2007) 932.12 y pH AOAC (2007) 981.12, (42.1.04). Se realizó un análisis de varianza.

### **2.3.1.2 Determinación de sólidos insolubles en suspensión**

Los sólidos insolubles en suspensión se cuantificaron a través del método AOAC (1998). En este análisis se pesó la pulpa hidrolizada en tubos de centrifuga en una balanza analítica METTLER modelo PE 3 600; se centrifugó a 3 500 rpm durante 15 min en una centrifuga THERMO SCIENTIFIC modelo IEC CL31R MULTISPEED; el sobrenadante fue trasladado a un vaso de precipitación, seguidamente se procedió a escurrir el líquido sobrante sobre el papel toalla y se tuvo mucho cuidado de no perder muestra. Finalmente se pesó el tubo con el residuo.

### **2.3.2 HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA**

Para hidrolizar la placenta se utilizó el coctel Rapidasa Carrots Juice Interenzimas. Inicialmente se clasificó la fruta en dos lotes de 10 kg, la placenta fue extraída por métodos utilizados anteriormente. El tratamiento enzimático consistió en una hidrolisis de dos horas a una temperatura de 30 °C, se adicionaron 200 ppm de la enzima por kg de placenta; para este proceso se utilizó una olla de calentamiento de doble camisa a gas, con agitación constante a través del agitador de hélice marca FISHER SCIENTIFIC.

### **2.3.3 DESPULPADO**

Para la obtención de pulpa se utilizaron 6,4 kg de placenta hidrolizada, un despulpador refinador horizontal de acero inoxidable marca LANGENKAMP, con un motor de 1 104 w y 1 725 rpm, con una malla de 0,025 mm de diámetro de poro.

A continuación se pesó la pulpa obtenida en una balanza electrónica FIDELITY MEASUREMENT modelo FM 18 III y se almacenó en cantidades de 1 000 mL en la cámara de congelación a -17 °C hasta el proceso de secado y análisis de laboratorio. En el Anexo III se indica el diagrama de flujo del proceso en la obtención de pulpa de taxo.

## **2.4 CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA Y NUTRICIONAL DE LA PULPA**

Para la pulpa de taxo se evaluaron las siguientes propiedades físico-químicas: sólidos solubles totales (°Brix), pH y propiedades nutricionales como: compuestos fenólicos solubles, vitamina C y carotenoides.

### **2.4.1 PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS**

- **Sólidos solubles totales (° Brix).** La determinación de los sólidos solubles totales (°Brix) se realizó según el método AOAC (2007) 932.12, se colocaron dos gotas de pulpa hidrolizada de taxo en el brixómetro (marca ATAGO modelo HSR-500) y se procedió a tomar lectura de los grados Brix. Se realizaron tres réplicas.
- **Determinación de pH.** El pH se determinó según el método descrito en AOAC (2007) 981.12, (42.1.04), con un pH-metro digital marca ORION modelo 210. Se realizaron tres réplicas.

## 2.4.2 PROPIEDADES NUTRICIONALES

- **Determinación de compuestos fenólicos solubles totales.** El contenido de compuestos fenólicos solubles totales se determinó, utilizando el método descrito por Slinkard y Singleton, 1997; Georgé et. al., (2005). El análisis se realizó con pulpa hidrolizada de taxo. Se realizaron dos réplicas.
  
- **Determinación de vitamina C.** La vitamina C fue cuantificada mediante HPLC. Se usó el método modificado y validado del artículo de Macrae (1998) por el DECAB. Se evaluaron tres replicas. El proceso se describe en el Anexo I.
  
- **Contenido de carotenoides.** Para analizar el contenido de carotenoides en la pulpa hidrolizada se utilizó la técnica de HPLC según el método descrito por (Britton, Liaaen y Pfander, H., 1995), primero se preparó la muestra donde se tomaron 5 mL de pulpa de taxo y se colocaron 10 mL de acetona se mezcló y se extrajo los pigmentos. Se realizaron 6 extracciones a la muestra. A continuación se colocó  $\frac{1}{4}$  del extracto cetónico en un embudo de separación para ser extraído con éter de petróleo: hexano (1:1) y agua destilada, este proceso se lo realizó hasta terminar con el extracto cetónico. Posteriormente el extracto obtenido fue sometido a saponificación. Luego de la saponificación se extrajo la vitamina con éter de petróleo, la cual se leyó directamente en el HPLC. Se realizaron dos réplicas, el proceso se describe en el Anexo II.

## 2.5 OBTENCIÓN DE LA BASE DESHIDRATADA MEDIANTE SECADO POR ASPERSIÓN

Los valores referentes a temperatura de entrada, el flujo de alimentación, la presión y la temperatura se tomaron como referencia de investigaciones

realizadas anteriormente por Buitrón, (2010, p. 49) y Guttler, (2011, p. 48), así se utilizó un flujo de alimentación de 12 mL/min, la temperatura de entrada (120 °C y 160 °C), la formulación del jugo con maltodextrina (3 y 7 %) y una presión de 3,5 a 4 kg/cm<sup>2</sup> para alcanzar una velocidad de 30 000 rpm,

Para empezar el proceso de secado primeramente se acondicionó el equipo, se procedió a prenderlo para que llegue a una temperatura de entrada de 120 °C y una temperatura de salida entre 60 y 80 °C para mejorar el proceso. Se utilizó una bomba peristáltica marca MASTERFLEX, modelo 77 201-60; para la alimentación de la pulpa, la misma que fue calibrada, se analizó el efecto del flujo de alimentación (10 y 12 mL/min).

La pulpa hidrolizada (1 000 mL) fue descongelada para el proceso de secado y fue sometida a una formulación con maltodextrina como material pared. Se evaluó el efecto de la cantidad de maltodextrina adicionada a la pulpa 3 y 7 % (30 y 70 g/kg); se utilizó una licuadora marca OSTER para homogenizar la muestra para así evitar que se formen grumos, luego la pulpa formulada fue colocada en una jarra plástica de un litro y llevada al secador.

Para determinar las condiciones de secado, se aplicó un diseño experimental 2<sup>2</sup> (dos factores con dos niveles de prueba cada uno). Se analizaron dos réplicas. Se empleó el programa Statgraphics Centurion XVI.I para el análisis estadístico de los resultados.

### **2.5.1 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO DE SECADO POR ASPERSIÓN**

El proceso de secado se lo realizó en un equipo piloto marca NIRO ATOMIZER, modelo MINOR ubicado en la planta piloto del DECAB-EPN; su mecanismo es por aspersión, utiliza una turbina que sirve para esparcir la pulpa dentro de la cámara de secado, donde se pone en contacto con el aire caliente.

## 2.6 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y NUTRICIONAL DEL PRODUCTO DESHIDRATADO

Se evaluaron los siguientes parámetros de respuesta en el producto deshidratado: carotenos, vitamina C, compuestos fenólicos, contenido de minerales, contenido de azúcares presentes en la base deshidratada de taxo y pH.

- **Carotenos.** Para analizar el contenido de carotenoides en la base deshidratada se utilizó la técnica de HPLC según el método descrito por Britton et al., (1995). Se procedió a pesar el producto en polvo (2,5 g) y se hidrató con unas gotas de agua. Se colocaron previamente 10 mL de metanol para facilitar la extracción de carotenoides, ya que la muestra contenía maltodextrina; posteriormente se colocó 10 mL de acetona, se mezcló y se extrajeron los pigmentos (generalmente se realizan entre 3 y 6 extracciones), seguidamente se procedió como se describe en el Anexo II.
- **Vitamina C.** El contenido de vitamina C se cuantificó aplicando el método descrito por Macrae (1988), se pesaron 4 g de muestra en polvo y se procedió como se presenta en el Anexo I.
- **Compuestos fenólicos.** El contenido de compuestos fenólicos solubles totales se determinó utilizando el método descrito por Slinkard y Singleton, (1997); Georgé et. al., (2005). Para este análisis se pesaron 0,2 g de polvo para la obtención del extracto cetónico, el cual fue tratado de dos formas diferentes: A (dilución del extracto cetónico) y B (eliminación de vitamina C y azúcares reductores mediante cartuchos de separación OASIS HLB).
- **Contenido de minerales.** El contenido de minerales se evaluó según el método descrito DECAB, (2001), que consiste en una digestión en microondas y lectura directa de Ca, Fe, K y Na por espectrofotometría de

absorción atómica en el equipo marca PERKIN ELMER modelo 3 300. Se realizaron dos réplicas por muestra.

- **pH.** El pH se determinó según el método descrito en AOAC (2007) 981.12, (42.1.04), con un pH-metro digital marca ORION modelo 210. Se realizaron dos réplicas.

## **2.7 ANÁLISIS SENSORIAL**

Se realizó un análisis sensorial en la sala de degustaciones localizada en el Departamento de Ciencia de Alimentos y Biotecnología (DECAB) de la Escuela Politécnica Nacional, participaron 13 panelistas, los cuales fueron previamente entrenados para emitir criterios en cuanto a los atributos del producto.

Se tomaron 2 muestras, las cuales presentaron mejor respuesta en los anteriores estudios, se procedió a codificarlas con 3 números como indica el proceso (324 y 517), se utilizó una escala continua, donde los evaluadores marcaron la calificación de la calidad del producto en el formato respectivo. Se evaluaron los siguientes atributos: aroma, sabor, apariencia, color y sabores extraños. El formato que se utilizó para este estudio se indica en el Anexo IV.

Mediante el programa Statgraphics Centurion XVI.I Plus Versión 5.1 para Windows, se analizaron los resultados obtenidos con la aplicación de un análisis de varianza de rango múltiple.

## **2.8 ESTUDIO DE ESTABILIDAD**

El producto final fue sometido a una prueba de estabilidad y estimación de vida de anaquel, la misma que se evaluó a temperaturas de refrigeración (8 °C), ambiente

(18 °C) y 40 °C en dos tipos de empaque, un tr laminado de polietileno y aluminio (LDPE/FOIL/LDPE) y un polipropileno biorientado transparente (BOPP), por un período de 0, 15, 30 y 45 días, respectivamente. Se utilizó la ecuación de Arrhenius Man (2002) para estimar la vida útil del producto. Se realizaron dos réplicas por cada muestra.

### 2.8.1 PARÁMETROS DEL ESTUDIO DE ESTABILIDAD

Se evaluaron los siguientes parámetros: humedad, índice de solubilidad (% ISA), contenido de  $\beta$ -carotenos, vitamina C y compuestos fenólicos.

- **Humedad.** Para analizar el contenido de humedad se aplicó el método descrito en AOAC (2007) 920.151, (37, 1,12), la muestra fue introducida en una estufa a vacío marca Heraeus USA a 70 °C y 100 mmHg, se analizaron muestras por duplicado.
- **Índice de solubilidad (% ISA).** El índice de solubilidad se determinó según el método descrito en Ruales, Carpio, Santacruz, Santacruz y Bravo, (2000); la muestra fue sometida a incubación en el baño con agitación a una temperatura de 30 °C, luego fue centrifugada a 500 rpm durante 20 min, se analizaron muestras por duplicado.
- **$\beta$ -Carotenos.** Se cuantificó por medio del método descrito por Britton, et al., (1995), el procedimiento para el análisis se detalla en el Anexo II. Se analizaron muestras por duplicado.
- **Vitamina C.** El contenido de vitamina C se determinó por medio del método descrito por Macrae, (1988), el proceso se describe en el Anexo I. Se analizaron muestras por duplicado.



- **Compuestos fenólicos.** El contenido de compuestos fenólicos solubles totales se determinó por medio del método descrito por Slinkard y Singleton, (1997); Georgé et. al., (2005).

### 2.8.2 ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE VIDA ÚTIL

Como medidas para la estimación de tiempo de vida útil, se utilizaron las concentraciones de  $\beta$ -Carotenos y de compuestos fenólicos, que se obtuvieron simultáneamente durante la estabilidad. Se utilizó la ecuación de Arrhenius (Man, 2002) para el cálculo en los dos materiales de empaque. Las fórmulas que se aplicaron fueron:

$$\text{Log } A = \text{Log } A_0 - \frac{kt}{2,303} \quad [2.5]$$

Donde:

A: Concentración de  $\beta$ -Carotenos y compuestos fenólicos dentro del envase.

$A_0$ : Concentración de  $\beta$ -Carotenos y compuestos fenólicos dentro del envase al inicio del estudio de estabilidad.

K: Velocidad de deterioro para la concentración de  $\beta$ -Carotenos y compuestos fenólicos en función del tiempo de almacenamiento.

t: Tiempo de almacenamiento en días.

Con la fórmula 2.3 y los resultados obtenidos para k se estableció la energía de activación y el factor de frecuencia para cada una de las temperaturas.

$$\text{Ln } k = \text{Ln } k' - \frac{E}{RT} \quad [2.6]$$

Donde:

k: Tasa de velocidad de deterioro para concentración de  $\beta$ -Carotenos y compuestos fenólicos en función del tiempo de almacenamiento.

- k': Factor de frecuencia para cada temperatura.  
E: Energía de activación.  
R: Constante ideal de los gases.  
T: Temperatura absoluta del estudio de la estabilidad.

### **2.8.3 ESTUDIO MICROBIOLÓGICO**

Se realizó un estudio microbiológico del producto deshidratado de taxo, en base a un conteo total de aerobios, por el método FDA/ CFSAN BAM Cap. 3 (2001). Se cuantificaron hongos y levaduras, por el método FDA/ CFSAN BAM Cap. 18 (2001).

## **2.9 ESTIMACIÓN DE COSTOS DE PRODUCCIÓN**

Se realizó una estimación de costos de producción en el cual se calcularon los costos de producción de materia prima, empaque y un aproximado del costo de los procesos de ingeniería.

En la determinación del costo de la materia prima se tomó como base el balance de masas del proceso y el precio del kilogramo de fruta fresca y demás aditivos. Por último se cuantificó el costo unitario de la base deshidratada de taxo.

Se realizó un balance de masa del proceso para obtener el rendimiento final del producto obtenido, como se muestra en el Anexo V.

Se efectuó un balance de energía para verificar la eficiencia del proceso, el volumen, el calor total y el tiempo requerido para mantener la pulpa dentro del secador. Los cálculos se indican en el Anexo V.

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA: TAXO

##### 3.1.1 ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS

Las características que el taxo presentó en cuanto a forma, longitud, diámetro y peso fueron similares a los valores reportados por Bernal y Díaz, (2005, pp. 17,136) y Tamayo et al., (2001, p. 6)

En la Tabla 3.1 se reportan los resultados obtenidos en el análisis de las propiedades físico-químicas para el taxo (*Passiflora mollisima*)

**Tabla 3.1** Propiedades físico –químicas del taxo (*Passiflora mollisima*)

PARÁMETRO		RESULTADO
	L	74,43 ± 3,05
Color	A	-5,52 ± 2,40
	B	55,18 ± 1,97
Forma		Elipsoidal
Longitud (cm)		11,73 ± 0,87
Peso (g)		72,51 ± 15,99
Sólidos Solubles Totales (°Brix)		10,50 ± 0,71
pH		3,24 ± 0,20
Materia Insoluble en Alcohol (MIA)		0,32 ± 0,27

En base fresca  $\bar{x} \pm s$ , (n= 3)

a+ = rojo, a- = verde, b+ = amarillo, b- = azul

Según los datos obtenidos de las coordenadas colorimétricas a y b, la fruta fresca presenta un color amarillo verdoso en su estado de madurez organoléptica.

La determinación de los sólidos solubles medidos en ° Brix es una valoración del contenido de azúcares totales, cada fruta debe poseer un mínimo de sólidos solubles para definir su índice de madurez, el taxo debe presentar un valor de 10 °Brix para alcanzar su madurez de consumo (Bernal y Díaz, 2005, p. 36) como se indica en la Tabla 3.1, el taxo cumplió con lo requerido.

De acuerdo al bajo pH que presenta el taxo, se considera como una fruta de alta acidez (Tamayo et al., 2001, p. 54).

El resultado de la extracción de la Pared Celular Bruta (PCB) o Materia Insoluble en Alcohol (MIA) se reporta en la Tabla 3.1, al comparar con valores reportados por (Brito, 2006 p. 20) en granadilla variedad Colombiana de 0,75 %, se manifiesta que el 0,32 % obtenido para el taxo se presentó con un valor inferior.

### **3.1.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL FRUTO**

La Tabla 3.2 muestra la composición nutricional del taxo; los análisis se llevaron a cabo con fruta fresca.

Como se observa el mineral que se presenta en mayor cantidad es el potasio, seguido por el sodio, calcio y hierro esto al comparar con los datos reportados por SICA, (2014), la variedad taxo amarillo o mango tiene similitud en la concentración de calcio, pero el hierro se encuentra en mayor concentración.

En cuanto a la cuantificación de azúcares, se reportó un contenido alto de fructosa y no se reportó glucosa ni sacarosa.

Se observa un contenido de vitamina C de 60,33 mg/100g; al comparar con los resultados obtenidos por Vasco (2009, p. 13), de otras familias Passifloraceae, se evidencia que el taxo tiene mayor contenido de este compuesto antioxidante.

Los estudios realizados demostraron que el taxo contiene una cantidad considerable de compuestos fenólicos solubles totales de 1 014 mg AG/100g de fruta fresca, obteniendo una similitud con los resultados reportados por Vasco (2009, p. 13), con lo que se puede concluir que dicha fruta es una fuente antioxidante

La cantidad de carotenoides en el taxo es de 2,27 mg/100g de fruta fresca, lo que le hace una fruta con un potencial antioxidante alto en comparación con otras frutas estudiadas, como es el caso de la granadilla que tiene 57 µg/100g de fruta fresca y el maracuyá de 29 µg/100g de fruta fresca Vasco (2009, p.13).

**Tabla 3.2** Composición química del taxo

PARÁMETRO	ANALITO	RESULTADO
Análisis de minerales	Ca (mg/100g)	4,36 ± 1,05
	Fe (mg/100g)	1,33 ± 1,03
	Na (mg/100g)	15,69 ± 2,74
	K (mg/100g)	175,71 ± 3,39
Contenido de azúcares	Fructosa (mg/mL)	64,82 ± 22,92
	Glucosa*	ND
	Sacarosa*	ND
Vitamina C (mg/100g)		60,33 ± 0,58
Contenido de carotenoides (mg/100g)		2,27 ± 0,02
Compuestos fenólicos solubles totales (mg AG/100g)		1 014,64 ± 24,06

En base fresca  $\bar{x} \pm s$ , (n= 2)

\*ND: no detectable

## 3.2 HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA Y OBTENCIÓN DE PULPA DE TAXO

### 3.2.1 SELECCIÓN DEL COCTEL ENZIMÁTICO

Para incrementar el rendimiento de extracción de pulpa, separar el arilo de las semillas, aumentar la cantidad de sólidos disueltos (SD) y disminuir la carga de sólidos insolubles en suspensión (SIS), se realizó una hidrólisis enzimática con enzimas específicas, con diferentes concentraciones. El proceso fue evaluado por 2 horas.

De acuerdo a la Tabla 3.3, los Sólidos Insolubles en Suspensión (SIS) disminuyen al aplicar hidrólisis enzimática. Los preparados enzimáticos utilizados deben ser específicos; ya que estos catalizan reacciones específicas. Al emplear la enzima

Pectinex SP-L Novozymes®, se presentó una ligera disminución del % SIS esto se atribuye a que la placenta de taxo contiene el componente péctico y el coctel enzimático posee una poligalacturonasa que ayudó a descomponer parcialmente los componentes de la pared celular, especialmente las sustancias pécticas Ovando y Waliszewski (2005, p. 115).

Los mejores resultados se obtuvieron con la enzima Rapidasa Carrots Juice Interenzimas Gist-Brocades a 200 ppm/kg, los resultados se presentan en la Tabla 3.3 donde se evidencia una disminución del % SIS.

**Tabla 3.3** Análisis de varianza para la concentración de enzima a 200 ppm/kg y % SIS

<b>TIEMPO (min)</b>	<b>CELUBRIX (% SIS)</b>	<b>PECTINEX (% SIS)</b>	<b>RAPIDASA CARROT (% SIS)</b>
30	56,28 ± 0,16	56,50 ± 0,34	49,20 ± 0,27
60	56,10 ± 0,23	53,63 ± 0,56	53,62 ± 0,47
90	56,18 ± 0,21	56,52 ± 0,02	39,29 ± 0,50
120	56,32 ± 0,10	53,64 ± 0,46	35,23 ± 0,56

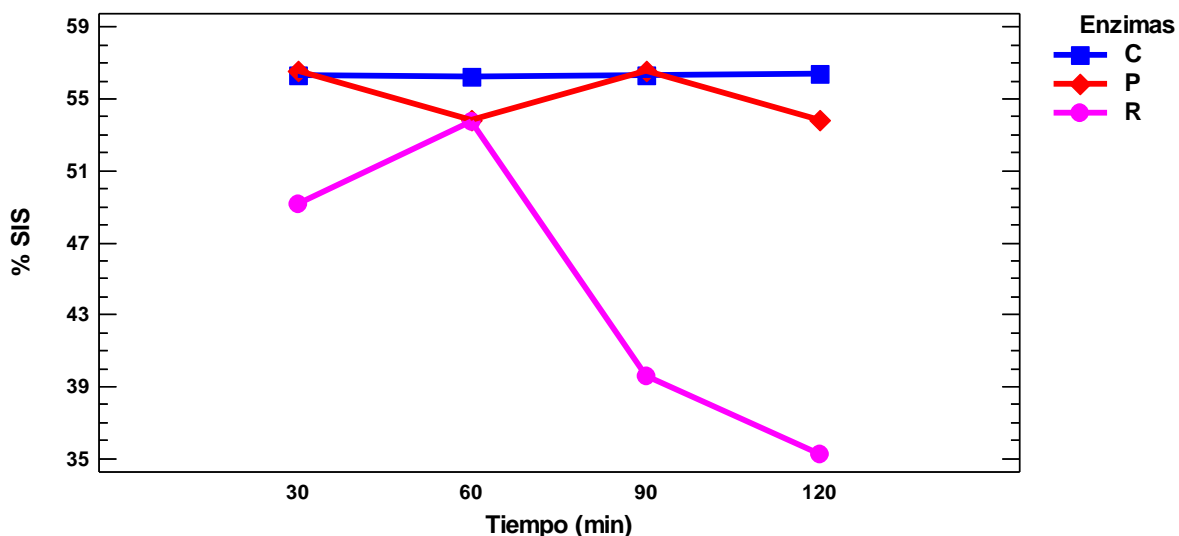
$\bar{x} \pm s$ , (n= 3)

La Tabla 3.4 muestra el análisis de varianza que se obtuvo para % SIS con los tratamientos experimentales que fueron aplicados. Se observan tres valores  $P < 0,05$  que evidencian una diferencia estadísticamente significativa con un 95 % de nivel de confianza. Tanto la temperatura como los cocteles enzimáticos y sus interacciones influyen en el % SIS.

**Tabla 3.4** Anova para la concentración de enzima a 200 ppm/Kg y % SIS

<b>FUENTE</b>	<b>SUMA DE CUADRADOS</b>	<b>CUADRADO MEDIO</b>	<b>RAZÓN-F</b>	<b>VALOR-P</b>
<b>Efectos Principales</b>				
A:Tiempo	147,544	49,1813	1 903,1800	0,0000
B:Enzimas	686,125	343,063	13 275,5600	0,0000
<b>Interacciones</b>				
AB	299,47	49,9117	1 931,4400	0,0000
Residuos	0,3101	0,0258417		

La Figura 3.1 confirma que el coctel enzimático con el que se obtuvo la mayor disminución en cuanto a % SIS en el tiempo fue la enzima Rapidasa Carrot Juice.



**Figura 3.1** Sólidos Insolubles en Suspensión versus el tiempo a una concentración de 200 ppm/Kg de enzima Cellubrix™ L Novo Nordisk A/S Bagsvaerd, Denmark® (C), Rapidasa Carrots Juice Interenzimas Gist-Brocades® (R) y Pectinex Ultra SP-L Novozymes® (P)

Según Ovando y Waliszewski (2005 p.117 ) la utilización de cocteles enzimáticos con actividad mixta de celulasa, hemicelulasa y pectinasa como la Rapidasa Press ayudaron a licuefactar el material insoluble en el caso experimental de la pulpa de maracuyá (parchita), cuya composición primaria en la pared celular fue de pectina seguida de celulosa y la hemicelulosa. El hidrolizado se realizó a condiciones de 1 hora a 30 °C es por ello que se eligió para este estudio las mismas condiciones experimentales y el coctel enzimático Rapidasa Carrot Juice, dado que tanto el maracuyá como el taxo pertenecen a la misma familia *Passiflora*. Como se observa, el taxo presentó una disminución de % SIS con el coctel antes mencionado pero en un tiempo más prolongado.

La Tabla 3.5 muestra los resultados obtenidos para % SIS al aplicar los tres preparados enzimáticos a una concentración de 500 ppm/kg.

**Tabla 3.5** Análisis de varianza para la concentración de enzima a 500 ppm/kg y % SIS

TIEMPO	CELUBRIX	PECTINEX	RAPIDASA CARROT
30	61,34 ± 0,62	56,36 ± 0,45	49,15 ± 0,67
60	51,65 ± 0,67	44,87 ± 1,00	44,56 ± 0,32
90	61,80 ± 0,85	51,68 ± 0,28	39,33 ± 0,82
120	46,47 ± 0,71	58,80 ± 0,96	39,22 ± 0,68

$\bar{x} \pm s$ , (n= 3)

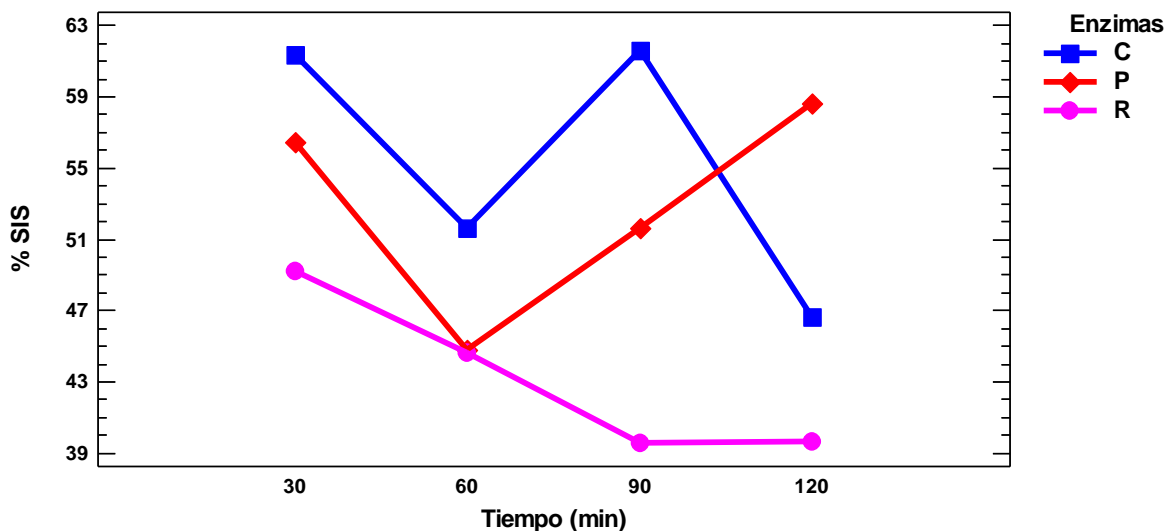
Al aplicar un diseño multifactorial se obtuvo el ANOVA, en el cual se identifican tres valores de  $P < 0,05$ ; estos factores tuvieron un efecto estadísticamente significativo sobre % SIS. El tiempo y la aplicación de cocteles enzimáticos tuvieron un efecto significativo sobre el % SIS, como se observa en la Tabla 3.6.

**Tabla 3.6** Análisis de varianza para % SIS con la aplicación de preparados enzimáticos Cellubrix<sup>TM</sup> L Novo Nordisk A/S Bagsvaerd, Denmark<sup>®</sup>, Rapidasa Carrots Juice Interenzimas Gist-Brocades<sup>®</sup> y Pectinex Ultra SP-L Novozymes<sup>®</sup> en el tiempo

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	RAZÓN-F	VALOR-P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>				
A:Tiempo	262,785	87,5949	1 648,33	0
B:Enzima	650,604	325,302	6 121,41	0
<b>INTERACCIONES</b>				
AB	420,408	70,068	1 318,51	0
<b>RESIDUOS</b>	0,6377	0,0531417		

En la Figura 3.2 se visualizan los tres tipos de cocteles enzimáticos que fueron aplicados experimentalmente a concentración de 500 ppm y a diferente tiempo, donde la enzima Rapidasa Carrot Juice presentó mejor comportamiento en cuanto a disminución de % SIS, pero en menor intensidad que a 200 ppm.





**Figura 3.2** Sólidos Insolubles en Suspensión versus el tiempo a una concentración de 500 ppm/kg de enzima Cellubrix<sup>TM</sup> L Novo Nordisk A/S Bagsvaerd, Denmark<sup>®</sup> (C), Rapidasa Carrots Juice Interenzimas Gist-Brocades<sup>®</sup> (R), y Pectinex Ultra SP-L Novozymes<sup>®</sup> (P)

Con los resultados obtenidos se eligió el preparado enzimático a utilizar junto con los parámetros de tiempo y concentración de enzima, lo cual permitió evidenciar que la aplicación de una mayor concentración de enzima no favorece en la disminución % SIS.

El tratamiento enzimático que se aplicó antes del despulpado fue favorable para el parámetro evaluado, ya que se logró la licuefacción de los componentes de la pared celular.

Las mejores resultados se consiguieron con la aplicación de la enzima Rapidasa Carrot Juice a concentración de 200 ppm/kg, con una temperatura de 30 °C y a un tiempo de 2 horas.

### 3.2.2 PROCESO DE OBTENCIÓN DE PULPA DE TAXO

#### 3.2.2.1 Hidrólisis enzimática con el coctel Rapidasa Carrot Juice

Para este análisis se utilizó la enzima Rapidasa Carrot Juice a dos concentraciones. Como se puede observar, el tratamiento enzimático que se aplicó a la placenta de taxo muestra resultados favorables en cuanto al peso de pulpa.

En la Tabla 3.7 se indican los tratamientos que se realizaron y los resultados obtenidos después del despulpado.

**Tabla 3.7** Peso de pulpa obtenido luego de los tratamientos enzimáticos realizados a la placenta de taxo con la enzima Rapidasa Carrot Juice, con 10 kg de fruta

TRATAMIENTOS	CANTIDAD DE COCTEL ENZIMÁTICO RAPIDASA CARROT (ppm/kg)	PESO DE PULPA (kg)
T <sub>1</sub>	0	3,69 ± 0,01
T <sub>2</sub>	200	4,71 ± 0,01
T <sub>3</sub>	500	4,93 ± 0,01

Estudios sobre el rendimiento de pulpa en guanábana manifiestan un aumento significativo en pulpa al aplicar hidrólisis enzimática (Ávila, 2014, p. 62). Igualmente (Tupuna, 2012, p. 63) al aplicar un tratamiento enzimático con la enzima Klerzyme 150® obtuvo mayor rendimiento de extracción en pulpa.

Según Ovando et al., (2005 p.114) las enzimas pectinasas solubilizan la pectina y los revestimientos de la pared celular que contiene el jugo, lo que induce a un ablandamiento del tejido, con lo cual se facilita la extracción de pulpa.

Como se observa en la Tabla 3.8, con los datos que se obtuvieron en la extracción de la pulpa de taxo se procedió a realizar un análisis de varianza de una vía con

la ayuda del programa Statgraphics Centurion XVI.I Plus, con el propósito de especificar si existió diferencia significativa en la recuperación de pulpa hidrolizada previa comparación con la muestra testigo.

**Tabla 3.8** Análisis de varianza para el rendimiento de pulpa de taxo

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	RAZÓN-F	VALOR-P
Entre grupos	1,75093	0,875467	4 377,33	0
Intra grupos	0,0006	0,0002		

En la Tabla 3.8 el análisis de varianza muestra una diferencia estadísticamente significativa ( $P < 0,05$ ) con un nivel de confianza del 95 % entre las medias de las variables del proceso de obtención de pulpa de taxo.

La Tabla 3.9 indica una comparación de múltiples rangos, la cual muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. Los asteriscos indican que existió una diferencia estadísticamente significativa para los pares de los tratamientos, igualmente esto se evidencia al observar los grupos homogéneos donde las X ' s no se presentan en la misma columna.

**Tabla 3.9** Prueba de rango múltiple para rendimiento de pulpa hidrolizada de taxo

TRATAMIENTO	CASOS	MEDIA	GRUPOS HOMOGÉNEOS		
T1	2	3,69	X		
T2	2	4,71		X	
T3	2	4,93			X
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites		
T1 - T2	*	-1,02	0,045		
T1 - T3	*	-1,24	1,045		
T2 - T3	*	-0,22	2,045		

\* indica una diferencia significativa

La Tabla 3.7 indica que a mayor concentración de enzima se obtuvieron mejores rendimientos de pulpa, esto al comparar con el blanco (T1) que no recibió ningún tratamiento con enzima y generó los más bajos rendimientos.

La aplicación de hidrólisis enzimática antes del despulpado resultó ser un factor clave para aumentar el rendimiento durante la extracción de pulpa; además ayudó a obtener un jugo con mejores características organolépticas.

Para los siguientes procesos experimentales se eligió la enzima Rapidasa Carrot Juice a una concentración de 200 ppm/kg de pulpa; ya que a estas condiciones se consiguió aumentar el rendimiento en pulpa y disminuir significativamente el % SIS; además que permitiría un ahorro de dinero.

### 3.3 CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA Y NUTRICIONAL DE LA PULPA

#### 3.3.1 ANÁLISIS QUÍMICOS

La Tabla 3.10 muestra los resultados obtenidos de las propiedades químicas para la pulpa hidrolizada; la cantidad de Sólidos Solubles Totales (°Brix) aumentó después del tratamiento enzimático, en comparación con la muestra testigo (sin hidrólisis). Esta situación se puede atribuir a la acción de las pectinasas sobre las paredes celulares que provocan una solubilización y por ende un ablandamiento de estas Ovando y Waliszewski, (2005, p. 114).

**Tabla 3.10** Análisis químico de la pulpa hidrolizada de taxo

PARÁMETRO	RESULTADO
Sólidos Solubles Totales (°Brix)	13 ± 0,00
pH	2,96 ± 0,06

$\bar{x} \pm s$ , (n= 3)

Investigaciones realizadas en una mezcla diluida de pulpa de frutos de cactus mostraron un aumento de sólidos solubles después de un tratamiento enzimático de 4 a 4,6 °Brix Padrón y Moreno (2010, p. 5 434) al igual que en estudios realizados por Buitrón (2010, p. 49), que obtuvo un incremento de este parámetro previa utilización de enzimas de 10 a 12 °Brix.

Se presentó una disminución del pH para este parámetro en comparación con el obtenido en pulpa sin tratamiento, como se muestra en la Tabla 3.10, atribuyéndose este efecto a la utilización de enzimas y al aumento de temperatura; como lo indican Buitrón (2010, p. 49) y Rivas (2010, p. 43).

### 3.3.2 ANÁLISIS NUTRICIONAL

La aplicación de tratamiento enzimático es una herramienta útil en la industria alimenticia, ya que logra liberar componentes del tejido celular al degradar los polisacáridos, lo que provoca un aumento del poro de las células del sustrato. Como resultado se da una mejor propagación del solvente a través del tejido de las frutas o vegetales, lo que proporciona una mayor recuperación de los compuestos Ovando y Waliszewski, (2005, p. 113).

En la Tabla 3.11 se visualizan los resultados alcanzados de las propiedades nutricionales de la pulpa hidrolizada de taxo.

**Tabla 3.11** Propiedades nutricionales de la pulpa hidrolizada de taxo

PARÁMETRO	RESULTADO
Contenido de carotenoides (mg/100g)	2,42 ± 0,62
Compuestos fenólicos solubles totales (mg AG/100g)	1 089 ± 0,25

$\bar{x} \pm s$ , (n= 3)

En cuanto al contenido de  $\beta$ -caroteno, se obtuvo un incremento en comparación al obtenido en pulpa sin tratamiento ( $2,27 \pm 0,02$  mg/100g), el cual se indica en la Tabla 3.11 donde se observa que el tratamiento que se aplicó a la placenta de taxo influyó en una mayor extracción de este compuesto; es decir que un proceso enzimático resultó beneficioso para extraer en mayor cantidad los compuestos de interés.

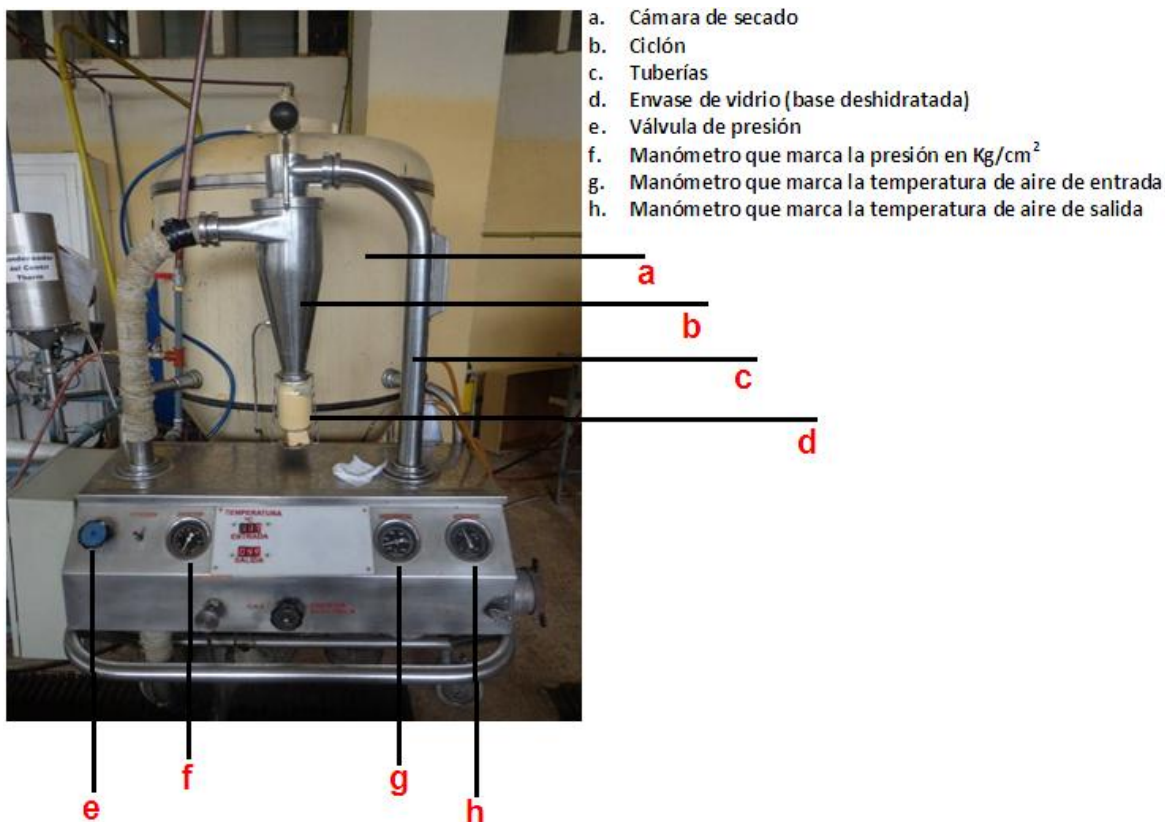
Se ha señalado que algunos cocteles enzimáticos con actividades mixtas actúan en el desprendimiento de compuestos antioxidantes fenólicos (Ovando y Waliszewski, 2005, pp. 117, 118), la Tabla 3.11 indica que los compuestos fenólicos solubles totales obtenidos en la pulpa hidrolizada se incrementaron de una concentración de 1 014,64 (mg AG/100g) obtenida en pulpa sin tratamiento a  $1\ 089 \pm 0,25$  (mg AG/100g) en pulpa hidrolizada. Estudios realizados por Beltrán, (2013), en tomate de árbol reportaron un aumento en la concentración de compuestos fenólicos de 3,25 % previo tratamiento enzimático con un coctel enzimático con actividad mixta Rapidasa vegetable juice (p. 55).

### **3.4 OBTENCIÓN DE LA BASE DESHIDRATADA MEDIANTE SECADO POR ASPERSIÓN**

Al realizar las primeras pruebas se consiguió un producto quemado con una temperatura del aire de entrada de 160 °C, es por esto que la temperatura que se eligió para el proceso fue de 120 °C y el factor que se varió fue el flujo de alimentación (10 mL/min y 12 mL/min).

En la Figura 3.3 se presenta el equipo de secado por aspersion utilizado para obtener la base deshidratada de taxo

Los parámetros de respuesta que se evaluaron en el producto deshidratado fueron: rendimiento, concentración de  $\beta$ -caroteno, concentración de compuestos fenólicos solubles, vitaminas C, minerales y pH.



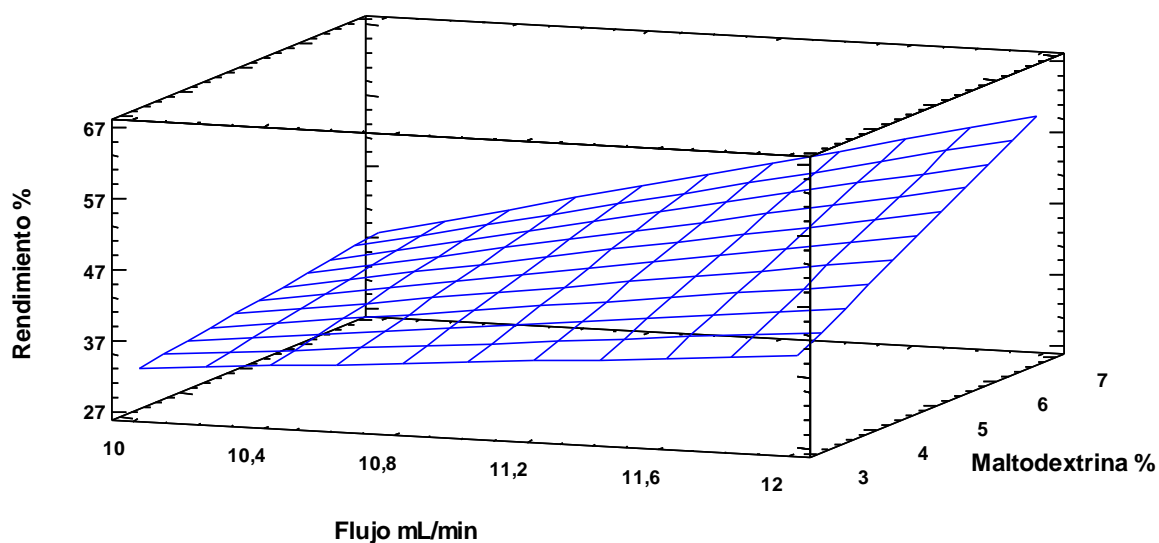
**Figura 3.3** Equipo de secado por aspersión

En la Tabla 3.12 se indican los resultados obtenidos para cada tratamiento y el efecto que sus niveles producen sobre el rendimiento.

**Tabla 3.12** Análisis de varianza para el rendimiento de la base deshidratada al variar el flujo de alimentación (mL/min) y la cantidad de maltodextrina

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	RAZÓN-F	VALOR-P
A:Flujo	394,384	394,384	19,85	0,0112
B:Maltodextrina	324,488	324,488	16,33	0,0156
AB	108,413	108,413	5,46	0,0797
Error total	79,4671	19,8668		

La tabla del ANOVA indica que en este caso, las dos variables tienen un valor-P menor que 0,05: el flujo y la maltodextrina; es decir, tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el rendimiento.

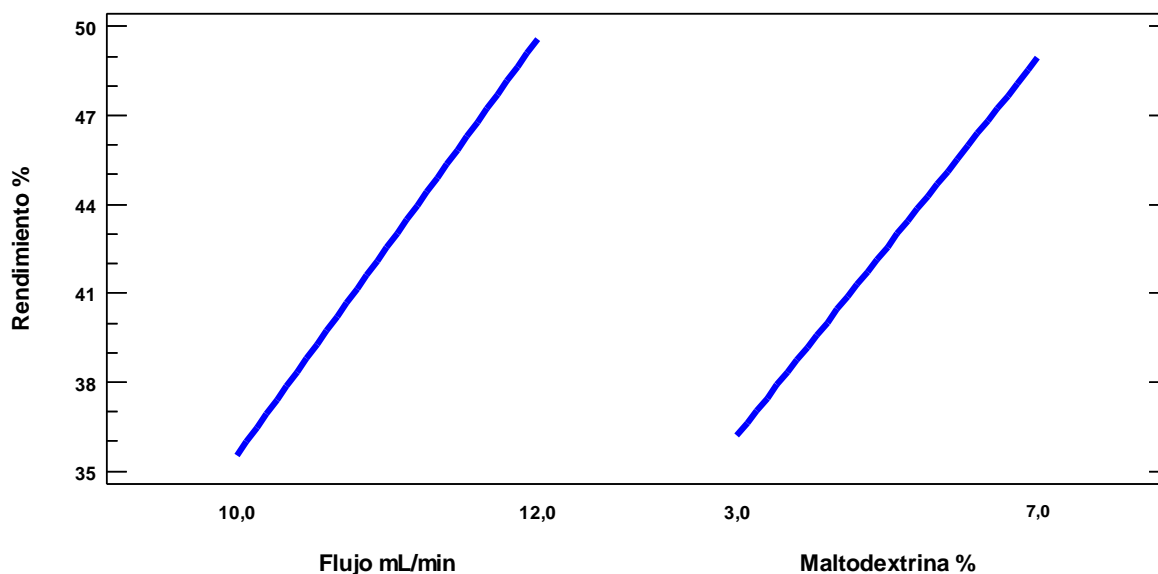


**Figura 3.4** Superficie de respuesta estimada para porcentaje de rendimiento

La Figura 3.4 indica el efecto de las variables sobre la superficie de respuesta estimada para el rendimiento del producto deshidratado de taxo, al aplicar un flujo de 12 mL/min y con adición de maltodextrina al 7 % (70 g/kg) se consiguió el mayor rendimiento.

En la Figura 3.5 se puede observar que tanto la maltodextrina adicionada y el flujo de alimentación tuvieron influencia significativa sobre el rendimiento de la base deshidratada de taxo, el % de rendimiento aumenta cuando se varía el flujo de 10 mL/min a 12 mL/min, igualmente en la cantidad de maltodextrina que se adiciona a la pulpa de 3 % (30 g/kg) a 7 % (70 g/kg). Al ser la pendiente de la línea recta mayor, el efecto de las variables es más significativo. Es por ello que los mejores resultados se obtuvieron a un flujo de 12 mL/min y con una cantidad de maltodextrina al 7 %.





**Figura 3.5** Gráfico de efectos principales para el porcentaje de rendimiento de la base deshidratada de taxo versus flujo de entrada (mL/min) y porcentaje de maltodextrina

### 3.5 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y NUTRICIONAL DEL PRODUCTO DESHIDRATADO

Se evaluaron los siguientes parámetros de respuesta en el producto deshidratado: carotenos, compuestos fenólicos solubles totales, vitamina C, contenido de minerales (calcio, hierro, potasio y sodio) presentes en la base deshidratada de taxo y pH.

#### 3.5.1 CONTENIDO DE B-CAROTENOS

Se evaluó el contenido de  $\beta$ -carotenos en el producto en polvo en base a las dos variables experimentales aplicadas, como se observa en la Tabla 3.13.

**Tabla 3.13** Concentración de  $\beta$ -caroteno al variar el flujo de alimentación (mL/min) y el porcentaje de maltodextrina

TRATAMIENTOS	FLUJO (mL/min)	MALTODEXTRINA (%)	$\beta$ -CAROTENOS (mg/100g)
1	10	3	10,58 $\pm$ 1,13
2	10	7	9,49 $\pm$ 0,90
3	12	3	12,14 $\pm$ 0,67
4	12	7	10,18 $\pm$ 1,02

$\bar{x} \pm s$ , (n=2)

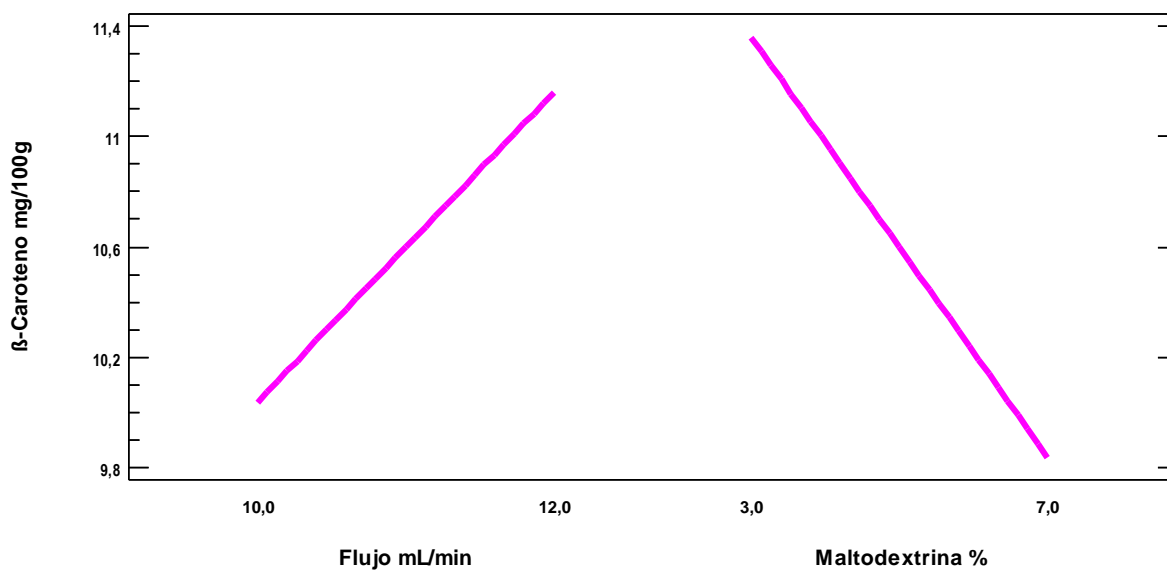
Se empleó un diseño experimental  $2^2$  para analizar el proceso y con la ayuda del programa Statgraphics Centurion XVI.I, se obtuvieron los siguientes resultados que se presentan en la Tabla 3.14

**Tabla 3.14** Análisis de varianza para la concentración de  $\beta$ -caroteno al variar el flujo de alimentación (mL/min) y el porcentaje de maltodextrina

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	RAZÓN-F	VALOR-P
<b>A:Flujo</b>	2,53125	2,53125	65,44	0,0039
<b>B:Maltodextrina</b>	4,65125	4,65125	120,24	0,0016
<b>AB</b>	0,3698	0,3698	9,56	0,0536
<b>Error total</b>	0,11605	0,0386833		

Se observa que existe un efecto significativo, con un nivel de confianza del 95%, de las dos variables del proceso flujo de entrada y cantidad de maltodextrina sobre la variable dependiente (concentración de  $\beta$ -caroteno).

La variación en los niveles experimentales influyó sobre la concentración de  $\beta$ -carotenos, como se muestra en la Figura 3.6. Mientras mayor sea la pendiente de la línea recta, el efecto de las variables es más significativo, es por esto que las mejores condiciones se obtuvieron a un flujo de 12 mL/min y con adición de 3 % de maltodextrina.



**Figura 3.6** Gráfico de efectos principales para concentración de β-caroteno en la base deshidratada de taxo versus flujo de entrada (mL/min) y porcentaje de maltodextrina

### 3.5.2 COMPUESTOS FENÓLICOS SOLUBLES

La cuantificación de compuestos fenólicos solubles fue otro factor de análisis en las muestras obtenidas a diferentes niveles experimentales. En la Tabla 3.15 se indican los tratamientos aplicados y sus respectivos resultados.

**Tabla 3.15** Concentración de compuestos fenólicos solubles totales obtenidos a dos niveles experimentales de flujo de entrada mL/min y porcentaje de maltodextrina

TRATAMIENTOS	FLUJO (mL/min)	MALTODEXTRINA (%)	COMPUESTOS FENÓLICOS SOLUBLES TOTALES (mg AG/100g de polvo)
1	10	3	3 422,52 ± 291,49
2	10	7	1 186,24 ± 43,22
3	12	3	4 121,47 ± 7,25
4	12	7	3 542,80 ± 68,90

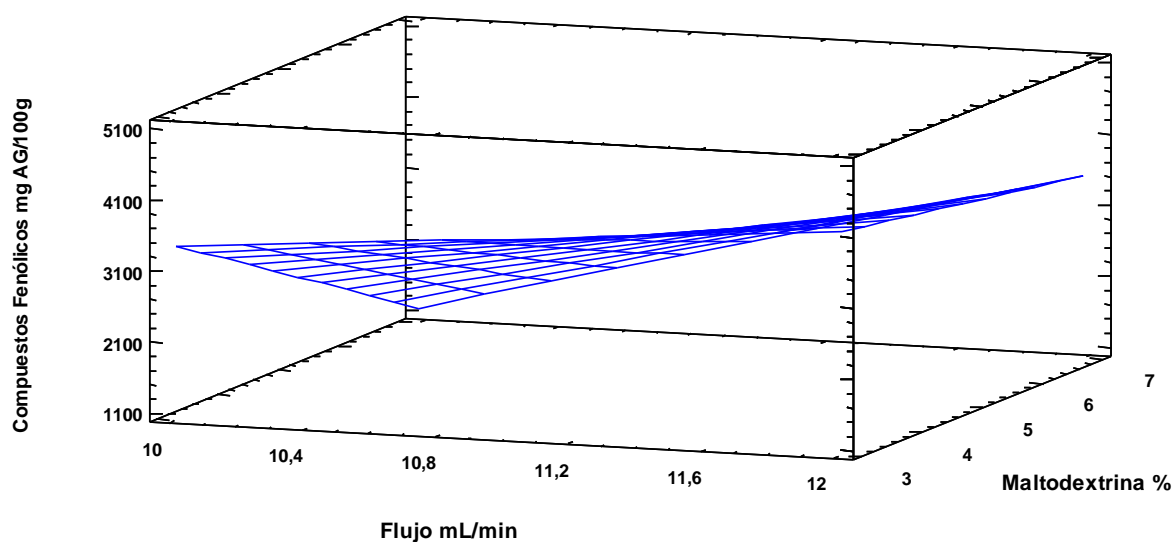
$\bar{x} \pm s$ , (n=2)

Con los datos obtenidos en la Tabla 3.15 se procedió a realizar un análisis estadístico que permitió examinar los casos experimentales, a continuación en la Tabla 3.16 se visualizan los resultados logrados con el ANOVA en el cual las dos variables tienen un  $P < 0.05$ : el flujo y la maltodextrina; es decir, tienen diferencia estadísticamente significativa sobre la concentración de compuestos polifenólicos solubles.

**Tabla 3.16** Análisis de varianza para concentración de compuestos fenólicos solubles totales a dos niveles experimentales de flujo de entrada mL/min y porcentaje de maltodextrina

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	RAZÓN-F	VALOR-P
A:Flujo	4,67E+06	4,67E+06	283,39	0,0005
B:Maltodextrina	3,96E+06	3,96E+06	240,53	0,0006
AB	1,37E+06	1,37E+06	83,32	0,0028
Error total	49432,6	16477,5		

La Figura 3.7 indica el efecto de los niveles de las variables experimentales sobre la superficie de respuesta estimada para concentración de compuestos fenólicos solubles totales, con ello se tiene que las mejores condiciones para este caso experimental es a un flujo de 12 mL/min y con adición de 3 % de maltodextrina.



**Figura 3.7** Superficie de respuesta estimada para concentración de compuestos fenólicos solubles totales (mg AG/100g) versus flujo mL/min y porcentaje de maltodextrina

Estudios realizados en taxo (Zapata et al., 2014) reportaron un contenido de compuestos fenólicos de 6 945,3 mg de AG / 100 g muestra en polvo, al comparar con los resultados obtenidos en la base deshidratada de taxo que fue de 4 121,47 mg de AG/100 g muestra en polvo, se observa una menor concentración, cuya diferencia se puede atribuir a la variedad de la fruta e incluso al diferente grado de madurez que pudieron ser usados para los estudios. Las condiciones de procesamiento pueden afectar el contenido de las muestras (p. 81).

### 3.5.3 CONCENTRACIÓN DE VITAMINA C EN LA BASE DESHIDRATADA DE TAXO

La Tabla 3.17 muestra los resultados obtenidos para la concentración de vitamina C en base a dos niveles de flujo de entrada y cantidad de maltodextrina aplicados para la obtención de la base deshidratada de taxo.

**Tabla 3.17** Concentración de vitamina C en cada tratamiento experimental a dos niveles de flujo de entrada y porcentaje de maltodextrina

TRATAMIENTOS	FLUJO (mL/min)	MALTODEXTRINA (%)	VTAMINA C (mg/100g)
1	10	3	437,19 ± 1,66
2	10	7	422,93 ± 6,67
3	12	3	339,71 ± 26,11
4	12	7	325,45 ± 31,12

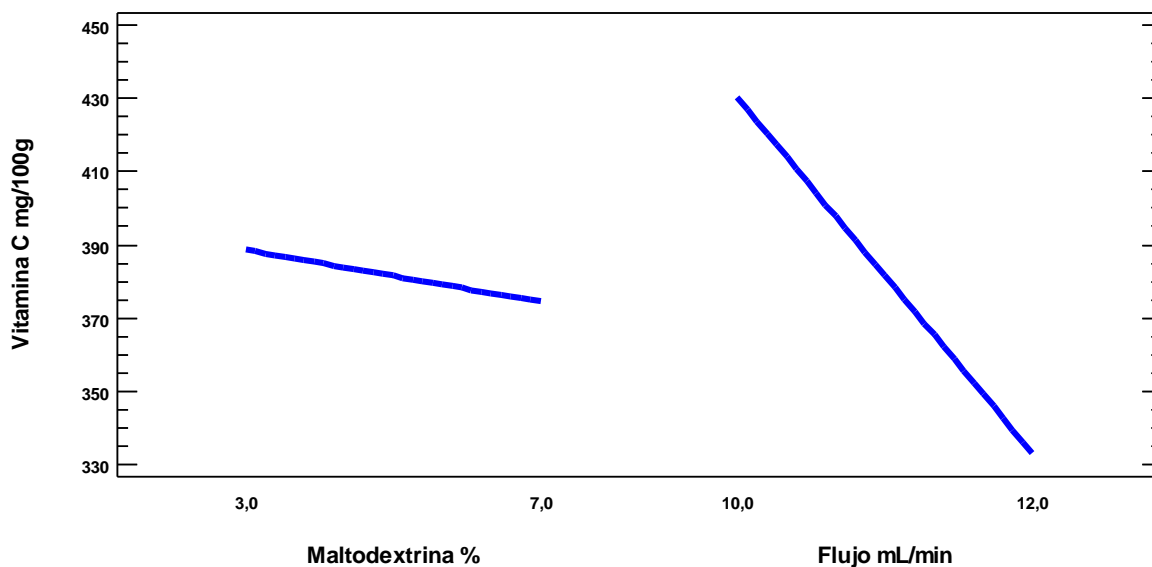
$\bar{x} \pm s$ , (n=2)

Los datos presentados fueron examinados por medio de un análisis de experimentos y con ayuda del programa Statgraphics Centurion XVI.I, se realizó el análisis de varianza (ANOVA), el cual muestra que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de la variable flujo de alimentación con un nivel de confianza del 95 %, como se indica en la Tabla 3.18.

**Tabla 3.18** Análisis de varianza para concentración de vitamina C a dos niveles de flujo de entrada y porcentaje de maltodextrina

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	RAZÓN-F	VALOR-P
A:Maltodextrina	406,695	406,695	1,96	0,2561
B:Flujo	19004,7	19004,7	91,52	0,0024
AB	0	0	0	1
Error total	622,951	207,65		

En la Figura 3.8 se puede observar que el flujo de alimentación influye significativamente en el contenido de vitamina C. La variación de la concentración de vitamina C disminuye conforme aumenta el flujo de alimentación.



**Figura 3.8** Gráfico de efectos principales para concentración de vitamina C versus flujo de entrada (mL/min) y porcentaje de maltodextrina

### 3.5.4 CUANTIFICACIÓN DE MINERALES

Se realizó la cuantificación de minerales como: calcio, hierro, potasio y sodio en la base deshidratada de taxo a diferentes tratamientos, para analizar el efecto de las variables sobre el proceso de obtención del producto.

La Tabla 3.19 muestra los resultados que se obtuvieron para la variable dependiente contenido de calcio en base a los factores aplicados de flujo de alimentación y porcentaje de maltodextrina.

**Tabla 3.19** Concentración de calcio en cada tratamiento experimental a dos niveles de flujo de entrada (mL/min) y porcentaje de maltodextrina

TRATAMIENTOS	FLUJO (mL/min)	MALTODEXTRINA (%)	CALCIO (mg/100g)
1	10	3	16,40 ± 3,11
2	10	7	14,25 ± 0,49
3	12	3	16,65 ± 0,64
4	12	7	20,35 ± 0,78

$\bar{x} \pm s$ , (n=2)

En la Tabla 3.20 el análisis de varianza de una sola vía muestra 3 valores  $P > 0,05$  Tanto el flujo de alimentación como el % de maltodextrina y sus interacciones no influyen significativamente sobre el contenido de calcio.

**Tabla 3.20** Análisis de varianza para concentración de calcio a dos niveles de flujo de entrada (mL/min) y porcentaje de maltodextrina

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	RAZÓN-F	VALOR-P
A:Flujo	20,1612	20,1612	8,15	0,0649
B:Maltodextrina	1,20125	1,20125	0,49	0,5361
AB	17,1113	17,1113	6,91	0,0784
Error total	7,42375	2,47458		

El hierro también fue analizado para cada tratamiento experimental en la base deshidratada de taxo, la Tabla 3.21 indica los datos obtenidos para este estudio.

**Tabla 3.21** Concentración de hierro en cada tratamiento experimental a dos niveles de flujo de entrada (mL/min) y porcentaje de maltodextrina

TRATAMIENTOS	FLUJO (mL/min)	MALTODEXTRINA (%)	HIERRO (mg/100g)
1	10	3	4,80 ± 0,28
2	10	7	4,10 ± 0,57
3	12	3	3,30 ± 0,42
4	12	7	4,70 ± 0,00

$\bar{x} \pm s$ , (n=2)

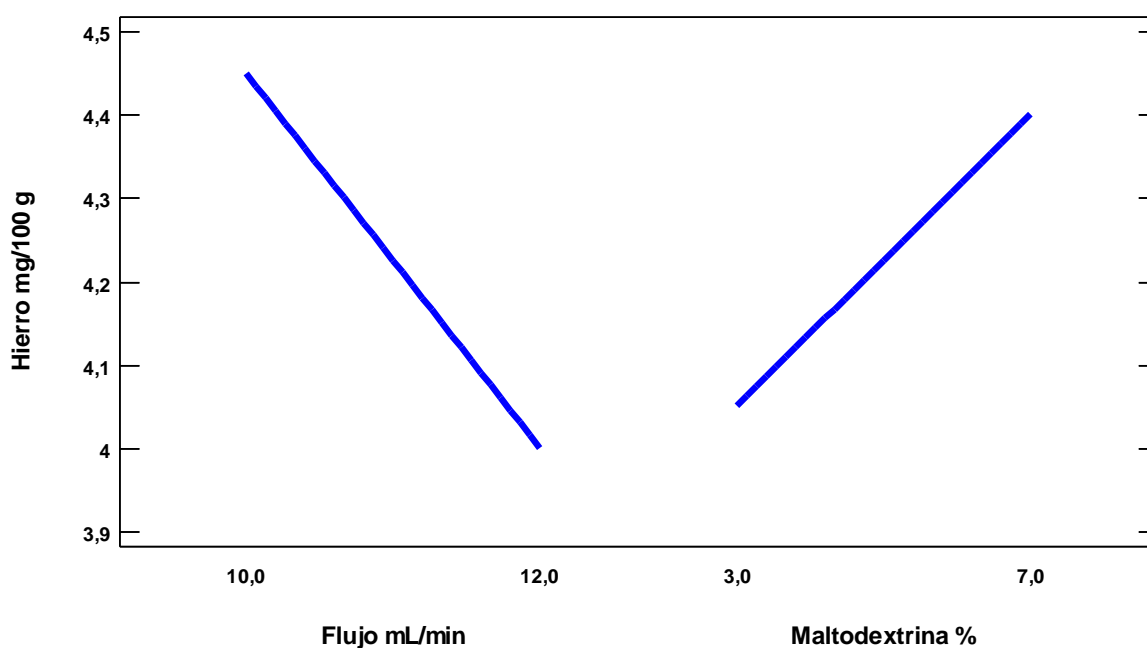
En la Tabla 3.22 se observa el ANOVA el cual muestra un valor  $P < 0,05$  esto indica que tiene un efecto estadísticamente significativo, es decir que la interacción del flujo de entrada y la maltodextrina adicionada influyen sobre la cantidad de hierro en el producto.

**Tabla 3.22** Análisis de varianza para concentración de hierro experimental a dos niveles de flujo de entrada (mL/min) y porcentaje de maltodextrina

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	RAZÓN-F	VALOR-P
A:Flujo	0,405	0,405	6,94	0,078
B:Maltodextrina	0,245	0,245	4,2	0,1328
AB	2,205	2,205	37,8	0,0087
Error total	0,175	0,0583		

La Figura 3.9 indica que a un flujo de entrada de 10 mL/min y a un 7 % de maltodextrina se obtiene mayor cantidad de hierro en el producto.





**Figura 3.9** Gráfico de efectos principales para concentración de hierro versus flujo de entrada (mL/min) y porcentaje de maltodextrina

La Tabla 3.23 indica los resultados que se obtuvieron para el contenido de potasio en cada tratamiento que se aplicó durante la experimentación.

**Tabla 3.23** Concentración de potasio en cada tratamiento experimental a dos niveles de flujo de entrada (mL/min) y porcentaje de maltodextrina

TRATAMIENTOS	FLUJO (mL/min)	MALTODEXTRINA (%)	POTASIO (mg/100g)
1	10	3	1 906,20 ± 24,32
2	10	7	2 387,45 ± 17,04
3	12	3	1 330,60 ± 24,47
4	12	7	1 756,05 ± 4,17

$\bar{x} \pm s$ , (n=2)

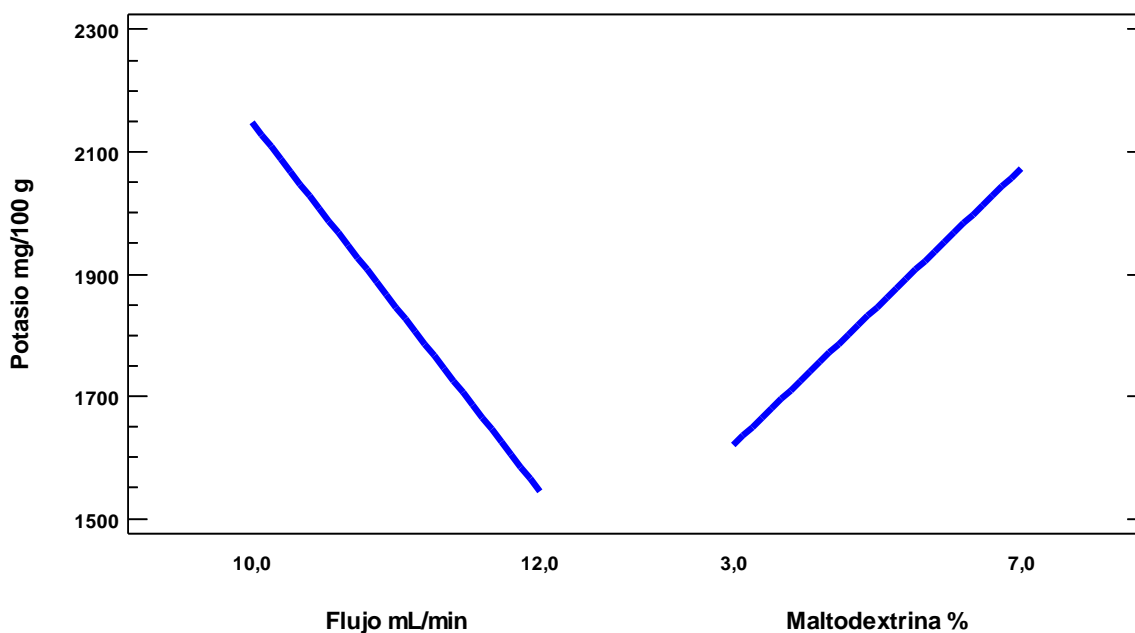
Con los datos obtenidos en la Tabla 3.23 se realizó un análisis de varianza de una sola vía (ANOVA) como se muestra en la Tabla 3.24. Se observó un efecto estadísticamente significativa del flujo de entrada, cantidad de maltodextrina y para sus interacciones, con un valor  $P < 0,05$ . La concentración de potasio en el

producto va a depender por lo menos de un nivel de cada factor para producir distintos efectos.

**Tabla 3.24** Análisis de varianza para concentración de potasio a dos niveles de flujo de entrada (mL/min) y porcentaje de maltodextrina

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	RAZÓN-F	VALOR-P
A:Flujo	728425	728425	8006,28	0
B:Maltodextrina	411052	411052	4517,97	0
AB	1556,82	1556,82	17,11	0,0256
Error total	272,945	90,9817		

En la Figura 3.10 se puede observar que los niveles que mejor respuesta presentaron en cuanto a concentración de potasio fueron a un flujo de entrada de 10 mL/min y 7 % de maltodextrina.



**Figura 3.10** Gráfico de efectos principales para concentración de potasio versus flujo de entrada (mL/min) y porcentaje de maltodextrina

En cuanto a la concentración de sodio, la Tabla 3.25 muestra los resultados obtenidos para cada tratamiento experimental.

**Tabla 3.25** Concentración de sodio en cada tratamiento experimental a dos niveles de flujo de entrada (mL/min) y porcentaje de maltodextrina

TRATAMIENTOS	FLUJO mL/min	MALTODEXTRINA %	SODIO mg/100g
1	10	3	8,15 ± 0,07
2	10	7	6,50 ± 0,28
3	12	3	40,20 ± 3,82
4	12	7	31,35 ± 3,46

$\bar{x} \pm s$ , (n=2)

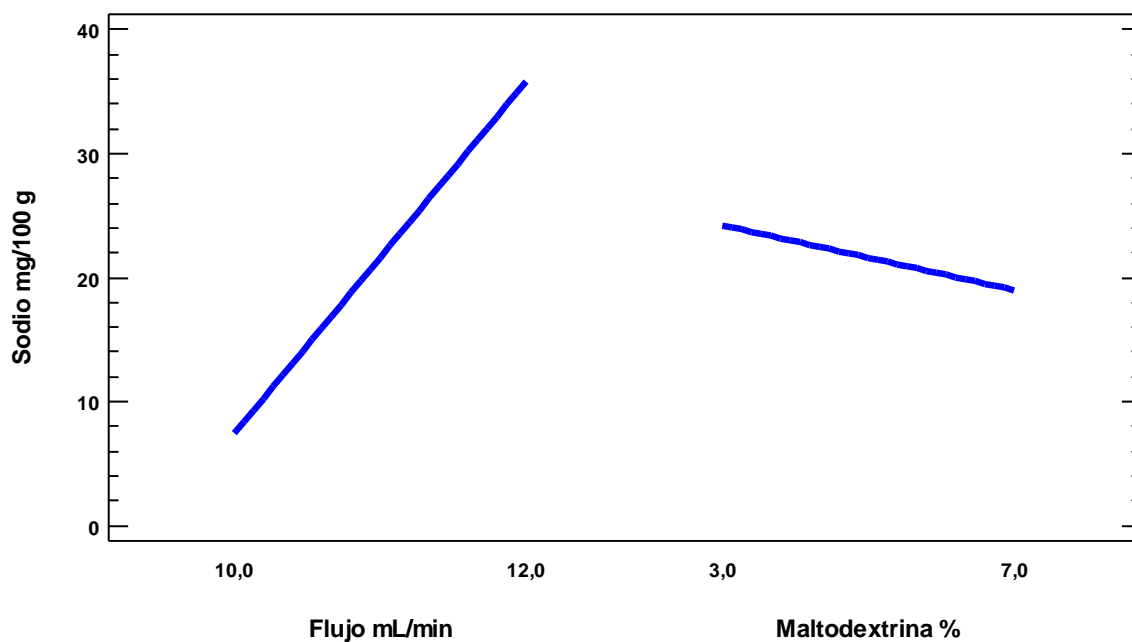
En la Tabla 3.26 se presentan los datos del ANOVA para la concentración de sodio durante la experimentación, en donde se identificaron dos valores  $P < 0,05$ . Tanto el flujo como el porcentaje de maltodextrina que se adicionó al producto influyeron sobre la variable dependiente (concentración de sodio).

**Tabla 3.26** Análisis de varianza para concentración de sodio a dos niveles de flujo de entrada (mL/min) y porcentaje de maltodextrina

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	RAZÓN-F	VALOR-P
A:Flujo	1618,81	1618,81	342,73	0,0003
B:Maltodextrina	55,125	55,125	11,67	0,042
AB	25,92	25,92	5,49	0,101
Error total	14,17	4,72333		

La Figura 3.11 muestra los niveles tanto de flujo de entrada como el porcentaje de maltodextrina que influyeron sobre la concentración de sodio, así se puede observar que a 12 mL/min y con la adición de un 3 % de maltodextrina se obtuvo la mayor concentración de este analito, que fue de  $40,20 \pm 3,82$  mg/100g.

Los resultados obtenidos para este caso experimental muestran que los dos factores y sus niveles ejercen efecto sobre la concentración de Na, K y Fe, pero para la concentración de calcio no se presentó un efecto significativo de los factores en estudio.



**Figura 3.11** Gráfico de efectos principales para concentración de sodio versus flujo de entrada (mL/min) y porcentaje de maltodextrina

### 3.5.5 CUANTIFICACIÓN DE PH

Como variable de respuesta en la obtención de la base deshidratada de taxo se cuantificó el pH como otro parámetro de análisis y se obtuvieron los siguientes resultados, puntualizados en la Tabla 3.27.

**Tabla 3.27** Cuantificación de pH en cada tratamiento experimental a dos niveles de flujo de entrada (mL/min) y porcentaje de maltodextrina

TRATAMIENTOS	FLUJO ( mL/min)	MALTODEXTRINA (%)	pH
1	10	3	3,15 ± 0,07
2	10	7	3,15 ± 0,07
3	12	3	3,05 ± 0,07
4	12	7	3,05 ± 0,07

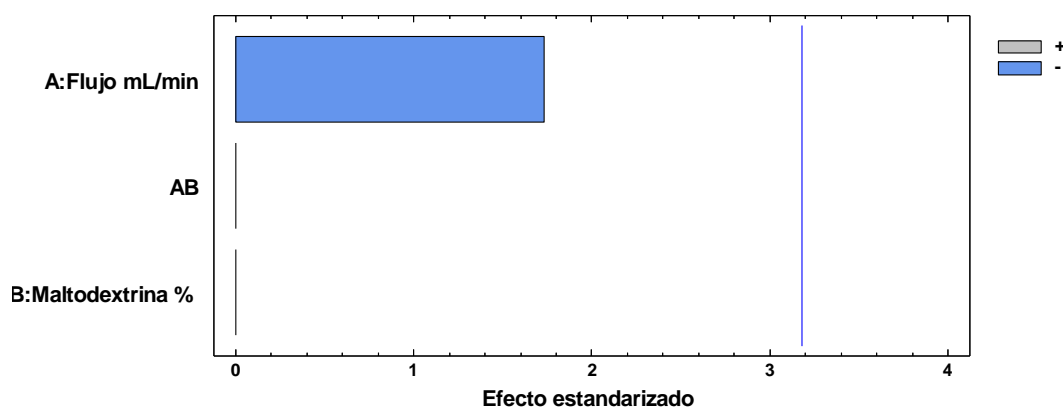
$\bar{x} \pm s, (n=2)$

El análisis estadístico de una sola vía (ANOVA) no muestra efecto estadísticamente significativo con  $p > 0,05$  para los factores analizados, como se observa en la Tabla 3.28

**Tabla 3.28** Análisis de varianza para cuantificación de pH a dos niveles de flujo de entrada (mL/min) y porcentaje de maltodextrina

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	RAZÓN-F	VALOR-P
A:Flujo	0,02	0,02	3	0,1817
B:Maltodextrina	0	0	0	1
AB	0	0	0	1
Error total	0,02	0,00666667		

La Figura 3.12 muestra el diagrama de Pareto para la variable dependiente pH en cuanto al efecto de los factores y sus niveles, como se puede observar, el flujo de alimentación y la cantidad de maltodextrina no influyeron en la cuantificación de pH para ninguno de los tratamientos en estudio.



**Figura 3.12** Diagrama de Pareto para pH a dos niveles de flujo de entrada (mL/min) y porcentaje de maltodextrina

### 3.6 ANÁLISIS SENSORIAL

Para el análisis sensorial primeramente se eligieron los tratamientos que presentaron las mejores condiciones en cuanto a cantidad de  $\beta$ -Caroteno y

compuestos fenólicos, como muestra la Tabla 3.29; además se indican las codificaciones que se les atribuyó a cada muestra para el respectivo estudio.

**Tabla 3.29** Tratamientos elegidos y codificaciones para el análisis sensorial

TRATAMIENTOS	CODIFICACIÓN	FLUJO (mL/min)	MALTODEXTRINA (%)
1	324	12	3
2	517	12	7

En las muestras se evaluaron los siguientes aspectos: apariencia, color amarillo, aroma a taxo, sabor a taxo y presencia de sabores extraños; con los resultados obtenidos se procedió a realizar un análisis de varianza con la ayuda del programa Statgraphics Centurion XVI.I.

Las Tablas 3.30 y 3.31 muestran que no existió una diferencia estadísticamente significativa entre la media de apariencia y sabores extraños entre un nivel de maltodextrina y otro, con un nivel de confianza del 95 %.

**Tabla 3.30** Análisis de varianza para el atributo apariencia a 3 y 7% de maltodextrina

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	RAZON P	VALOR P
Entre grupos	1,44	1,44	16,94	0,0543
Intra grupos	0,17	0,085		

**Tabla 3.31** Análisis de varianza para el atributo sabores extraños a 3 y 7% de maltodextrina

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	RAZON P	VALOR P
Entre grupos	0,1225	0,1225	9,8	0,0887
Intra grupos	0,025	0,0125		

Para los atributos aroma a taxo, color amarillo y sabor a taxo en la base deshidratada, se puede observar en las Tablas 3.32; 3.33; 3.34 que presentaron una diferencia estadísticamente significativa ya que se identificó un valor de

$P < 0,05$  entre las medias de todos los atributos antes mencionados, es decir que los niveles de maltodextrina influyen sobre estas propiedades.

**Tabla 3.32** Análisis de varianza para el atributo aroma a taxo a 3 y 7% de maltodextrina

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	RAZÓN-F	VALOR-P
Entre grupos	7,29	7,29	91,12	0,0108
Intra grupos	0,16	0,08		

En la Figura 3.13 se puede observar que los niveles aplicados de maltodextrina influyen sobre el atributo aroma a taxo, así se consiguió, que a un porcentaje de 3 % de maltodextrina se obtuvo una mejor calificación por parte de los panelistas

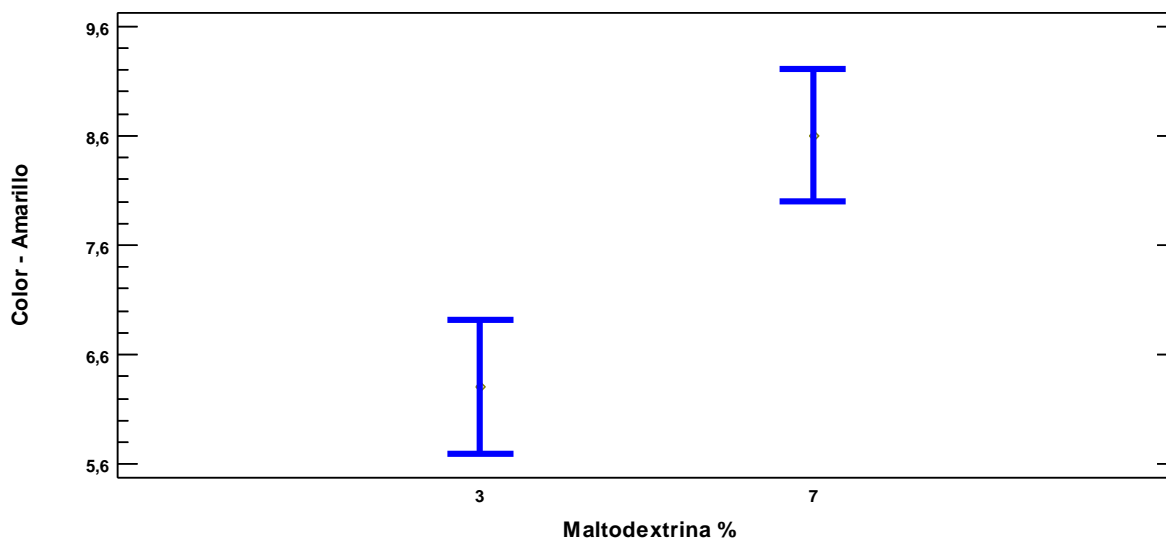


**Figura 3.13** Gráfico de medias (LSD,  $\alpha=0,05$ ) para el atributo aroma a taxo versus porcentaje de maltodextrina

**Tabla 3.33** Análisis de Varianza para el atributo color a 3 y 7% de maltodextrina

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	RAZON F	VALOR P
Entre grupos	5,29	5,29	66,12	0,0148
Intra grupos	0,16	0,08		

En cuanto al color, se obtuvieron las mejores calificaciones con la muestra que contuvo un 7 % de maltodextrina, como se observa en la Figura 3.14



**Figura 3.14** Gráfico de medias (LSD,  $\alpha=0,05$ ) para el atributo color versus porcentaje de maltodextrina

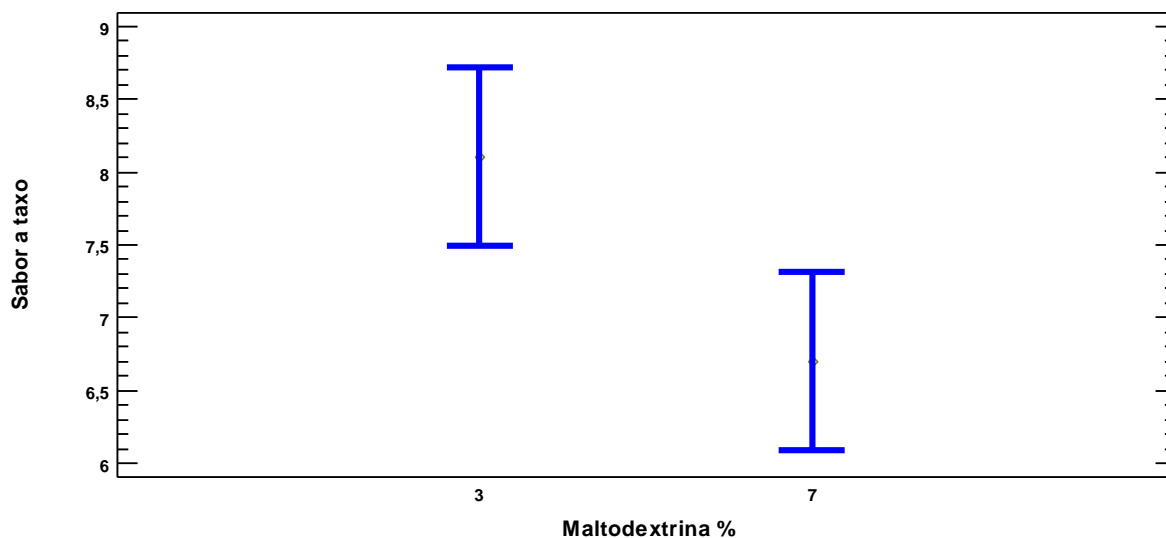
**Tabla 3.34** Análisis de Varianza para el atributo sabor a taxo a 3 y 7% de maltodextrina

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	RAZONF	VALOR P
Entre grupos	1,96	1,96	24,5	0,0385
Intra grupos	0,16	0,08		

La Figura 3.15 muestra los resultados obtenidos para el atributo sabor a taxo, como se observa la que mejor calificación que se obtuvo para este parámetro fue para la muestra correspondiente al 3 % de maltodextrina.

Las Tablas 3.32; 3.33; 3.34 indican que existe una diferencia estadísticamente significativa para los atributos aroma a taxo, color y sabor a taxo al aplicar dos niveles de porcentaje de maltodextrina.





**Figura 3.15** Gráfico de medias (LSD,  $\alpha=0,05$ ) para el atributo sabor a taxo versus el porcentaje de maltodextrina

Con los resultados obtenidos a través del análisis de varianza y de los gráficos derivados del procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) se concluye que la muestra que contiene el 3 % de maltodextrina a un flujo de entrada de 12 mL/min, posee los mejores atributos de acuerdo a las calificaciones obtenidas por los panelistas.

### 3.7 ESTUDIO DE ESTABILIDAD

Para este caso se estudió el efecto de dos tipos de empaques, un trilaminado de polietileno y aluminio (LDPE/FOIL/LDPE) y un polipropileno biorientado transparente (BOPP) los cuales deben cumplir con los requerimientos de protección para el producto. Se analizó a tres niveles de prueba cada uno, tanto para temperatura (8 °C; 18 °C y 40 °C) y días (0; 15; 30 y 45).

Se cuantificaron periódicamente los siguientes parámetros de respuesta:  $\beta$ -caroteno, compuestos fenólicos solubles totales, vitamina C, humedad e índice de solubilidad ISA (%).

### 3.7.1 CONTENIDO DE B-CAROTENOS EN EL EMPAQUE LDPE/FOIL/ LDPE Y BOPP

Se analizó la concentración de  $\beta$ -carotenos en la estabilidad del producto en un empaque LDPE/FOIL/LDPE, en base a los factores experimentales durante el proceso y a sus respectivos niveles de prueba, como se puede observar en la Tabla 3.35.

**Tabla 3.35** Concentración de  $\beta$ -caroteno en empaque LDPE/FOIL/LDPE para cada tratamiento experimental

TRATAMIENTOS	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (días)	$\beta$ -CAROTENOS (mg/100g)
1	8	15	9,30 $\pm$ 0,42
2	8	30	11,66 $\pm$ 0,71
3	8	45	10,72 $\pm$ 1,01
4	18	15	8,46 $\pm$ 0,47
5	18	30	7,96 $\pm$ 0,10
6	18	45	8,36 $\pm$ 0,22
7	40	15	5,78 $\pm$ 0,02
8	40	30	5,47 $\pm$ 0,17
9	40	45	3,27 $\pm$ 1,75

$\bar{x} \pm s$ , (n=2)

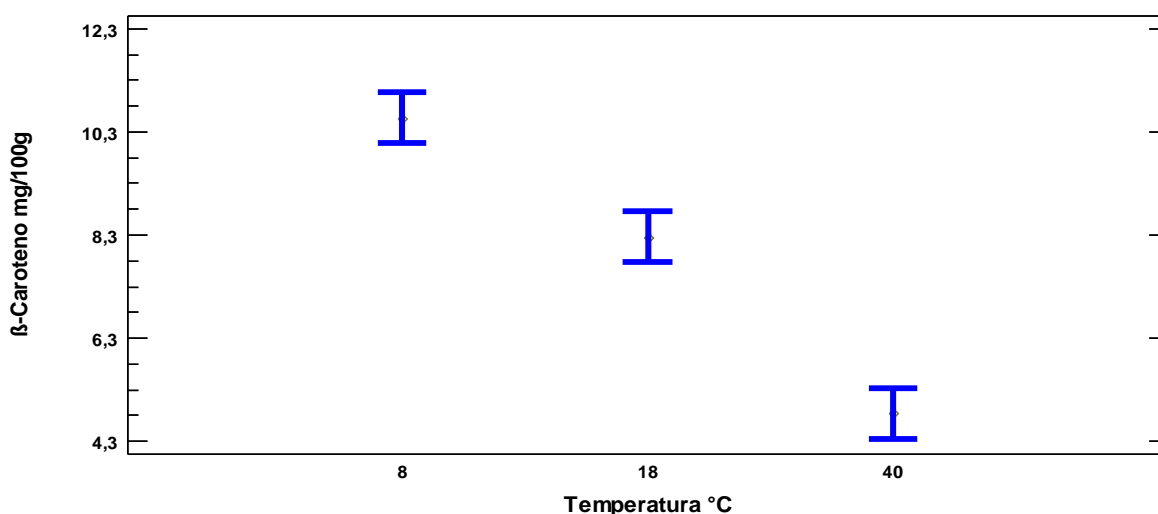
Para analizar la concentración de  $\beta$ -caroteno en las muestras se procedió a realizar un análisis de varianza y con la ayuda del programa Statgraphics Centurion XVI.I se obtuvieron los siguientes resultados que se muestran en la Tabla 3.36.

**Tabla 3.36** Análisis de varianza para concentración de  $\beta$ -caroteno en empaque LDPE/FOIL/LDPE a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	RAZON F	VALOR P
<b>Efectos Principales</b>				
A: Temperatura	99,3487	49,6743	87,76	0
B: Dias	2,51614	1,25807	2,22	0,1642
<b>Interacciones</b>				
AB	10,8612	2,71529	4,8	0,0239
<b>RESIDUOS</b>	5,09405	0,566006		

El ANOVA que analiza el efecto de la variabilidad de  $\beta$ -Caroteno muestra dos valores-P menor que 0,05, la temperatura y la combinación AB, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre  $\beta$ -Caroteno.

En la Figura 3.16 se observa que el factor temperatura tiene efecto significativo sobre la variable dependiente concentración de  $\beta$ -caroteno; a medida que la temperatura aumenta, disminuye la cantidad de  $\beta$ -carotenos en el tiempo. A una temperatura de 8 °C el producto conserva una cantidad considerable de este analito.



**Figura 3.16** Gráfico de medias (LSD,  $\alpha=0,05$ ) para concentración de  $\beta$ -caroteno en empaque LDPE/FOIL/LDPE a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo

La concentración de  $\beta$ -caroteno también fué analizada para un empaque (BOPP) en las mismas condiciones experimentales que para el empaque LDPE/FOIL/LDPE, la Tabla 3.37 muestra los resultados obtenidos durante el almacenamiento del producto.

**Tabla 3.37** Concentración de  $\beta$ -caroteno en empaque (BOPP) para cada tratamiento experimental

TRATAMIENTOS	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (DÍAS)	$\beta$ -CAROTENOS (mg/100g)
1	8	15	9,84 $\pm$ 0,45
2	8	30	11,83 $\pm$ 0,35
3	8	45	11,74 $\pm$ 0,51
4	18	15	6,89 $\pm$ 0,47
5	18	30	7,25 $\pm$ 1,12
6	18	45	7,98 $\pm$ 0,18
7	40	15	6,02 $\pm$ 0,18
8	40	30	5,34 $\pm$ 0,06
9	40	45	4,32 $\pm$ 0,10

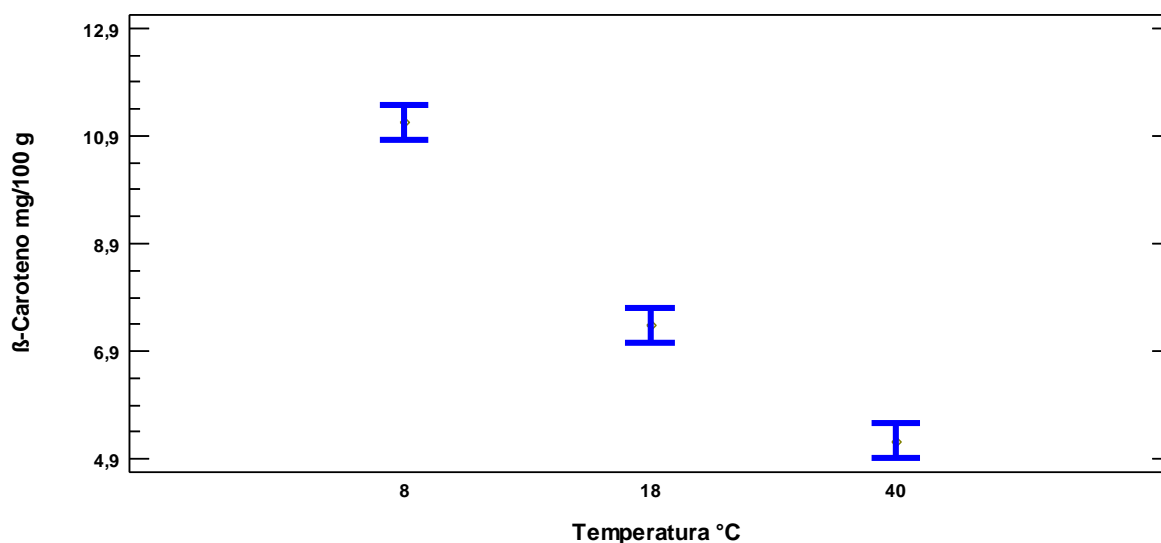
$\bar{x} \pm s$ , (n=2)

Con los datos obtenidos en la Tabla 3.37 se realizó un análisis experimental, la tabla ANOVA indica que 2 valores de P son menores a 0,05 es decir que tanto la temperatura como sus interacciones tienen diferencia estadísticamente significativa sobre la concentración de  $\beta$ -caroteno. La temperatura es un factor que influye sobre la variable dependiente ( $\beta$ -caroteno) durante el tiempo de almacenamiento. La Tabla 3.38 indica el análisis realizado.

**Tabla 3.38** Análisis de varianza para concentración de  $\beta$ -caroteno en empaque (BOPP) a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	RAZON F	VALOR P
<b>Efectos Principales</b>				
A: Temperatura	107,484	53,742	224,65	0,0000
B: Dias	1,02823	0,514117	2,15	0,1726
<b>Interacciones</b>				
AB	8,17033	2,04258	8,54	0,0039
<b>Residuos</b>	2,153	0,239222		

La Figura 3.17 muestra el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher el cual es un método actual que discrimina entre las medias, así se obtuvo que a una temperatura de 8 °C la concentración de  $\beta$ -carotenos se encuentra en mayor cantidad que a una temperatura de 40 °C donde se visualiza que los  $\beta$ -carotenos se degradan durante el almacenamiento por la temperatura.



**Figura 3.17** Gráfico de medias (LSD,  $\alpha=0,05$ ) para concentración de  $\beta$ -carotenos en empaque BOPP a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo

Tanto la temperatura como la interacción de las dos variables tiempo y temperatura influyen significativamente sobre la concentración de  $\beta$ -carotenos durante el almacenamiento, esto se evidencia en los dos materiales de empaque estudiados, pero mayor protección se obtuvo con el material de empaque

LDPE/FOIL/LDPE; ya que al comparar las Tablas 3.35 y 3.37 a temperatura de 8 °C se tiene menos pérdida de este analito.

### 3.7.2 COMPUESTOS FENÓLICOS SOLUBLES EN EL EMPAQUE LDPE/FOIL/LDPE Y BOPP

Durante el estudio de estabilidad, se cuantificaron también los polifenoles solubles durante el tiempo de almacenamiento, y los resultados se reportan en la Tabla 3.39.

**Tabla 3.39** Concentración de compuestos fenólicos solubles totales obtenidos en cada tratamiento experimental para el empaque LDPE/FOIL/LDPE a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo

TRATAMIENTOS	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (días)	POLIFENOLES (mg AG/100g)
1	8	15	4 102,92 ± 33,59
2	8	30	3 956,30 ± 24,40
3	8	45	3 898,29 ± 149,72
4	18	15	2 635,12 ± 34,58
5	18	30	2 492,98 ± 25,55
6	18	45	2 410,69 ± 8,40
7	40	15	1 761,45 ± 136,97
8	40	30	1 674,74 ± 17,88
9	40	45	1 492,54 ± 17,96

$\bar{x} \pm s$ , (n=2)

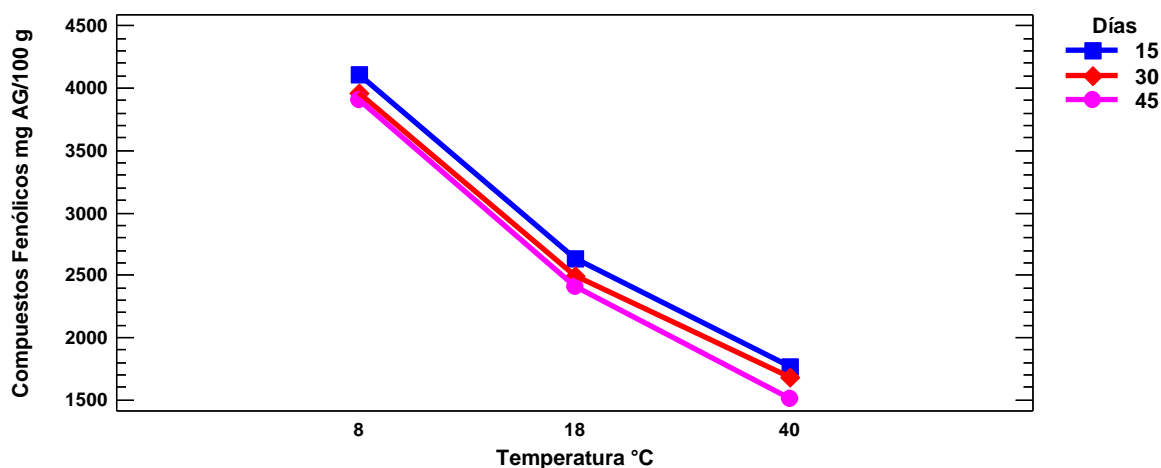
Se aplicó un análisis de experimentos 3<sup>2</sup> para analizar el efecto que causa la variabilidad de los factores sobre la concentración de compuestos fenólicos solubles, en el almacenamiento del producto en un empaque LDPE/FOIL/LDPE, en la Tabla 3.40 se puede observar que existe una diferencia estadísticamente

significativa entre las medias de los 2 factores experimentales con un nivel de confianza del 95 %.

**Tabla 3.40** Análisis de varianza para Concentración de compuestos fenólicos solubles totales para empaque LDPE/FOIL/LDPE a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	RAZÓN-F	VALOR-P
<b>Efectos Principales</b>				
A:Temperatura	1,68E+07	8,39E+06	1 660,75	0,0000
B:Días	157011	78 505,4	15,54	0,0012
<b>Interacciones</b>				
AB	6 970,68	1 742,67	0,35	0,8411
<b>Residuos</b>	45459,4	5051,04		

La Figura 3.18 muestra la variabilidad en la concentración de compuestos fenólicos al aumentar la temperatura durante la estabilidad del producto, mientras mayor es la temperatura la cantidad de compuestos fenólicos disminuye en el tiempo.



**Figura 3.18** Gráfico de interacciones para concentración de compuestos fenólicos solubles totales para el empaque LDPE/FOIL/LDPE a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo

Como se observa en la Tabla 3.39 y en la Figura 3.18, la concentración de compuestos fenólicos disminuye considerablemente a una temperatura de 18 °C y

40 °C pero a una temperatura de 8 °C se reporta más estable el producto tanto a 15; 30 y 45 días.

En la Tabla 3.41 se indican los datos obtenidos durante la experimentación para la concentración de compuestos fenólicos solubles en empaque (BOPP) para cada tratamiento.

**Tabla 3.41** Concentración de compuestos fenólicos solubles totales obtenidos en cada tratamiento experimental para el empaque BOPP a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo

TRATAMIENTOS	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (días)	POLIFENOLES (mg AG/100g)
1	8	15	4 163,57 ± 21,14
2	8	30	3 938,18 ± 25,55
3	8	45	3 959,90 ± 44,45
4	18	15	2 448,03 ± 16,53
5	18	30	2 433,73 ± 35,95
6	18	45	2 301,24 ± 31,67
7	40	15	1 795,31 ± 17,56
8	40	30	1 665,93 ± 26,18
9	40	45	1 533,36 ± 34,01

$\bar{x} \pm s, (n=2)$

La Tabla 3.42 muestra el análisis de varianza, el mismo que identificó 3 valores  $P < 0,05$ , estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la concentración de compuestos fenólicos para el almacenamiento en empaque BOPP.



**Tabla 3.42** Análisis de varianza para concentración de compuestos fenólicos solubles totales para empaque BOPP a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	RAZON F	VALOR P
<b>Efectos Principales</b>				
A:Temperatura	1,75E+07	8,73E+06	10 075,6	0,0000
B:Dias	126 772	63 385,9	73,19	0,0000
<b>Interacciones</b>				
AB	29 891,4	7 472,84	8,63	0,0038
<b>Residuos</b>	7794,44	866,049		

La Tabla 3.43 aplica una forma de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. Se identificaron tres grupos que por su ubicación en diferentes columnas se evidencia que tienen diferencia estadísticamente significativa, es decir que la temperatura provoca variabilidad en el contenido de compuestos fenólicos durante el almacenamiento; es decir que al someter a la base deshidratada a temperatura de almacenamiento de 8 °C; 18 °C y 40 °C se obtendrán cambios significativos en la concentración de compuestos fenólicos.

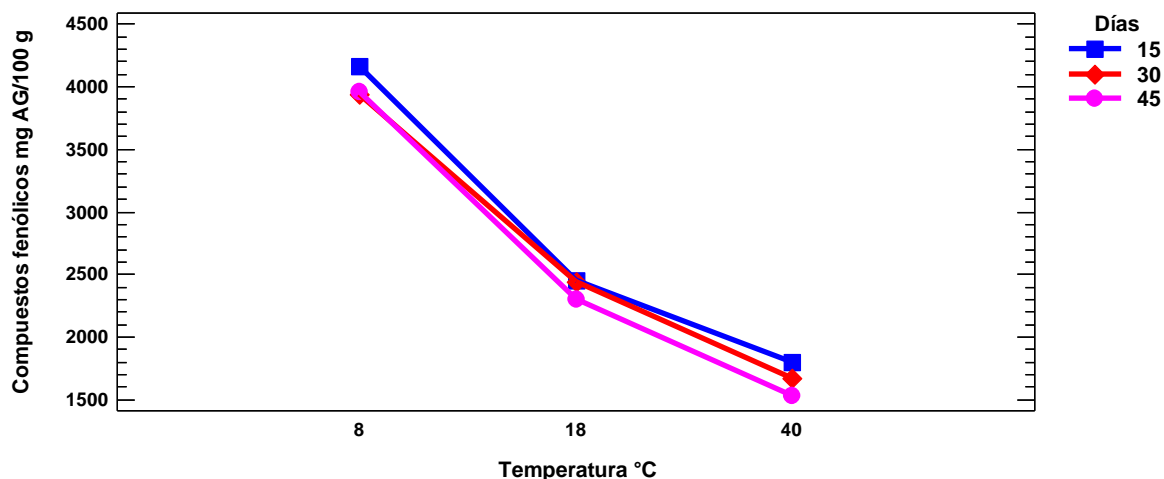
**Tabla 3.43** Pruebas de rangos múltiples para concentración de compuestos fenólicos solubles totales para empaque BOPP a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo

TEMPERATURA	CASOS	MEDIA LS	SIGMA LS	GRUPOS HOMOGÉNEOS		
40 °C	6	1 664,87	12,0142	X		
18 °C	6	2 394,33	12,0142		X	
8 °C	6	4 020,55	12,0142			X
CONTRASTE	SIG.	DIFERENCIA	+/- LÍMITES			
8 -18	*	1 626,22	38,4357			
8 -40	*	2 355,68	38,4357			
18 - 40	*	7 29,463	38,4357			

\* indica una diferencia significativa

La Figura 3.19 muestra el efecto de la temperatura y tiempo sobre la variable dependiente concentración de compuestos fenólicos durante el estudio de

estabilidad, como se observa el mayor porcentaje de degradación para este analito se tiene a una temperatura de 40 °C a 45 días; además a temperatura ambiente (18 °C) a 15; 30 y 45 días se nota una disminución considerable de compuestos fenólicos en comparación con una temperatura de 8 °C.



**Figura 3.19** Gráfico de interacciones para concentración de compuestos fenólicos solubles totales para el empaque BOPP a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo

Con los análisis estadísticos aplicados tanto para un empaque LDPE/FOIL/LDPE y un BOPP se evidenció la degradación de compuestos fenólicos en ambos empaques durante el estudio de estabilidad a temperaturas de 18 y 40 °C en el tiempo, obteniéndose que a una temperatura de 8 °C la concentración del analito se mantuviera estable durante el almacenamiento del producto.

### 3.7.3 CUANTIFICACIÓN DE VITAMINA C EN EL EMPAQUE LDPE/FOIL/LDPE Y BOPP

La vitamina C es otro compuesto de interés en la estabilidad del producto, ya que contribuye en el ámbito nutricional y características de la base deshidratada de taxo. La Tabla 3.44 muestra los tratamientos aplicados para este punto experimental.

**Tabla 3.44** Concentración de vitamina C en cada tratamiento experimental para empaque LDPE/FOIL/LDPE a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo

TRATAMIENTOS	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (DÍAS)	VITAMINA C (mg/100g)
1	8	15	340,41 ± 9,78
2	8	30	283,68 ± 24,25
3	8	45	238,41 ± 17,44
4	18	15	375,18 ± 24,23
5	18	30	284,55 ± 0,83
6	18	45	245,43 ± 3,08
7	40	15	357,34 ± 9,16
8	40	30	185,22 ± 0,64
9	40	45	144,64 ± 8,56

$\bar{x} \pm s$ , (n=2)

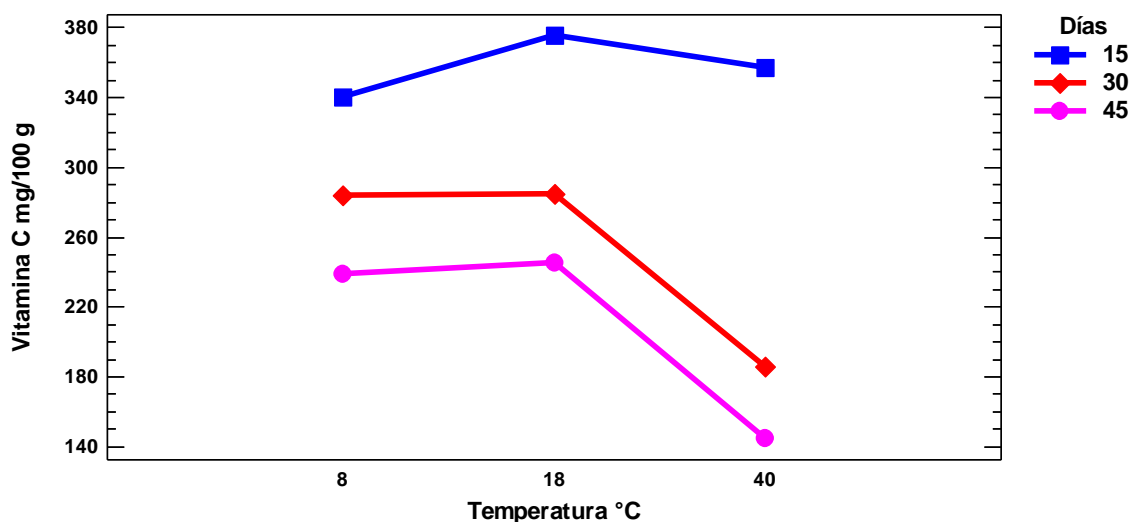
El efecto de la variabilidad de los factores experimentales sobre el contenido de vitamina C se muestra en la Tabla 3.45, en donde por medio de un análisis de varianza se puede observar que existió un efecto estadísticamente significativo de los tres factores.

**Tabla 3.45** Análisis de varianza para concentración de vitamina C en empaque LDPE/FOIL/LDPE a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	RAZON F	VALOR P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>				
<b>A:Temperatura</b>	17 791,2	8 895,61	45,94	0,0000
<b>B:Dias</b>	70 047,4	35 023,7	180,89	0,0000
<b>INTERACCIONES</b>				
<b>AB</b>	9 127,46	2 281,86	11,79	0,0013
<b>Residuos</b>	1742,56	193,618		

Tanto la temperatura como los días y su interacción influyen sobre la concentración de vitamina C, como se muestra en la Figura 3.20, donde a un

tiempo de 15 días y a temperaturas de 8; 18 y 40 °C existe mejor conservación del compuesto de interés, en comparación al tiempo 30 y 45 días a temperaturas de 8; 18 y 40 °C, claro está que a una temperatura de 40 °C y tiempo de 45 días es donde se tiene mayor degradación de este analito.



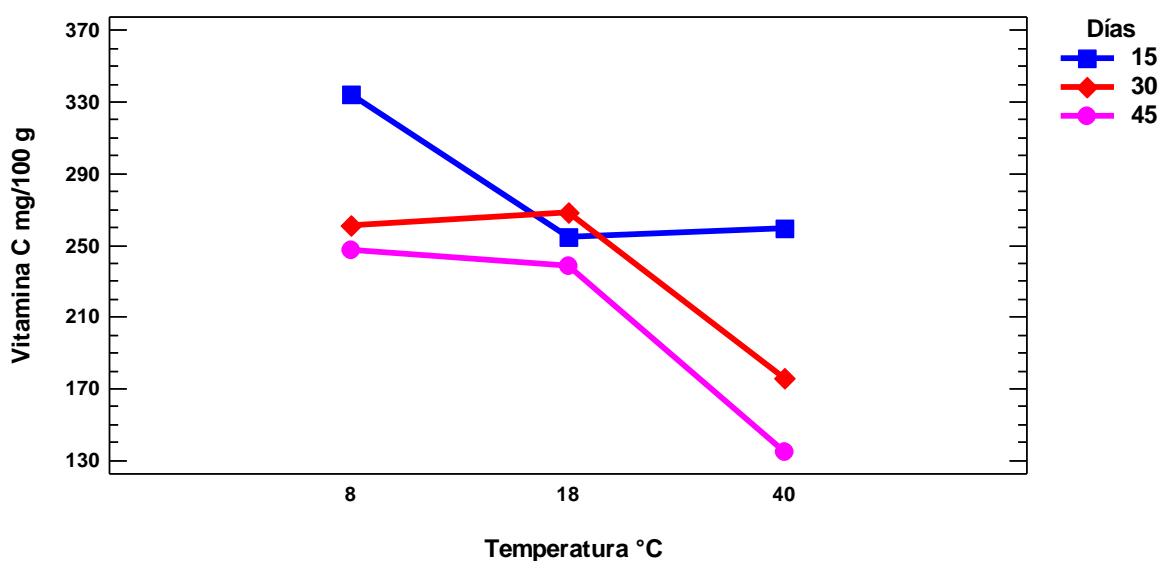
**Figura 3.20** Gráfico de interacciones para concentración de vitamina C en empaque LDPE/FOIL/LDPE a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo

La Tabla 3.46 muestra el efecto que produce la aplicación de variables como el tiempo y la temperatura sobre la concentración de vitamina C durante el almacenamiento de la base deshidratada, para este estudio se aplicó un diseño experimental y con la ayuda del Statgraphics Centurion XVI.I, se obtuvo la tabla ANOVA donde se identifican tres valores de  $P < 0,05$ , los mismos que tienen un efecto estadísticamente significativo para la concentración de vitamina C.

**Tabla 3.46** Análisis de varianza para concentración de vitamina C en empaque BOPP a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	RAZÓN-F	VALOR-P
<b>Efectos Principales</b>				
A:Temperatura	26 094,4	13 047,2	73,93	0,0000
B:Dias	17 791,9	8 895,94	50,41	0,0000
<b>Interacciones</b>				
AB	8 129,27	2 032,32	11,52	0,0014
<b>Residuos</b>	1588,28	176,475		

En la Figura 3.21 se observa la variabilidad que presenta el contenido de vitamina C durante el almacenamiento a diferentes temperaturas, tiempo y material de empaque, obteniéndose que tanto la temperatura como el tiempo y sus interacciones influyen significativamente sobre el parámetro estudiado y se evidencia que al tiempo 45 días y a la temperatura de 40 °C mayor pérdida del analito se presentó; además a temperaturas de 8 y 18 °C también se observa una variabilidad sobre el contenido de vitamina C a 15; 30 y 45 días.



**Figura 3.21** Gráfico de interacciones para concentración de vitamina C en empaque BOPP a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo

El empaque LDPE/FOIL/LDPE fue el que presentó la mayor estabilidad sobre la concentración de vitamina C durante el almacenamiento y a distintas temperaturas, es por esto que se eligió como la mejor opción.

### 3.7.4 PORCENTAJE DE HUMEDAD EN EMPAQUE LDPE/FOIL/LDPE Y BOPP

El porcentaje de humedad fue analizado a temperatura de refrigeración de 8 °C, ambiente 18 °C y 45 °C y por un período de 0, 15, 30, 45 días, y se realizaron dos

repeticiones para cada tratamiento en dos materiales de empaque un LDPE/FOIL/LDPE y un BOPP.

La Tabla 3.47 muestra los resultados obtenidos durante el monitoreo del almacenamiento de la base deshidratada taxo en un material de empaque LDPE/FOIL/LDPE en diferentes temperaturas y tiempos.

**Tabla 3.47** Porcentaje de humedad en cada tratamiento experimental para empaque LDPE/FOIL/LDPE a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo

TRATAMIENTOS	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (días)	HUMEDAD (%)
1	8	15	2,42 ± 0,03
2	8	30	2,60 ± 0,02
3	8	45	2,91 ± 0,02
4	18	15	3,14 ± 0,02
5	18	30	3,69 ± 0,03
6	18	45	3,79 ± 0,02
7	40	15	3,03 ± 0,03
8	40	30	2,89 ± 0,03
9	40	45	2,59 ± 0,01

$\bar{x} \pm s, (n=2)$

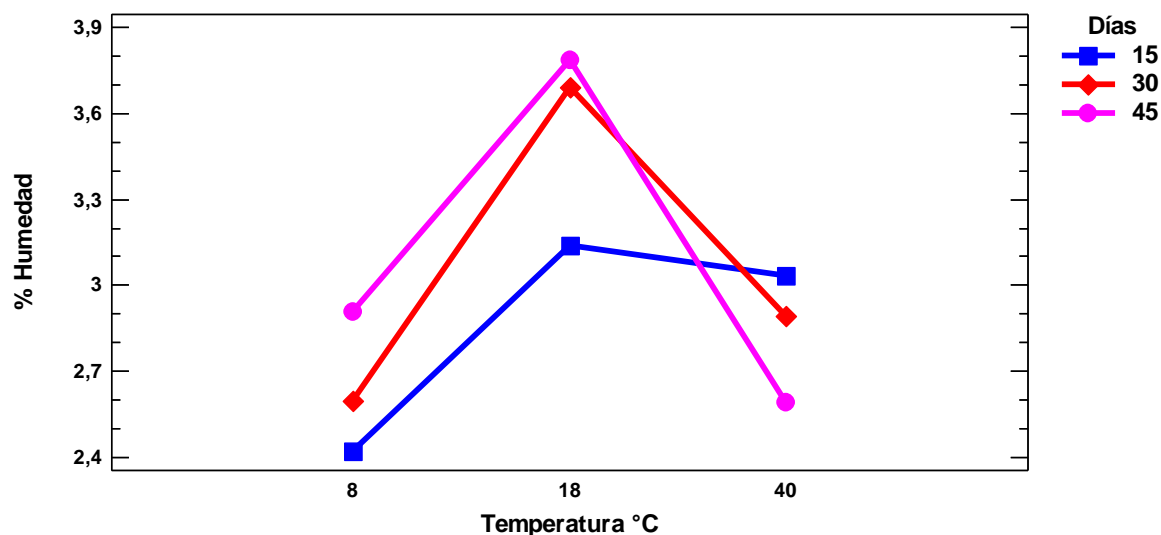
Con los datos obtenidos en la Tabla 3.47 se procedió a realizar un análisis experimental de donde se obtuvo la tabla ANOVA que descompone la variabilidad del % de humedad; como se puede observar en la Tabla 3.50 la temperatura el tiempo y sus interacciones muestran una efecto estadísticamente significativo sobre el % de humedad, con un  $P < 0,05$ .

**Tabla 3.48** Análisis de varianza para el porcentaje de humedad en el empaque LDPE/FOIL/LDPE a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	RAZON F	VALOR P
<b>Efectos Principales</b>				
A:Temperatura	2,66538	1,33269	2306,58	0,000
B:Dias	0,187144	0,0935722	161,95	0,000
<b>Interacciones</b>				
AB	0,749322	0,187331	324,23	0,000
<b>Residuos</b>	0,0052	0,000577778		

La Figura 3.22 muestra el efecto de la temperatura durante el tiempo de almacenamiento, obteniéndose así que a un tiempo de 15 días y a una temperatura de refrigeración de 8 °C el producto deshidratado presentó los más bajos porcentajes de humedad.

**Figura 3.22** Gráfico de interacciones para porcentaje de humedad en empaque LDPE/FOIL/LDPE a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo



**Tabla 3.49** Porcentaje de humedad en cada tratamiento experimental para el empaque BOPP a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo

TRATAMIENTOS	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (días)	HUMEDAD (%)
1	8	15	3,2 ± 0,03
2	8	30	2,9 ± 0,04
3	8	45	2,7 ± 0,03
4	18	15	4,2 ± 0,02
5	18	30	4,9 ± 0,02
6	18	45	2,3 ± 0,02
7	40	15	4,0 ± 0,04
8	40	30	3,1 ± 0,03
9	40	45	4,8 ± 0,02

$\bar{x} \pm s$ , (n=2)

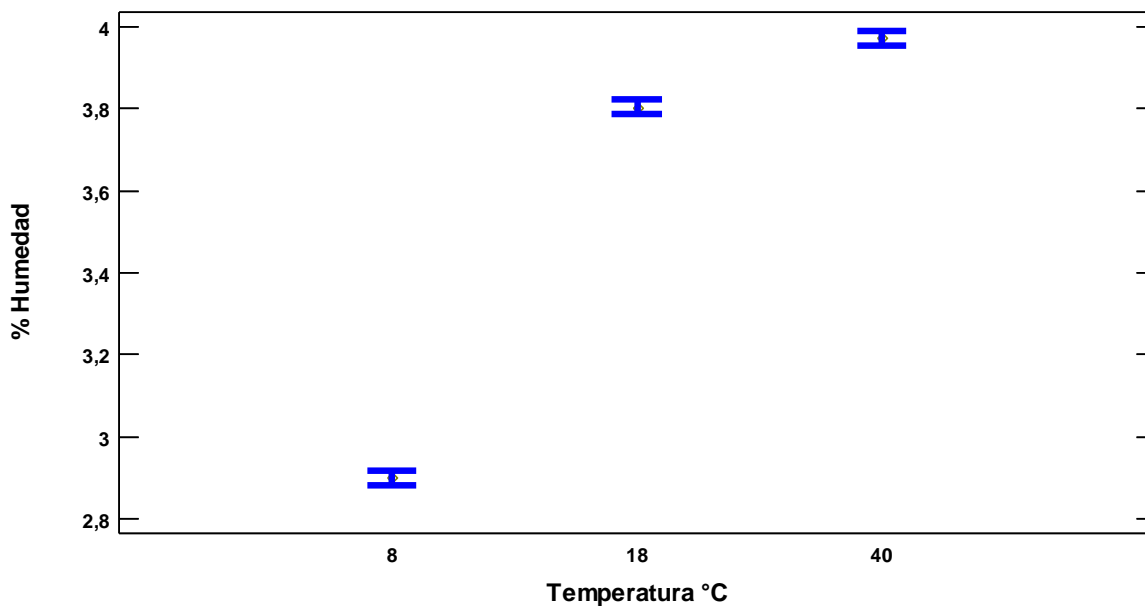
La Tabla 3.50 indica el efecto de las variables sobre el % de humedad obteniéndose tres valores  $P < 0,05$ , lo que indica que existe una influencia estadísticamente significativa sobre las medias de los factores.

**Tabla 3.50** Análisis de varianza para porcentaje de humedad en empaque BOPP a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	RAZÓN-F	VALOR-P
<b>Efectos Principales</b>				
A:Temperatura	3,98563	1,99282	2 676,92	0,0000
B:Dias	0,9604	0,4802	645,04	0,0000
<b>Interacciones</b>				
AB	9,28687	2,32172	3118,72	0,0000
<b>Residuos</b>	0,0067	0,000744444		

El método utilizado para discriminar entre las medias fue el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher que se indica en la Figura 3.23 donde se visualiza el efecto de la temperatura sobre el % de humedad, obteniéndose que a una temperatura de 40 °C el producto ganó más humedad.





**Figura 3.23** Gráfico de medias (LSD,  $\alpha=0.05$ ) para porcentaje de humedad en empaque BOPP a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo

Tanto el tiempo como la temperatura y el material de empaque afectaron en la estabilidad del producto durante el almacenamiento, como se observa en la Tabla 3.53 a una temperatura de 18 °C y 40 °C es donde existió un mayor porcentaje de humedad en comparación con los resultados expuestos en la Tabla 3.50. Es por esto que el empaque LDPE/FOIL/LDPE es la mejor opción durante el almacenamiento.

### 3.7.5 ÍNDICE DE SOLUBILIDAD (% ISA) EN EL EMPAQUE LDPE/FOIL/LDPE Y BOPP

El Índice de Solubilidad (% ISA) fue considerado como otro factor de respuesta en el almacenamiento del producto. La Tabla 3.51 indica los resultados obtenidos para el empaque LDPE/FOIL/LDPE con los tratamientos que fueron aplicados.

**Tabla 3.51** Índice de solubilidad (% ISA) en cada tratamiento experimental para empaque LDPE/FOIL/LDPE a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo

TRATAMIENTOS	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (días)	% ISA
1	8	15	81,27 ± 0,31
2	8	30	80,50 ± 0,35
3	8	45	79,55 ± 0,63
4	18	15	81,67 ± 0,48
5	18	30	80,33 ± 0,59
6	18	45	79,31 ± 0,59
7	40	15	80,85 ± 0,57
8	40	30	78,67 ± 0,62
9	40	45	77,87 ± 0,25

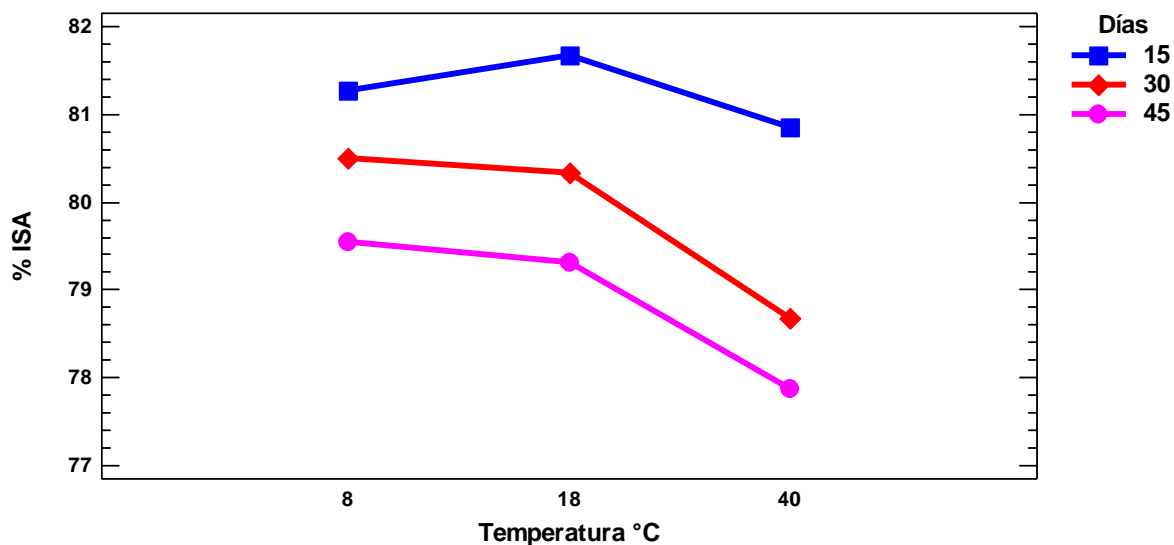
$\bar{x} \pm s, (n=2)$

En la Tabla 3.52 se visualiza el efecto de los tratamientos sobre el índice de solubilidad al aplicar un diseño experimental 3<sup>2</sup>. Se observa en la tabla ANOVA que tanto la temperatura y los días tienen un P<0,05 esto muestra que existe una influencia estadísticamente significativa de los factores en estudio.

**Tabla 3.52** Análisis de varianza para índice de solubilidad (% ISA) en empaque LDPE/FOIL/LDPE a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	RAZON F	VALOR P
<b>Efectos Principales</b>				
A:Temperatura	6,83823	3,41912	13,23	0,0021
B:Días	16,8931	8,44655	32,67	0,0001
<b>Interacciones</b>				
AB	1,21287	0,303217	1,17	0,3848
<b>Residuos</b>	2,32665	0,258517		

Como se observa en la Figura 3.24 tanto el tiempo como la temperatura influyen en él % ISA, a los 45 días y a una temperatura de 40 °C es donde se obtiene la más baja solubilidad en la base deshidratada.



**Figura 3.24** Gráfico de interacciones para índice de solubilidad en empaque LDPE/FOIL/LDPE a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo

En la Tabla 3.53 la prueba de múltiple rango para % ISA por temperatura, muestra cuáles medias son significativamente diferentes de otras. Dos grupos son homogéneos según la alineación de las X's, es decir que a una temperatura de 18 y 8 °C no existe diferencia estadísticamente significativa ya que se encuentran en la misma columna, pero a 40 °C existe diferencia estadísticamente significativa.

**Tabla 3.53** Pruebas de rangos múltiples para índice de solubilidad (ISA %) en empaque LDPE/FOIL/LDPE

TEMPERATURA	CASOS	MEDIA LS	SIGMA LS	GRUPOS HOMOGÉNEOS	
40	6	79,13	0,207572	X	
18	6	80,4367	0,207572		X
8	6	80,4383	0,207572		X
CONTRASTE	SIG.	DIFERENCIA	+/- LÍMITES		
8-18		0,0016667	0,66406		
8-40	*	1,30833	0,66406		
18 - 40	*	1,30667	0,66406		

\* indica una diferencia significativa.

La Tabla 3.54 muestra los resultados obtenidos para la base deshidratada durante el almacenamiento en un empaque BOPP al aplicar los siguientes tratamientos:

**Tabla 3.54** Índice de solubilidad (% ISA) en cada tratamiento experimental para empaque BOPP a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo

TRATAMIENTOS	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (DÍAS)	% ISA
1	8	15	81,09 ± 0,57
2	8	30	79,99 ± 0,57
3	8	45	78,82 ± 0,66
4	18	15	82,14 ± 0,51
5	18	30	81,02 ± 0,59
6	18	45	79,77 ± 0,76
7	40	15	80,06 ± 0,86
8	40	30	79,01 ± 0,62
9	40	45	77,97 ± 0,46

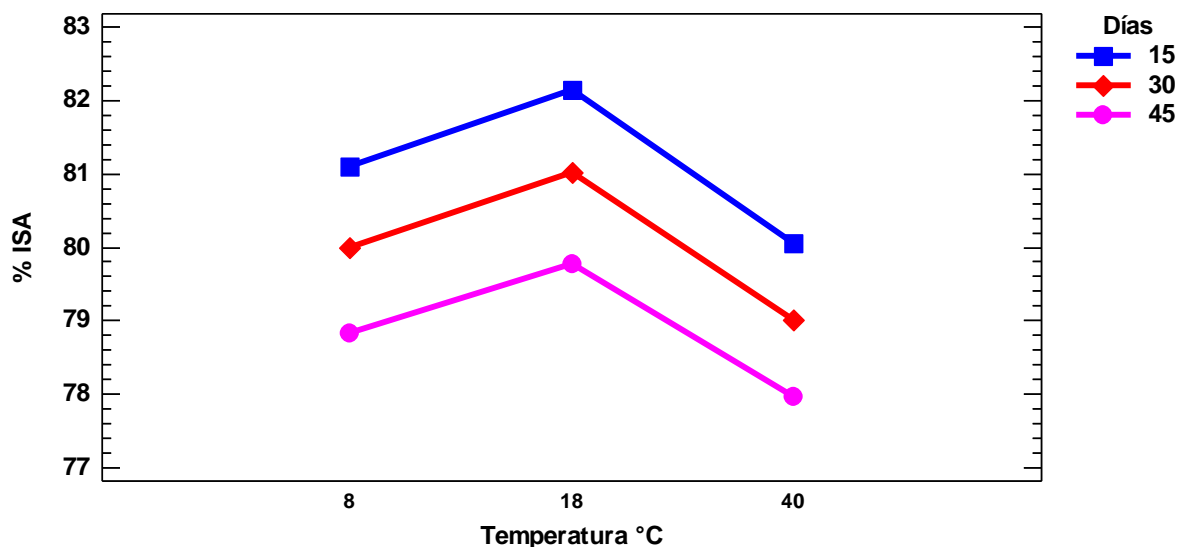
$\bar{x} \pm s$ , (n=2)

La aplicación de factores como la temperatura y el tiempo sobre la variable dependiente % ISA muestran diferencia estadísticamente significativa con un nivel de 95 % de confianza, como se observa en la Tabla 3.55. Tanto el tiempo como los días influyen sobre la variable en estudio.

**Tabla 3.55** Análisis de varianza para índice de solubilidad (% ISA) en empaque BOPP a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	RAZON F	VALOR P
<b>Efectos Principales</b>				
A:Temperatura	11,5863	5,79317	14,47	0,0015
B:Dias	15,1235	7,56174	18,89	0,0006
<b>Interacciones</b>				
AB	0,0418556	0,0104639	0,03	0,9984
<b>Residuos</b>	3,60255	0,400283		

La Figura 3.25 muestra la variabilidad del índice de solubilidad en el tiempo y a diferentes temperaturas. El almacenamiento del producto en polvo a 40 °C por un lapso de 45 días fue el factor que presentó menor solubilidad del producto.



**Figura 3.25** Gráfico de interacciones para índice de solubilidad en empaque BOPP a temperatura de refrigeración (8 °C), ambiente (18 °C) y 40 °C en el tiempo

Con los resultados obtenidos en este punto experimental se evidenció que la utilización de un empaque LDPE/FOIL/LDPE es la mejor opción para almacenar la base deshidratada; ya que al aumentar la temperatura se presenta una menor variabilidad sobre el índice de solubilidad (% ISA) en el tiempo.

### 3.7.6 ESTIMACIÓN DE LA VIDA ÚTIL

Para esta parte experimental se tomó como factores de respuesta el contenido de  $\beta$ -caroteno y los compuestos fenólicos solubles, ya que estos parámetros son los más relevantes para este estudio.

Se procedió a calcular el tiempo de vida útil de la base deshidratada de taxo en base a los dos materiales de empaque utilizados (LDPE/FOIL/LDPE y BOPP).

Con la aplicación de la Fórmula 2.2 se determinó la tasa de velocidad del deterioro ( $k$ ) en cuanto a concentración de  $\beta$ -caroteno y compuestos fenólicos solubles mientras transcurre el tiempo de almacenamiento. En la Tabla 3.56 se observan los resultados obtenidos de  $k$ , para el empaque LDPE/FOIL/LDPE y para BOPP. Los valores obtenidos para concentración de  $\beta$ -caroteno durante el almacenamiento se pueden identificar en las Tablas 3.35 y 3.37.

**Tabla 3.56** Velocidad de disminución para concentración de  $\beta$ -caroteno, en material de empaque LDPE/FOIL/LDPE y BOPP

TIPO DE ENVASE	LDPE/FOIL/LDPE	BOPP
TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO (°C)	k (días <sup>-1</sup> )	
8	0,0034545	0,0020727
18	0,0085211	0,0087514
40	0,274057	0,0223391

Al aumentar la temperatura la velocidad de deterioro ( $k$ ) se incrementa tanto para el empaque LDPE/FOIL/LDPE como para el BOPP. El LDPE/FOIL/LDPE presenta mayor  $k$  a temperaturas de 8 °C y 40 °C pero menor  $k$  a temperatura de 18 °C, esto se produce ya que el empaque BOPP no presenta una barrera contra la luz y los  $\beta$ -carotenos son muy sensibles a estas condiciones.

El factor de frecuencia  $k'$  y la energía de activación fueron calculados en base a la fórmula 2.3. Los resultados se indican en la Tabla 3.57.

**Tabla 3.57** Energía de activación y factor de frecuencia para concentración de  $\beta$ -caroteno en material de empaque LDPE/FOIL/LDPE y BOPP

CONSTANTE	LDPE/FOIL/LDPE	BOPP
Energía de Activación (KJ/mol)	47,08	54,56
$k^{-1}$ (días <sup>-1</sup> )	2 465 733,80	42 840 736,70

Se tomó como temperatura óptima de almacenamiento 8 °C y se logró una tasa de velocidad de deterioro para concentración de  $\beta$ -caroteno ( $k$ ) de 0,004322 días<sup>-1</sup> en el empaque LDPE/FOIL/LDPE y 0,003041 días<sup>-1</sup> para el empaque BOPP.

El tiempo de vida útil que se consideró para la base deshidratada de taxo fue cuando el producto tenga un mínimo de 9 mg/100 g de  $\beta$ -caroteno dentro del empaque.

La fórmula 2.2 se utilizó para calcular el tiempo de almacenamiento de la base deshidratada del taxo. Se obtuvieron los siguientes resultados: 426 días en empaque LDPE/FOIL/LDPE y 593 días en empaque BOPP.

El tiempo de vida útil en empaque BOPP es más alto que en el LDPE/FOIL/LDPE, esto se debe a que el empaque BOPP protege al producto a temperaturas de 8 y 40 °C más que el aluminizado, pero a temperatura ambiente hay mayor protección por parte del empaque LDPE/FOIL/LDPE.

Otro de los factores que se tomó en cuenta para la estimación de la vida útil del producto fue la concentración de compuestos fenólicos solubles.

En la Tabla 3.58 se observan los resultados obtenidos para la tasa de velocidad del deterioro  $k$ , en cuanto a la concentración de compuestos fenólicos para el empaque LDPE/FOIL/LDPE y BOPP. Los valores conseguidos para la concentración de compuestos fenólicos durante el almacenamiento se pueden identificar en las Tablas 3.39 y 3.41.

**Tabla 3.58** Velocidad de disminución para concentración de compuestos fenólicos solubles, en material de empaque LDPE/FOIL/LDPE y BOPP

TIPO DE ENVASE	LDPE/FOIL/LDPE	BOPP
TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO (°C)	k (días <sup>-1</sup> )	
8	0,0016121	0,0016121
18	0,0115150	0,0119756
40	0,0209573	0,0211876

Al aumentar la temperatura, la velocidad de deterioro  $k$  se incrementa tanto para el empaque LDPE/FOIL/LDPE como para el BOPP, pero el empaque BOPP presenta mayor  $k$ .

El factor de frecuencia  $k'$  y la energía de activación fueron calculados en base a la fórmula 2.0. Los resultados se indican en la Tabla 3.59.

**Tabla 3.59** Energía de activación y factor de frecuencia para concentración de compuestos fenólicos solubles en material de empaque LDPE/FOIL/LDPE y BOPP

CONSTANTE	LDPE/FOIL/LDPE	BOPP
Energía de Activación (KJ/mol)	59,40	59,69
$k-1$ (días <sup>-1</sup> )	309 974 316,00	355 487 270,80

Se tomó como temperatura óptima de almacenamiento 8 °C y se logró una tasa de velocidad de deterioro de la concentración de compuestos fenólicos solubles  $k$  de 0,002773 días<sup>-1</sup> en empaque LDPE/FOIL/LDPE y 0,002806 días<sup>-1</sup> para el empaque BOPP.

El tiempo de vida útil que se consideró para la base deshidratada de taxo fue cuando el producto tenga un mínimo de 4 100 mg/100g de compuestos fenólicos solubles dentro del empaque.

La fórmula 2.2 se utilizó para calcular el tiempo de almacenamiento de la base deshidratada del taxo. Se obtuvieron los siguientes resultados: 650 días en empaque LDPE/FOIL/LDPE y 543 días en empaque BOPP.

La base deshidratada de taxo en empaque LDPE/FOIL/LDPE presentó mayor tiempo de vida útil que el empaquetado en BOPP, respecto a los compuestos fenólicos solubles.



### 3.7.7 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

El análisis microbiológico se realizó para las muestras a tiempo 0 y 15 días, a una temperatura de 8 °C en los dos materiales de empaque, ya que fueron los factores que se estimaron para la vida útil del producto.

Los resultados obtenidos en las pruebas microbiológicas de la base deshidratada de taxo se muestran en la Tabla 3.60.

**Tabla 3.60** Resultados de las pruebas microbiológicas durante el estudio de estabilidad , en material de empaque LDPE/FOIL/LDPE y BOPP a tiempo 0 y 15 días a una temperatura de 8 °C

TIEMPO (DÍAS)	TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO (°C)	EMPAQUE	CONTAJE TOTAL AEROBIOS (UFC <sup>(*)</sup> /G)	HONGOS Y LEVADURAS (UFC/G)
0	20	LDPE/FOIL/LDPE	< 10	< 50
0	20	BOPP	< 10	< 50
15	8	LDPE/FOIL/LDPE	< 10	< 50
15	8	BOPP	< 10	< 50

\*U.F.C. Unidades formadoras de colonias

En base a la norma NTE INEN 2 471, (INEN, 2010) el producto deshidratado de taxo cumple con los requerimientos de especificación microbiológica, tanto en empaque LDPE/FOIL/LDPE como en el BOPP, lo que le convierte en un producto apto para el consumo humano.

El pH y la humedad que contiene el producto dentro del empaque ayudan en la inhibición del crecimiento microbiano.

### 3.8 ESTIMACIÓN DE COSTOS

Los costos de producción se analizaron en base al balance de masa y energía que se muestran en el Anexo V. Los costos en cuanto a maquinaria se obtuvieron al tomar como referencia los equipos utilizados dentro de la planta piloto del DECAB; además se estimó una producción anual de 1 452,7 kg de base deshidratada de taxo.

En la Tabla 3.61 se muestran los componentes que intervienen para el cálculo de activos fijos o tangibles.

**Tabla 3.61** Activos fijos tangibles

CONCEPTO	VALOR TOTAL USD
Construcciones	5 452,50
Maquinaria y equipos	71 833,50
Muebles y enseres	232,87
Utensillos y accesorios	356,69
Total activos fijos	77 875,56

Se tomaron en cuenta tanto los costos directos como los indirectos para calcular el capital de trabajo, como se muestra en la Tabla 3.62.

**Tabla 3.62** Capital de trabajo

CONCEPTO	VALOR MENSUAL USD
<b>Costos directos</b>	
Materia prima	2637
Materiales directos	180
Mano de obra directa	2474
<b>Total</b>	5291
<b>Costos Indirectos</b>	
Suministros	157,14
Mantenimiento	65,89
Seguros	16,1
<b>Total</b>	239,13
Total capital de trabajo	5 530,37

Se obtuvo el costo unitario para la base deshidratada de taxo en cuanto a fundas de 100 g y se alcanzó un costo de \$ 5,38; como se observa en la Tabla 3.63. Las tablas para el cálculo de cada rubro se presentan en el Anexo VI .

El costo obtenido para los 100 g de la base deshidratada de taxo es alto en comparación con otros productos en polvo que se encuentran en el mercado, pero difiere de estos en cuanto a propiedades nutricionales, lo que le convierte en un producto nuevo y con alto potencial nutricional.

**Tabla 3.63** Costo unitario por cada 100 g de base deshidratada de taxo

RUBROS	COSTOS		%COSTOS DIRECTOS	% COSTOS INDIRECTOS
	DIRECTOS	INDIRECTOS		
Materia prima	31 646		40,26 %	
Materiales directos	2156		2,74 %	
Mano de obra directa	29 693		37,77 %	
Suministros		1 886		2,40 %
Mantenimiento		790,69		1,01 %
Seguros		193,22		0,25 %
Depreciación		6047,84		7,69 %
Amortización		450		0,57 %
Subtotales	63 495	9 367	80,77 %	11,92 %
Costo de producción	72 862		92,69 %	
Gastos financieros	5 749,34		7,31 %	
Costo total	7 8612		100,00 %	
Unidades producidas	14 600			
Costo unitario	5,38			

## 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 CONCLUSIONES

1. El taxo (*Passiflora mollisima*) presenta un alto contenido de compuestos fenólicos igual a 1 014,64 mg AG/100g, lo que le convierte en una fruta con potencial antioxidante.
2. La aplicación del coctel Rapidasa Carrot Juice tuvo efecto estadísticamente significativo sobre el % SIS, disminuyendo su porcentaje a los 120 minutos a una temperatura de 30 °C, lo que evidenció la licuefacción de los componentes de la pared celular
3. La utilización del coctel enzimático Rapidasa Carrot Juice fue de gran utilidad para obtener un mayor rendimiento en pulpa, de 60,65 % sin tratamiento y de 75,86 % con tratamiento enzimático, a partir de 6,71 kg de placenta y también proporcionó una mayor extracción de los compuestos de interés como  $\beta$ -caroteno con 2,42 mg/100g y compuestos fenólicos solubles con 1 089 mg AG/100g. La cantidad de sólidos solubles aumentó después del tratamiento enzimático, esto al comparar con la muestra testigo sin tratamiento, de 10,50 a 13 °Brix.
4. El mayor rendimiento de la base deshidratada se obtuvo al aplicar un flujo de 12 mL/min y una adición de maltodextrina al 7 % (70 g/kg), esto como las condiciones de secado más apropiadas.
5. Las condiciones de secado que obtuvieron las mejores características en cuanto a concentración de  $\beta$ -carotenos con 12,14 mg/100g, compuestos fenólicos solubles con 4 121,47 mg AG/100g y atributos sensoriales fue a un flujo de alimentación de 12 mL/min y con adición del 3 % de maltodextrina.

6. En la estabilidad del producto se evidenció que tanto el tiempo como la temperatura tuvieron efecto sobre la concentración de  $\beta$ -carotenos y compuestos fenólicos, obteniéndose que a una temperatura de 8 °C y a tiempo 15 días se conservaron de mejor manera estos analitos en los dos materiales de empaque.
7. La utilización de un empaque trilaminado de polietileno y aluminio (LDPE/FOIL/LDPE) fue la mejor opción para almacenar la base deshidratada de taxo; ya que al aumentar la temperatura se presentó una menor variabilidad sobre el índice de solubilidad (% ISA) en el tiempo.
8. La base deshidratada de taxo en empaque trilaminado de polietileno y aluminio (LDPE/FOIL/LDPE) presentó mayor tiempo de vida útil (650 días) en cuanto a concentración de polifenoles solubles.
9. El producto deshidratado de taxo cumplió con los requerimientos de especificación microbiológica, tanto en un empaque trilaminado de polietileno y aluminio (LDPE/FOIL/LDPE) como en un polipropileno biorientado transparente (BOPP), lo que le convierte en un producto apto para el consumo humano.

## 4.2 RECOMENDACIONES

1. Para obtener un mejor rendimiento del producto en polvo se recomienda realizar estudios adicionales en otro secador por aspersion; ya que el equipo utilizado en la planta piloto presentó fallas en el sistema.
2. Realizar un estudio de microencapsulación utilizando maltodextrinas combinadas con otros agentes encapsulantes como gomas (goma arábica), monosacáridos y disacáridos y almidones químicamente modificados para obtener más eficiencia al momento de la encapsulación de los compuestos bioactivos
3. En cuanto a la estabilidad de los analitos durante el almacenamiento se recomienda experimentar con otros materiales de empaque para prolongar más la concentración de los compuestos bioactivos en el tiempo.
4. Se recomienda realizar un diseño de plantas para un cálculo más real de los costos de producción ya que en esta investigación los costos se estimaron.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AOAC, (2007), Association of Official Analytical Chemist, “Official Methods of Analysis”, 18 TH Edition, Virginia, D.C. USA.
2. AOAC, (1998), Official Methods of the Association of Official Analytical Chemists “Peer Verified Methods. Manual on policies and procedures”. Adaptado en el laboratorio de servicios analíticos e investigación en alimentos del departamento de nutrición y calidad del INIAP. Arlinton, USA.
3. ASTEC., (2006), “Método Modificado de las indicaciones del Manual de la columna Advanced Separation Technologies ASTEC NH2 series”, USA.
4. Ávila, R. (2014), “Comparación de la acción enzimática de tres preparados comerciales en el tratamiento de la pulpa de guanábana”. Revista ASA ISSN: 2343-6515. Lara-Venezuela. p. 62.
5. Bayindirli, A. (2010). Enzymes in Fruit and Vegetable Processing. Chemistry and Engineering Applications. (1st. ed.). New York, Estados Unidos: Taylor & Francis Group.
6. Beltrán, E. (2013). “Aplicación de tecnología de membranas para la purificación de polifenoles de tomate de árbol (*Solanum betaceum cav*)”. Tesis Maestría en Ciencias de los Alimentos (FIQA). Escuela Politécnica Nacional (EPN). Quito-Ecuador, p. 55.
7. Bernal, E. y Díaz, D. (2005). Tecnología para el cultivo de la Curuba (1ra. ed.). Medellín, Colombia: Lito Madrid.

8. Botero, M., Ricaurte, S., Monsalve, C. y Rojano, B. (2007). Capacidad Reductora de 15 frutas Tropicales. *Scientia Et Technica*, 13(33), 295-296.
9. Bringas, M. y Pino, J. (2012). Microencapsulación de saborizantes mediante secado por atomización. *Revista ReCiTeIA: Instituto de Investigaciones para la Industria Alimentaria*, 11(2), 35-57.
10. Brito, B. (2003). Aplicación de nuevas tecnologías agroindustriales para el tratamiento de frutas tropicales y andinas para exportación. Proyecto IQ-CV-077, INIAP.
11. Brito, B., (2006). Informe del primer año del proyecto binacional INIAP-Ecuador, CORPOICA-Colombia, FTG 14-03 “Fortalecimiento del manejo poscosecha de frutales exóticos exportables de interés para los países andinos”, Quito, Ecuador, pp. 19-20.
12. Britton, G., Liaaen, S. y Pfander, H. (1995). *Carotenoids, insolation and analysis*, vol: 1<sup>a</sup>. Birkhauser, Basel; Boston; Berlín.
13. Buitrón, X. (2010). “Elaboración de una base deshidrata a partir de una pulpa de tomate de árbol amarillo (*Solanum betacea*), para la preparación de una bebida hidratante para deportistas”, Tesis Previa a la obtención del título de Ingeniero Agroindustrial, EPN, Quito-Ecuador, p. 49.
14. Campos, E. (2001). *La curuba y su cultivo*. (1ra. ed.). Bogotá, Colombia: Guadalupe Ltda. IICA.
15. Carranco, M., Calvo M. y Pérez., F. (2011). Carotenoides y su función antioxidante. *Revista Scielo Archivos Latinoamericanos de Nutrición (ALAN)*, 61(3), 233-241.



16. Chegini, G. y Ghobadian, B. (2007). Spray Dryer Parameters for Fruit Juice Drying. *WorldJournal of AgriculturalSciences*, 3 (2), 230-236.
17. Choksi, RB., Boylston, WH., Rabek, JP., Widger, WR. y Papaconstantinou, J. (2004). Oxidatively damaged proteins of heart mitochondrial electron transport complexes. *BiochimBiophysActa*, 1688(2), 95-101.
18. Dauchet, L., Amouyel, P. y Dallongeville, J. (2005). Fruit and vegetable consumption and risk of stroke: a meta-analysis of cohort studies. *Neurology*, 65(8), 1193-1197.
19. DECAB (2001). "Digestión en microondas y lectura del Ca, K, Mg, Cu, Zn y Fe por espectrofotometría de Absorción Atómica".
20. Devahastin, S. (2010). Physicochemical aspects of food engineering and processing. *Contemporary Food Engineering Series*. Bangkok, Thailand: CRC Press.
21. Eliasson, (2004). *A.C. Starch in Food: Structure, Function and Applications*. Cambridge, GBR: WoodheadPublishing, Limited páginas 479
22. Engel, P. (2009). *DSM Nutritional Products - Human Nutrition and Health*. [Versión DX Reader]. Recuperado de <http://www.nutri-facts.org.pdf> (abril, 2014).
23. Fogler, S. (2001). *Elementos de ingeniería de las reacciones químicas. Fundamentos de reacciones enzimáticas*. (3ra. ed.). México: PRENTICE HALL.
24. Food and Drug Administration, (2001). *Bacteriological Analytical Manual*. FDA/CFSAN BAM Cap. 3; FDA/CFSAN BAM Cap. 18

25. García, M., Quintero, R., López, A. y Canales M. (2004). *Biotecnología alimentaria*. (5ta. Ed.). México: LIMUSA, S.A.
26. Garrido, A; Teijon, J; Gaitan, D; Villaverde, C; Mendoza, C. y Ramirez, J. (2006). *Fundamentos de Bioquímica Estructural*. (2da. Ed.). Madrid, España: TEBAR, S.L.
27. Georgé, S. Brat, P. Alter, P. and Amiot, S. (2005). Rapid determination of polyphenols and vitamin C in plant-derived products, *Journal of agricultural and food chemistry*, 73, 1370-1373.
28. Gil, A. (2010). *Composición y calidad nutritiva de los alimentos. Tratado de Nutrición*. (2da. Ed.). Madrid, España: Madrid-Médica Panamericana, D.L.
29. Gupta, R., Mehta, G., Deswal, D., Sharma, S. y Jain, K. (2013). Cellulases and Their Biotechnological Applications. En Kuhad, R. y Sing, A. (Ed.). *Biotechnology for Environmental Management and Resource Recovery* (pp. 89-106). New Delhi, India: Springer.
30. Gutiérrez, J. (2000). *Ciencia Bromatológica: Principios Generales de los Alimentos*. Madrid, España: Díaz de Santos, S.A.
31. Guttler, S. (2011). "Adding value to Andean blueberries (*Vaccinium floribundum kunth*) by processing healthy products as a contribution food security in Ecuador development of concentrated clarified juice and powder juice with high contents of anthocyanins", Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Diplomarbeit im Rahmen der Diplomprüfung zur completion, p. 48.
32. Hercberg, S., Galán, P., Preziosi, P., Bertrais, S., Mennen, L., Malvy, D., Roussel, AM., Favier, A. y Briancon, S. (2004). A randomized

placebocontrolled trial of the health effects of antioxidant vitamins and minerals. Arch Intern Med, 164(21), 2335-2342.

33. INEN. (2010). Instituto Ecuatoriano de Normalización. Catálogo de Normas Técnicas Ecuatorianas, NTE INEN 2 471:2010, Mezclas en polvo para preparar refrescos o bebidas instantáneas. Requisitos.
34. Jaramillo, J. (2004). Biología. (2da. Ed.). Sevilla, España: MAD, S.L.
35. Khan, F. (2015). Principles of Enzyme Technology. (1st. ed.). Bangalore, Indian: PHI Learnig Private limited, Delhi-110092
36. Laverde, J. (2010). Estudio de las condiciones óptimas para la obtención de jugo clarificado de arazá (*Eugenia Stipitata*), mediante procesos enzimático y membranario. Proyecto previo a la obtención del título de ingeniero Agroindustrial, Facultad de ingeniería química y Agroindustria, Escuela Politécnica Nacional, Quito-Marzo.
37. Lincoln, T. y Zeiger, E. (2006). Fisiología Vegetal Volumen 1. Castelló de la Plana: Pubicacions de la Universitat Jaume I.
38. Londoño, J. (2012). Antioxidantes: Importancia biológica y métodos para medir su actividad [Versión DX Reader]. Recuperado de [http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/.../9.%2012 9-162.pdf](http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/.../9.%2012%209-162.pdf) (febrero, 2014).
39. Lopretti, M., Barreiro, F., Fernandez, I., Damboriarena, A., Ottati, C. y Olivera, A. (2007). Microencapsulación de compuestos de actividad biológica. Revista LATU (2), 19-23.
40. Macrae, R. (1988). HPLC in food analysis. (2nd. ed.). Great Britain, England: Academic Press.

41. Man, D. (2002). ShelfLife". Food Industry Briefing series. Ed. South Bank University, London. UK.
42. Márquez, E. y García, Y. (2007). Colorantes naturales de origen vegetal. Ciencia y Tecnología de Alimentos. Revista ReCiTeIA: Instituto de Investigaciones para la Industria Alimentaria, 17(1), 169-170.
43. Martínez, A. (2003). Carotenoides. [Versión DX Reader]. Recuperado de <http://farmacia.udea.edu.co/~ff/carotenoides2001.pdf> (marzo, 2014).
44. Meléndez-Martínez, A., Vicario, I. y Heredia, F. (2007). Pigmentos carotenoides: consideraciones estructurales y fisicoquímicas. Revista Scielo Archivos Latinoamericanos de Nutrición (ALAN), 57(2), 109-117.
45. Mínguez, I. Pérez, A. y Hornero D. (2005). Pigmento Carotenoides en frutas y vegetales; mucho más que simples "colorantes" naturales. (1ra. ed.). Sevilla, España: AgroCSIC.
46. Ochoa, C. y Ayala, A. (2009). Los flavonoides: apuntes generales y su aplicación en la industria de alimentos. Ingeniería y Competitividad Revista Científica y Tecnológica, 6(2), 1-12.
47. Orozco, C., Osorio, G., Mendoza, N., Romo T., Serratos, I., García, S. y Ordas, L. (2006). Secado por aspersión: Prototipo semi piloto [Versión DX Reader]. Recuperado de <http://smbb.com.mx/congresos%20smbb/puertovallarta03/.../CVI43.pdf> (febrero, 2014).
48. Ovando, SL. y Waliszewski, KN. (2005). Commercial cellulases preparations and their applications in extractives processes. Revista Universidad y

Ciencia: Unidad de Investigación y Desarrollo en Alimentos, 21(42), 111-120.

49. Padrón, C. y Moreno, M. (2010). "Evaluación del uso de enzimas y filtración or gravedad para la clarificación de una mezcla diluida de pulpa de frutos de Cactus (*Opuntia boldinghii*), jugos de naranja y toronja". Rev. Fact. Nal. Agr: Medellín, p. 5434.
50. Parra, A. (2011). Food Microencapsulation. Revisión: Microencapsulación de Alimentos. Revista. Fact. Agr. Medellin 63(2), 5669-5684.
51. Parra, R. (2010). Microencapsulación de Alimentos. Revista scielo: Facultad Nacional de Agronomía Medellín, 63(2):5669-5684.
52. Pokorny, J., Yanishlieva, N. y Gordon, M. (2004). Antioxidantes de los Alimentos: Aplicaciones prácticas. Biociencias y Ciencias de los alimentos. (1ra. ed.). Zaragoza, España: Acribia S.A.
53. Prior, R., Wu, X. y Gu, L. (2006). Flavonoid metabolism and challenges to understanding mechanisms of health effects. Journal of the Science of Food and Agriculture, 86(15), 2487 -2491.
54. Quiñones, M., Miguel, M. y Aleixandre, A. (2012). Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. Revista de Nutrición Hospitalaria, 27(1), 76-89.
55. Rajamanickam S, and Agarwal R. (2008). Natural Products and Colon Cancer: Current Status and Future Prospect", Departament of Pharmaceutical Sciences, School of Pharmacy, University of Colorado Denver Aurora Colorado. University of Colorado Cancer Center. Drug Development Research 69: 460-471.

56. Rivas, C. (2010). "Microencapsulación y Estabilización enzimática del jugo de Chirimoya (*Annona Cherimola* Mill)", Tesis para obtener el título de Maestro en Ciencias en Bioprocesos, Instituto Politécnico Nacional IPN, México, p. 43.
57. Rodríguez, S., Monereo, S. y Molina, B. (2006). Alimentos funcionales y nutrición óptima: ¿cerca o lejos?. *Revista Española de Salud Pública*, 77(3), 317-331.
58. Rojano, B., Acosta, K. y Cortés, F. (2012). Free radical trapping capacity of *Passifloramollissima* (Kunth) L. H. Bailey (curuba). *Revista Cubana de plant med*, 17(4), 408-409.
59. Ruales, J., Carpio C., Santacruz S., Santacruz P. y Bravo J., (2000). "Determinación de las propiedades funcionales del almidón. Índice de absorción de agua, solubilidad y poder de hinchamiento". En *Método de caracterización de Carbohidratos*. DECAB, EPN. Quito-Ecuador. p.p. 53-54.
60. Sandoval, A., Rodríguez, E. y Ayala. A. (2009). Encapsulación de aditivos para la industria de alimentos. *Revista ingeniería univalle*, 5 (2), 73-74.
61. SICA-GOV-EC, [http://www.sica.gov.ec/agronegocios/productosparainvertir/taxo/taxo\\_mag.pdf](http://www.sica.gov.ec/agronegocios/productosparainvertir/taxo/taxo_mag.pdf), (mayo 2014).
62. Slinkard, K. y Singleton, V. (1997). Total phenol analysis: Automation and Comparison with manuamethos, *Am.J.Enol. Vitic* 28 (1), 38, 49-55.
63. Tamayo, A., Bernal, J., Hicapie, M. y Londoño, M. (2001). *Frutales de Clima Frio Moderado*. (1ra. ed.). Antioquia, Colombia: Corpoica.

64. Tupuna, D. (2014). "Obtención de jugo clarificado concentrado de mortiño (*Vaccinium floribundum Kunth*) mediante el uso de tecnología de membranas" Proyecto previo a la obtención del título de ingeniero Agroindustrial. Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador, p. 63
65. Van Duyn, MA. y Pivonka E. (2000). Overview of the health benefits of fruit and vegetable consumption for the dietetics professional. *J Am DietAssoc*, 100(12), 1511-1521.
66. Vasco, C., Riihinen, K., Ryyananen, A., Ruales, J. and Kamal-Eldin, A. (2008). Total phenolic compounds and antioxidant capacities of major fruits from Ecuador. *Food chemistry*, 111(4), 816-823.
67. Vasco, C., (2009), "Phenolic Compounds in Ecuadorian Fruits", Faculty of Natural Resources and Agricultural Science, Department of Food Science, Uppsala.
68. Vega, J. (2009). Estrés oxidativo en medicina: un acercamiento al tema. (1ra. ed.). Buenos Aires, Argentina: El Cid.
69. Villavicencio, A. y Vásquez, W. (2008). Guía técnica de cultivos. Instituto Nacional Autónomo de Investigación Agropecuaria INIAP, (73), 7-11.
70. Voragen, A., Heutink, R. y Pilnik, W., (1980), "Solubilization of apple cell wall with polysaccharide degrading enzymes", *Journal of Applied Biochemistry*, 452.
71. Wong, D. (2013). *Food Enzymes: Structure and Mechanism*. (1st. ed.). New York: Estados Unidos: Springer-Science-Business Media, B.V.
72. Yanza, E. y Maldonado, L. (2012). Determinación del contenido de  $\alpha$ -Tocoferol y  $\beta$ -Caroteno en el zumo y el liofilizado de tomate de árbol

(CyphomandraBetaceaCavSendt). Revista de la Facultad de Ciencias Básicas Redalyc, 10(2), 28-35.

73. Zamora, J. (2009). Antioxidantes: micronutrientes en lucha por la salud. Revista Chilena de Nutrición, 34(1), 1-26.
74. Zapata, K., Rojano, B. y Cortes, F. (2014). "Efecto térmico del secado por aspersión sobre los metabolitos antioxidantes de la Curuba larga (*Passiflora mollisima baley*). Información Tecnológica, Vol. 26 (1), pp. 77-84.
75. Zhongxiang F. y Bhandari B. (2010). Tendencias en Food Science & Technology. Revista ELSEVIER, 21 (10), 5010-523.



## **ANEXOS**

## ANEXO I

### DETERMINACIÓN DE VITAMINA C

#### Materiales, Equipos y Reactivos

##### Materiales

- Matraces de vidrio de 5- 500 ml
- Probeta de 500 ml
- Kitasato 250 ml
- Embudo Buchner
- Jeringas de plástico de 3ml
- Filtros de 0.45  $\mu\text{m}$  para HPLC
- Membrana de 0.45  $\mu\text{m}$

##### Equipos:

- Balanza analítica
- Micro pipetas
- Ultrasonido
- Cronometro
- Termómetro
- Bomba de Vacío
- Cromatógrafo (HPLC)

Columna: LiChrospher 100 RP 18.5  $\mu\text{m}$ , 250 mm-4mm

Flujo: 1 ml /min

Presión: 230  $\pm$  10 bar

Temperatura: ambiente

Detector: Ultravioleta a 244 nm BW 4 nm, REF 580 nm BW  
20 nm

PeakWidth = 0.1 min.

Convertidor de señal

Lazo de inyección: 20  $\mu$ L

Tiempo de retención: 6 a 8 min

Tiempo por corrida: 11 min.

### **Reactivos:**

- Metanol grado HPLC
- Estándar de ácido ascórbico certificado
- Homocisteína 0.2 % (p/v): Pesar 50 mg de homocisteína grado reactivo y aforar en un matraz de 25 mL.
- Ácido meta-fosfórico 3 % (p/v): Pesar 7.5 g de ácido meta fosfórico grado reactivo y aforar en un matraz de 250 mL.
- $\text{KH}_2\text{PO}_4$  (p/v): Pesar 13.6 g de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  grado reactivo disolver en 900 ml de agua desionizada.
- N-cetyl; N,N,N-trimethylammoniumbromide (p/v): Pesar 1.82 g de N-cetyl; N,N,N-trimethylammoniumbromide grado reactivo y disolver en 100 ml de metanol grado HPLC.

### **Preparación de la fase móvil**

Filtrar por una membrana de 0.45  $\mu$ m la solución de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  y N,N,N-trimethylammoniumbromide por separado. Una vez filtradas las soluciones mezclar sin agitar para no generar espuma.

Dejar reposar la fase móvil hasta que no haya burbujas. No desgasificar.

### **Preparación de los estándares**

Pesar 5 mg de ácido ascórbico en un matraz de 50 ml y añadir 5 ml de homocisteína al 0.2 %. Aforar con ácido meta fosfórico 3%.

Hacer diluciones de 1/3, 1/5, 1/10 filtrar por una membrana de 0.45  $\mu\text{m}$  e inyectar en el HPLC inmediatamente.

#### 1.- Preparación de la muestra

#### **Extracción**

1. Pesar entre 1 a 5 g de muestra si son harina y si son muestras líquidas no más de 5 ml.
2. Añadir 30 ml de ácido meta fosfórico al 3 % y 5 ml de homocisteína al 0.2 %.
3. Agitar en el baño de ultrasonido por 15 minutos.
4. Aforar a 50 ml con agua destilada y centrifugar a 6 000 rpm y 4 °C.
5. Filtrar la solución por una membrana de 0.45  $\mu\text{m}$  e inyectar en el HPLC.

#### **Cálculos y evaluación de resultados**

Para hallar la concentración de una muestra, se debe:

#### Curva de calibración

Realizar la curva de calibración graficando en el eje X la concentración y en el eje Y el área del estándar la cual se ajusta a una ecuación lineal:

$$A = a (C) + b \quad [A I.1]$$

Donde:

A = área del estándar

C = concentración del estándar

a = pendiente de la recta

b = corte con el eje Y

**Concentración (mg/mL):**

Los valores a y b permanecen constantes, por tanto se debe reemplazar el valor de área registrado por el equipo para la muestra y con ello se halla la concentración en mg de estándar por ml de muestra.

Concentración verdadera (mg/100g):

Esta concentración se encuentra multiplicando la concentración por el volumen al que se aforo y dividiendo para el peso de la muestra.

$$C_2 = \frac{C_1 * V * 100 * D}{P * 0.9} \quad [A I.2]$$

Donde:

$C_1$  = concentración (mg/mL) de la muestra

$C_2$  = concentración verdadera de la muestra (mg/100g).

V = Volumen (mL)

P = peso (g)

D = Dilución

100 = factor de conversión de unidades

0.9 = factor de corrección método

## ANEXO II

### DETERMINACIÓN DE $\beta$ -CAROTENOS POR HPLC

#### 1. APLICACIÓN:

Este método se aplica a jugos, alimentos deshidratados y alimentos frescos.

#### 2. PRINCIPIO:

La actividad de la vitamina A es compartida a través de varios compuestos; retinol, 3-hidroretinol y retinil éster son los más importantes para el análisis de alimentos. Los alimentos de origen animal contienen retinol y el éster de retinilo principalmente. En el caso de alimentos de origen vegetal contienen caroteno o pro- vitamina A. Para simplificar el análisis, la muestra es normalmente saponificada para convertir el éster al alcohol libre. La saponificación sirve para liberar la vitamina de la matriz del alimento y eliminar componentes como triglicéridos.

Luego de la saponificación se extrae la vitamina con éter de petróleo la cual se lee directamente en el HPLC.

La vitamina A es estable cuando se encuentra dentro de la matriz que la protege pero una vez aislada se debe tener cuidado ya que es sensible al oxígeno, por lo que se recomienda realizar la evaporación del solvente en vacío, además es sensible a la luz ultravioleta y al calor.

**LÍMITE DE DETECCIÓN:** > 0.02 ppm

**LÍMITE DE CUANTIFICACIÓN:** > 2.6 ppm

**RANGO DE APLICACIÓN:** 0.02 - 87 ppm

**INCERTIDUMBRE:** 0.21 Reportar la incertidumbre según la declaración de incertidumbre para el laboratorio de HPLC y según P5.4-02.

### **3. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS (Ver P4.6-01)**

#### **Materiales:**

- Mortero
- Matraz de cuello esmerilado 24/40
- Matraz de cuello esmerilado 20/40
- Matraces de vidrio tipo A de 5-500mL
- Probeta de 1000mL y 50mL
- Kitassato de 250mL
- Embudo Büchner
- Refrigerantes con cuello esmerilado 24/40
- Refrigerantes con cuello esmerilado 20/40
- Embudos de separación
- Pipetas pasteur
- Jeringas plásticas de 3mL
- Filtros de 0.45  $\mu\text{m}$  para HPLC
- Membrana de 0.45 $\mu\text{m}$  para fase móvil
- Muestra referencia Secundaria

#### **Equipos:** (Ver P5.5-01 y P5.5-02, P5.6-01, P5.6-02)

- Balanza analítica (Ver P5.6-15)
- Micro Pipetas (Ver P5.6-17)
- Bomba de vacío
- Termómetro
- Rota vapor
- Cromatógrafo (HPLC).

Columna: YMC carotenoid column C30, 4.8  $\mu$ m, 250mm

Flujo: 1.5 mL/min

Presión: 140+ 10 bar

Temperatura: ambiente (20-23 °C)

Detector: Ultravioleta a 450 nm BVV 4. REF 580 nm BW 20

Peak Width = 0.1 min

Bomba cuaternaria con gradiente

- a) Cuando se conoce los carotenoides que tiene la muestra  
0-10 min Fase A  
10-45 min Gradiente Fase A a Fase B
  
- b) Cuando no se conoce que carotenoides tiene la muestra  
0-90 min  
Fase C a Fase B

Convertidor de señal

Lazo de inyección: 20  $\mu$ L

Tiempo de retención referencial:

Luteína:	6 min
$\alpha$ - caroteno:	12 min
$\beta$ -caroteno:	16 min
Licopeno:	39 min

Tiempo por corrida: 45 min

**Reactivos:** (Ver I 4.6-01-01 y 14.6-01-02)

- Agua des ionizada
- Helio grado 4.5



- Agua destilada
- Estándar de carotenoides certificados
- Hexano grado reactivo
- Di etil éter grado reactivo
- Éter de petróleo grado reactivo
- Cloruro de sodio grado reactivo
- Bicarbonato de sodio
- Sulfato de sodio anhidro grado reactivo
- Metanol grado HPLC
- Metanol grado reactivo
- Solución al 5 % de KOH o NaOH en metanol: Pipetear 1 ml de solución de NaOH o KOH al 50 % y disolver en 9 mL de metanol grado reactivo.  
NaOH 50 % (p/v): pesar 50 g de NaOH y aforar a 100 mL con agua.  
KOH 50 % (p/v): pesar 50 g de KOH y aforar a 100 mL con metanol grado reactivo

Para la manipulación de reactivos ver la etiqueta de seguridad. Las soluciones que se puede almacenar se encuentran registradas en F5.6-16-06.

## **PROCEDIMIENTO**

Todo el material de vidrio y de plástico debe ser perfectamente lavado con agua, jabón y enjuagado con agua de la llave, agua destilada y finalmente acetona para comprobar que el material quede completamente limpio. (Ver 15.3-01-05, 15.3-01-03).

Las condiciones de trabajo se encuentran descritas en el F5.4-01-20.

La muestra se maneja de acuerdo con el procedimiento P5.8-01 y el instructivo I5.8-01-01.

## **Preparación de la fase móvil**

### **FASE A:**

Medir 750 mL de metano grado HPLC y 250 mL de Metyl ter butil éter grado HPLC en una probeta, mezclar, filtrar a través de una membrana de 0.45  $\mu\text{m}$  utilizando vacío y desgasificar con Helio grado 4.5.

### **FASE B:**

Medir 900 mL de Metyl ter butil éter grado HPLC, 60 mL de Metanol grado HPLC y 40 mL de agua des ionizada en una probeta, mezclar, filtrar a través de una membrana de 0.45  $\mu\text{m}$  utilizando vacío y desgasificar con Helio grado 4.5.

### **FASE C:**

Medir 810 mL de Metyl ter butil éter grado HPLC. 150 mL de Metanol grado HPLC 40 mL de agua desraizada en una probeta, mezclar, filtrar a través de una membrana de 0.45 $\mu\text{m}$  utilizando vacío y desgasificar con Helio grado 4.5

## **Preparación del estándar**

Pesar 5mg de estándar de ( $\beta$ -caroteno, añadir 0.5 mL de éter di etílico y disolver completamente el estándar, evaporar a sequedad en presencia de nitrógeno y aforar a 25 mL con una mezcla de fase A:B (50:50).

Hacer diluciones de 1/100, 1/50, 1/25, 1/10, 1/5 con mezcla de fase.

La solución estándar se almacena en un lugar protegido de la luz y a una temperatura menor a 4 °C.

### Verificación de la concentración del estándar

Preparar una solución estándar de  $\beta$ - caroteno hexano HPLC. Medir la absorbancia en un espectrofotómetro, en una celda de cuarzo de 1 cm y a una longitud de onda de 452 nm con una celda referencia de hexano HPLC.

Calcular la concentración en microgramos por mililitro ( $\mu\text{g}/\text{mL}$ ) mediante la ecuación:

$$\text{Concentración } \left( \frac{\mu\text{g}}{\text{mL}} \right) = \frac{\text{Absorbancia} \times 1000}{\text{Coeficiente de extinción}} \quad [\text{A II.1}]$$

Donde:

P= dilución

Además para las soluciones estándar que han sido guardadas en congelación se puede verificar si el estándar se encuentra en buen estado, midiendo la absorbancia de la solución estándar.

**NOTA:** Pasada la fecha de caducidad, se podrá utilizar el estándar hasta que con él se pueda obtener la curva de calibración en el rango establecido para el análisis.

### Preparación de la muestra

1. Si la muestra es fresca cortar en trozos pequeños y pesar con exactitud en mortero de 1-10 g de muestra dependiendo del contenido de carotenoides existentes en la misma y adicionar inmediatamente 10 % de bicarbonato de sodio para neutralizar los ácidos presentes en la muestra.
2. Si el producto es en polvo pesar con exactitud en mortero entre 0.25 - 2.5 g de muestra dependiendo del contenido de carotenoides existentes en la misma e hidratar con unas gotas de agua.

3. En caso que la muestra contenga gran cantidad de azúcares colocar previamente 10 mL de metanol para facilitar la extracción de los carotenoides.
4. Colocar 10 mL de acetona, mezclar y extraer los pigmentos. El residuo se extrae varias veces, hasta no obtener más color (generalmente se realizan entre 3 y 4 extracciones).

**Extracción:**

5. Tomar 1/4 del extracto cetónico (mezcla de extractos) y colocar en un embudo de separación.
6. Adicionar aproximadamente 25 mL de una mezcla de etil éter: hexano (1:1), seguido de aproximadamente 25 mL de agua destilada y mezclar suavemente para evitar formar emulsiones difíciles de separar. En caso de formarse emulsiones colocar 25 mL de una solución de NaCl 5 % y mezclar suavemente.
7. Reposar hasta separación de dos fases. Los carotenoides se encuentran en la parte superior (fase orgánica). Si la fase inferior mantiene coloración amarilla se re extrae con un volumen de di etil éter: hexano y se unen las fases orgánicas.
8. La etapa 5 a 7 se repite varias veces hasta terminar con los extractos cetónicos.
9. Adicionar una porción de sulfato de sodio anhidro para eliminar las trazas de agua existentes. Este extracto es muy estable a -20 °C.

**Saponificación:**

10. Evaporar el extracto obtenido a sequedad al vacío, cuidando que la temperatura no supere los 40°C (rota-evaporador), hasta eliminar por completo las trazas de acetona.

11. Disolver el extracto seco en 20 mL de di etil éter y 20 mL de la solución al 5 % de NaOH o KOH en metanol y dejar reposar la mezcla en la oscuridad por 2 horas.
12. Colocar en un embudo de separación y dependiendo de la polaridad de los carotenoides, se adicionan 20 mL de hexano o de di etil éter, 20 mL de metanol. 40 mL de NaCl 5 % se mezcla suavemente y se deja reposar hasta separación clara de dos fases. Los carotenoides se encuentran en la fase superior. La fase inferior se descarta si no contiene carotenoides (incolora).
13. Lavar la fase superior varias veces con NaCl 5 % o agua destilada, hasta eliminar todo el KOH residual. Se puede utilizar papel tornasol para confirmar.
14. Evaporar el extracto obtenido a sequedad al vacío, cuidando que la temperatura no supere los 40 °C (rota-evaporador) y recuperar en un matraz de 5 mL con una mezcla de fase (50:50)

## 5. CÁLCULOS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS:

Para hallar la concentración de una muestra, se debe:

Curva de calibración: Realizar la curva de calibración graficando en el eje X la concentración y en el eje Y el área del estándar la cual se ajusta a una ecuación lineal

$$A = a(C) + b \quad [A \text{ II. } 2]$$

Donde:

A= área del estándar

C= concentración del estándar

a= pendiente de la recta

b= corte con el eje Y

**Concentración (mg/mL):** Los valores a y b permanecen constantes, por tanto se debe remplazar el valor del área registrado por el equipo para la muestra y con ello se halla la concentración en mg de estándar por mL de muestra.

**Concentración verdadera (mg/100g):** Esta concentración se encuentra multiplicando la concentración por el volumen al que se aforó y dividiendo para el peso de la muestra.

$$C_2 = \frac{C_1 \times 100 \times D}{P} \quad [A II.3]$$

**Donde:**

$C_1$ = concentración (mg/mL) de la muestra

$C_2$ = concentración verdadera de la muestra (mg/100g)

V= volumen (mL)

P= peso (g)

D= Dilución

100= factor de conversión de unidades

**NOTA:**

En el caso de que no se disponga de helio se puede desgasificar la fase móvil en el ultrasonido colocando previamente éste en la opción desgasificar.

Se puede utilizar un integrador o un convertidor de señal el cual no requiere ser programado.

Si el porcentaje de desviación de una concentración de estándar no es más del 10 % se puede utilizar la curva validada para la vitamina de lo contrario realizar una nueva curva.

Verificar que la integración de cada corrida sea igual a la integración del estándar.  
Verificar que la concentración de la muestra esté dentro de la curva de calibración de lo contrario realizar la dilución respectiva.

Si la concentración de la muestra referencia está fuera del rango de aceptación de las cartas de control, el análisis no se acepta. (Ver P4.9-01, P4.10-01)

Si la concentración de la muestra de referencia está en los límites del rango de aceptación ver P4.11-01

Para asegurar los resultados se sigue los procedimientos P5.9-01 y el instructivo 15.9-01-02

Los cálculos se hacen en una hoja electrónica la cual está protegida con una clave de acceso y un cálculo manual para verificar que la hoja electrónica esté funcionando correctamente. (Ver P5.4-03)

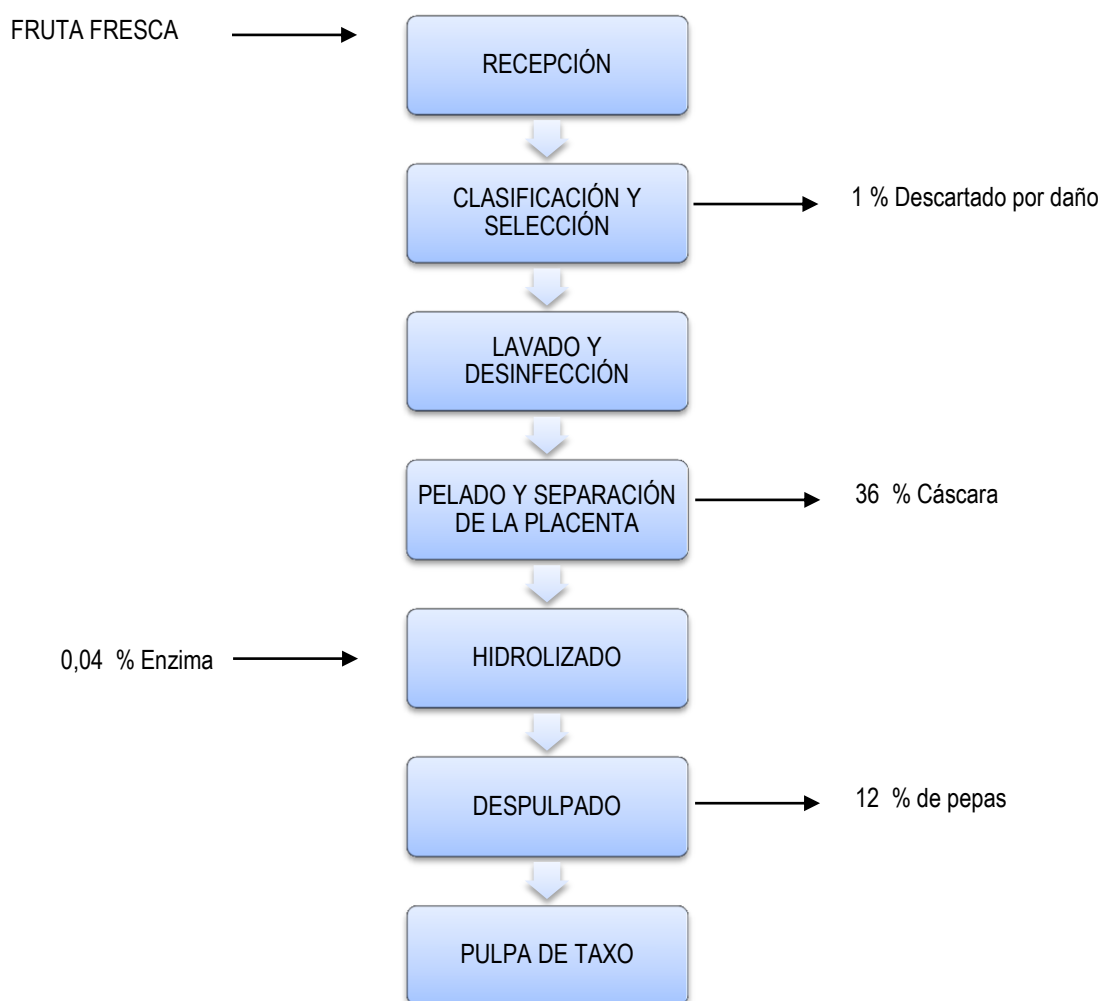
Para emitir el informe de resultados se sigue el procedimiento P5.10-01.

La estimación de la incertidumbre se realiza según el procedimiento P5.2-04.

## ANEXO III

## DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA OBTENCIÓN DE PULPA DE TAXO

Figura A III 1. Diagrama de flujo para la obtención de pulpa de taxo





## ANEXO IV

**HOJA DE ANÁLISIS SENSORIAL PARA LA SELECCIÓN DE LA  
MEJOR FORMULACIÓN DE BASE DESHIDRATADA**

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**



**TEST DE EVALUACIÓN SENSORIAL PARA LA BASE DESHIDRATADA**

Nombre:.....

Fecha:.....

Hora:.....

A continuación se les presentarán dos muestras de jugo de taxo, con diferente codificación, inicialmente deben identificar sus muestras asignadas y contestar sobre las siguientes propiedades organolépticas según su apreciación tomando, en cuenta que en lado izquierdo se presenta el 0 % de la propiedad y en el derecho el 100 %.

- Apariencia

Muestra Heterogénea

Uniforme

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

- Color Amarillo

Débil

Intenso

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

- Aroma (a taxo)

Débil

Intenso

---

---

---

---

- Sabor a taxo

Débil

Intenso

---

---

---

---

- Presencia de sabores extraños

Ninguno

Intenso

---

---

---

---

Observaciones:

---

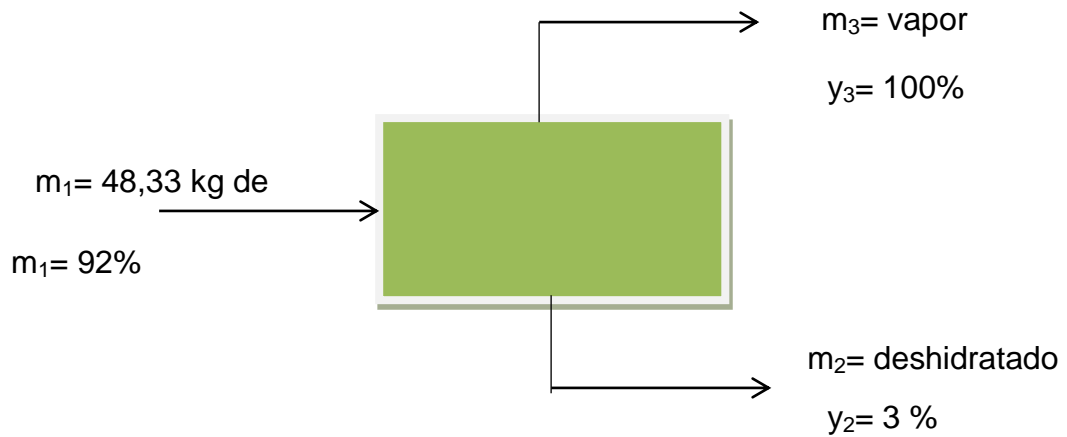
---

¡MUCHAS GRACIAS POR SU COLABORACIÓN!

## ANEXO V

## BALANCE DE MASA Y ENERGÍA DEL PROCESO

## Balance de masa



$$m_1 = m_2 + m_3 \quad (-1)$$

$$0,92 m_1 = 0,03 m_2 + m_3$$

$$-m_1 = -m_2 - m_3$$

$$0,92 m_1 = 0,03 m_2 + m_3$$

---


$$0,08 m_1 = 0,97 m_2 + 0 m_3$$

$$m_2 = 0,08 (48,33) / 0,97$$

$$\mathbf{m_2 = 3,98 \text{ kg de polvo deshidratado}}$$

$$m_1 = m_2 + m_3$$

$$48,33 \text{ kg} = 3,98 \text{ kg} + m_3$$

$$\mathbf{m_3 = 44,35 \text{ kg de humedad}}$$

### Balance de Energía

A continuación obtenemos el Q que se requiere para llevar la pulpa de temperatura ambiente a la de evaporación de 120 °C.

$$Q_{\text{total}} = Q_1 + Q_2 \quad [\text{A V. 1}]$$

$$Q_1 = m_1 * C_p (T_2 - T_1) \quad [\text{A V. 2}]$$

$$Q_1 = 48,33 \text{ kg} * 0,95 \text{ kcal / kg } ^\circ\text{C} (120 - 18) ^\circ\text{C}$$

$$Q_1 = 4\ 683,17 \text{ kcal}$$

$$Q_2 = m_2 * C_p \text{ del agua} \quad [\text{A V. 3}]$$

$$Q_2 = 44,35 \text{ kg} * 593 \text{ kcal / kg}$$

$$Q_2 = 26\ 299,55 \text{ kcal}$$

$$Q_{\text{total}} = Q_1 + Q_2$$

$$Q_{\text{total}} = 4\ 683,17 \text{ kcal} + 26\ 299,55 \text{ kcal}$$

$$Q_{\text{total}} = 30\ 982,72 \text{ kcal}$$

### Tiempo dentro del secador

Potencia = trabajo / tiempo

$$P = W / t; \text{ donde } \mathbf{trabajo = calor} \quad [\text{A V. 4}]$$

$$\mathbf{W = Q} \quad [\text{AVI. 5}]$$

- Suponemos que el secador tiene una potencia de 1,12 Kw, es decir:

$$4,50 \text{ Kw} * \frac{860,42 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}}{1 \text{ Kw}} = 3871,89 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} ; \text{ es la potencia (P)}$$

$$t = W/P \text{ entonces } Q / P$$

$$t = 30\ 982,72 \text{ kcal} / 3871,89 \text{ kcal/h}$$

$$\mathbf{t = 8 h}$$

## ANEXO VI

### ELEMENTOS DEL COSTO DE PRODUCCIÓN DE LA BASE DESHIDRATADA DE TAXO

**Tabla A VI 1. Construcciones**

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
			USD	USD
Adecuación	m <sup>2</sup>	150	36,35	5453
<b>Total</b>				<b>5452,5</b>

**Tabla A VI 2. Muebles y enseres**

CONCEPTO	CANTIDAD	VALOR UNITARIO USD	VALOR TOTAL USD
Dispensador desinfectante	3	3,5	10,5
Dispensador de jabón	3	3,8	11,4
Dispensador de papel	3	3,8	11,4
Botiquín de primeros Ax.	3	35	105
Extintores	3	30	90
Subtotal			228,3
2% Imprevistos			4,566
<b>Total</b>			<b>232,866</b>

**Tabla A VI 3. Utensilios y accesorios**

CONCEPTO	CANTIDAD	VALOR UNITARIO USD	VALOR TOTAL USD
Basureros	4	3,8	15,2
Escobas	4	2	8
Mandil	8	5	40
Manguera	1	15	15
Par de botas	8	5	40
Par de guantes	30	1,25	37,5
Mascarillas	10	1	10
Trapeador	2	2	4
Uniformes	8	20	160
Desinfectantes	2	10	20
Subtotal			349,7
2% Imprevistos			6,994
<b>Total</b>			<b>356,694</b>

**Tabla A VI 4. Materia prima**

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO USD	VALOR ANUAL USD
Taxo	Kg	36500	0,85	31025
Subtotal				31025
2% Imprevistos				621
<b>Total</b>				<b>31646</b>

**Tabla A VI 5. Materiales directos**

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO USD	VALOR TOTAL USD
Fundas	unidades (100gr)	14600	0,1	1460
Hipoclorito 2%	Litros	9,125	2,35	21
Rapidase Carrot	Kg	7,3	2,08	15
Maltodextrina	Kg	514,65	1,2	618
				0
<b>Subtotal</b>				2114
<b>2% Imprevistos</b>				42
<b>Total</b>				<b>2156</b>

Tabla A VI 6. Mano de obra directa

Concepto	Cantidad	Valor Unitario USD	Valor Mensual USD	Valor Anual USD
Obreros	3	354	1062	12744
Supervisores	2	500	1000	12000
<b>Subtotal</b>			2062	24744
<b>20% Cargas sociales</b>			412	4949
<b>Total</b>			<b>2474</b>	<b>29693</b>

Tabla A VI 7. Suministros

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD ANUAL	VALOR UNITARIO USD	VALOR ANUAL USD
Agua	m <sup>3</sup>	636	0,32	204
Combustible	kg	200	0,15	30
Luz eléctrica	kW	12960	0,12	1555
Teléfono	min	1500	0,04	60
<b>Subtotal</b>				<b>1849</b>
<b>2% Imprevistos</b>				37
<b>Total</b>				<b>1886</b>

Tabla A VI 8. Mantenimiento

CONCEPTO	INVERSIÓN TOTAL	PORCENTAJE ANUAL	VALOR MENSUAL	VALOR ANUAL
Construcción	5453	1%	4,54	54,53
Maquinaria y equipos	71833,50	1%	59,86	718,34
Muebles y enseres	232,87	1%	0,19	2,33
<b>Subtotal</b>			<b>64,60</b>	<b>775,19</b>
<b>2% Imprevistos</b>			1,29	15,50
<b>Total</b>			<b>65,89</b>	<b>790,69</b>

Tabla A VI 9. Seguros

CONCEPTO	INVERSIÓN TOTAL	PORCENTAJE ANUAL	VALOR MENSUAL	VALOR ANUAL
Construcción	5453	0,25%	1,14	14
Maquinaria y equipos	71833,50	0,25%	14,97	180
<b>Total</b>			<b>16</b>	<b>193</b>

**Tabla A VI 10. Activos diferidos**

<b>CONCEPTO</b>	<b>VALOR TOTAL USD</b>
Organización del proyecto	3000
<b>Total Activos Diferidos</b>	<b>3000</b>

**Tabla A VI 11. Estado de fuentes y usos**

<b>INVERSIÓN</b>	<b>VALOR USD</b>	<b>% INVERSIÓN TOTAL</b>	<b>RECURSOS PROPIOS</b>		<b>RECURSOS TERCEROS</b>	
			<b>%</b>	<b>VALORES</b>	<b>%</b>	<b>VALORES</b>
Activos fijos	77875,56	90,13%	40%	31150,224	54%	46725,34
Activos diferidos	3000	3,47%	0	0	3,47%	3000,00
Capital de trabajo	5530,37	6,40%	0	0	6,40%	5530,37
<b>Inversión total</b>	<b>86405,93</b>	<b>100,00%</b>	<b>40%</b>	<b>31150,224</b>	<b>64%</b>	<b>55255,70</b>

**Tabla A VI 12. Condiciones de crédito**

<b>CONCEPTO</b>	<b>CONDICIÓN</b>
Monto	55255,70
Tasa de interés	11,20%
Plazo	5
Período de pago	Mensual
Forma de amortización	Dividendo constante



Tabla A VI 13. Amortizaciones y gastos financieros

PERÍODO (MESES)	AMORTIZACIÓN	INTERÉS	DIVIDENDO	SALDO
0				55255,70
1	691,19	515,72	1206,91	54564,51
2	697,64	509,27	1206,91	53866,87
3	704,15	502,76	1206,91	53162,71
4	710,73	496,19	1206,91	52451,99
5	717,36	489,55	1206,91	51734,63
6	724,05	482,86	1206,91	51010,57
7	730,81	476,10	1206,91	50279,76
8	737,63	469,28	1206,91	49542,13
9	744,52	462,39	1206,91	48797,61
10	751,47	455,44	1206,91	48046,14
11	758,48	448,43	1206,91	47287,66
12	765,56	441,35	1206,91	46522,10
13	772,71	434,21	1206,91	45749,39
14	779,92	426,99	1206,91	44969,48
15	787,20	419,72	1206,91	44182,28
16	794,54	412,37	1206,91	43387,74
17	801,96	404,95	1206,91	42585,78
18	809,44	397,47	1206,91	41776,33
19	817,00	389,91	1206,91	40959,34
20	824,62	382,29	1206,91	40134,71
21	832,32	374,59	1206,91	39302,39
22	840,09	366,82	1206,91	38462,30
23	847,93	358,98	1206,91	37614,37
24	855,84	351,07	1206,91	36758,53
25	863,83	343,08	1206,91	35894,69
26	871,89	335,02	1206,91	35022,80
27	880,03	326,88	1206,91	34142,77
28	888,25	318,67	1206,91	33254,52
29	896,54	310,38	1206,91	32357,99
30	904,90	302,01	1206,91	31453,08
31	913,35	293,56	1206,91	30539,73
32	921,87	285,04	1206,91	29617,86
33	930,48	276,43	1206,91	28687,38
34	939,16	267,75	1206,91	27748,22
35	947,93	258,98	1206,91	26800,29
36	956,78	250,14	1206,91	25843,52
37	965,71	241,21	1206,91	24877,81
38	974,72	232,19	1206,91	23903,09

39	983,82	223,10	1206,91	22919,28
40	993,00	213,91	1206,91	21926,28
41	1002,27	204,65	1206,91	20924,01
42	1011,62	195,29	1206,91	19912,39
43	1021,06	185,85	1206,91	18891,33
44	1030,59	176,32	1206,91	17860,74
45	1040,21	166,70	1206,91	16820,52
46	1049,92	156,99	1206,91	15770,60
47	1059,72	147,19	1206,91	14710,89
48	1069,61	137,30	1206,91	13641,28
49	1079,59	127,32	1206,91	12561,68
50	1089,67	117,24	1206,91	11472,01
51	1099,84	107,07	1206,91	10372,17
52	1110,10	96,81	1206,91	9262,07
53	1120,47	86,45	1206,91	8141,60
54	1130,92	75,99	1206,91	7010,68
55	1141,48	65,43	1206,91	5869,20
56	1152,13	54,78	1206,91	4717,07
57	1162,89	44,03	1206,91	3554,18
58	1173,74	33,17	1206,91	2380,45
59	1184,69	22,22	1206,91	1195,75
60	1195,75	11,16	1206,91	0,00
<b>Gastos Financieros (0 -12 meses)</b>		<b>5749,34</b>		

**Tabla A VI 14.** Depreciación de activos fijos y Amortización de activos diferidos

<b>Depreciación de activos fijos</b>				
<b>CONCEPTO</b>	<b>VALOR</b>	<b>PORCENTAJE</b>	<b>VIDA ÚTIL</b>	<b>DEPRECIACIÓN ANUAL</b>
Construcciones	5452,5	5%	20	272,6
Maquinaria y equipos	71833,5	8%	12,5	5746,7
Utensilios y accesorios	356,69	8%	12,5	28,5
<b>Total</b>				6047,8
<b>Amortización de activos diferidos</b>				
<b>CONCEPTO</b>	<b>VALOR INICIAL</b>	<b>PORCENTAJE</b>	<b>VIDA ÚTIL</b>	<b>DEPRECIACIÓN ANUAL</b>
Organización del proyecto	3000	15%	6,66667	450
<b>Total</b>				450