



UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

# **Obtención de una fuente de fibra dietaria a partir de residuos agroindustriales de pasifloras**

**María Alejandra Caicedo García**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Departamento de Ingeniería Química  
Manizales, Colombia



# **Obtención de una fuente de fibra dietaria a partir de residuos agroindustriales de pasifloras**

**María Alejandra Caicedo García**

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Magister en Ingeniería Química**

Director:

PhD. Carlos Eduardo Orrego Alzate

Línea de Investigación:

Aprovechamiento de residuos agroindustriales

Grupo de Investigación:

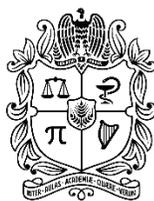
Grupo de Alimentos Frutales

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Departamento de Ingeniería Química

Manizales, Colombia

2021



UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

# **Obtaining a source of dietary fiber from agroindustrial residues of passionflower fruit**

**María Alejandra Caicedo García**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Departamento de Ingeniería Química  
Manizales, Colombia  
2021

# Agradecimientos

En el presente trabajo de tesis agradezco a Dios por permitirme culminar este proyecto.

A la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales por brindarme la oportunidad de continuar avanzando en mis estudios de postgrado.

Al grupo de investigación en Alimentos Frutales (GAF), el cual me impulso a investigar, participar de diferentes proyectos en colaboración y apoyo de Fontagro, a cada uno de sus integrantes por sus maravillosas cualidades y compañerismo.

A mi director de Tesis, el docente titular Carlos Eduardo Orrego por su esfuerzo, paciencia, y dedicación, quien, con sus conocimientos, y su valiosa experiencia dirigió, y apoyo para seguir este camino de tesis y culminar el mismo, siempre con la mejor disposición.

Agradezco a mis padres, hermana, abuelos, esposo, e hija por ser un gran impulso, respaldo y motivación para nunca dejar sin terminar lo que inicie con tanto anhelo.

Todo esto no hubiera sido posible sin el incondicional apoyo que me otorgaron y el cariño que me inspiro mi familia y siempre estaban pendientes de mi proceso. Las palabras nunca serán suficiente para expresar mis más sinceros agradecimientos.

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional a las que me encantaría agradecerles su amistad, consejos y compañía en los momentos que han permitido mi formación y crecimiento.

A todos ustedes, muchas gracias.

# Resumen

El objetivo de la presente investigación fue obtener concentrados ricos en fibra dietaría a partir del albedo con aprovechamiento de residuos agroindustriales de maracuyá obtenidos de una empresa procesadora de frutas de la región. Luego de caracterizado el residuo se procesó, se optimizaron las alternativas y se realizó una evaluación preliminar de los aspectos técnicos, de costos y ambientales del proceso productivo a nivel industrial, usando el software de simulación Super Pro Designer ®.

La optimización de la extracción de las fracciones de fibra a partir del uso de etanol y agua como solventes a diferentes temperaturas de extracción y de secado por medio del análisis estadístico de un diseño central compuesto desarrollado en el software de diseño de experimentos y optimización Design Expert®, para así elegir el mejor solvente (agua) que brindara ventajas económicas, ambientales y de rendimiento del producto de interés.

La etapa experimental se desarrolló alrededor de las condiciones de temperatura de extracción y de secado de 60 °C, bajo las cuales se logró el mayor contenido de fibra soluble del 16% aproximadamente. Las temperaturas de extracción y secado optimizadas por medio del análisis de superficie de respuesta para la obtención de las fracciones ricas en fibra fueron 63°C y 61°C, respectivamente, condiciones que permitieron obtener rendimientos del 26% de fibra dietaría soluble (FDS), 61% de fibra Insoluble (FDI) y 87 % de Fibra Total (FDT). Las propiedades de hidratación, absorción de aceite de la fracción obtenida muestran valores altos que indican que son potenciales para ser aplicada en diferentes procesos industriales y/o tecnológicos o enriquecimiento de alimentos.

En el análisis preliminar de costos del proceso productivo la inversión inicial del proyecto está alrededor de \$ 2,147,137,750.00, cifra obtenida al valorar las etapas de la ingeniería del proceso tales como el costo total de equipos, maquinaria, muebles, infraestructura, instalaciones eléctricas, tuberías y conexiones, aislamiento, adaptación del terreno, edificios auxiliares, costos de materia prima, mano de obra, servicios, gastos de estos valores anuales. Luego del primer año en el que se realizaría el montaje y arranque de la planta, el volumen de las ventas estimadas del producto es de 648,867.00 unidades por año y el tiempo de recuperación de la inversión se calculó en 3 años.

**Palabras clave:** Fibra dietaría total, Fibra dietaría soluble, Fibra dietaría Insoluble, Albedo, *Passiflora Edulis*, residuo agroindustrial.

# Abstract

The objective of this research was to obtain concentrates rich in dietary fiber from albedo with the use of agro-industrial residues of passion fruit obtained from a fruit processing company in the region. After characterizing the waste, it was processed, the alternatives were optimized and a preliminary evaluation of the technical, cost and environmental aspects of the production process at an industrial level was carried out, using the Super Pro Designer simulation software.

The optimization of the extraction of fiber fractions from the use of ethanol and water as solvents at different extraction and drying temperatures through the statistical analysis of a composite central design developed in the optimization and design-of-experiments software Design Expert® in order to choose the solvent that will provide economic, environmental and performance of the product of interest.

The experimental stage that was developed around the extraction and drying temperature conditions of 60 ° C, under which it was achieved the highest soluble fiber content of approximately 16%. The extraction and drying temperatures, optimized by means of the response surface analysis to obtain the fractions rich in fiber were 63 ° C and 61 ° C, respectively, conditions that allowed obtaining yields of 26% of soluble dietary fiber (FDS) , 61% Insoluble fiber (FDI) and 87% Total Fiber (FDT). The hydration and oil absorption properties of the fraction obtained show high values that indicate that they are potential to be applied in different industrial and / or technological processes or food enrichment.

In the preliminary cost analysis of the production process, the initial investment of the project is around \$ 2,147,137,750.00, a figure obtained by evaluating the stages of the process engineering such as the total cost of equipment, machinery, furniture, infrastructure, electrical installations, pipes and connections, insulation, adaptation of the terrain, auxiliary buildings, costs of raw materials, labor, services, expenses of these annual values. After the first year in which the assembly and start-up of the plant would be carried out, the estimated sales volume of the product is 648,867.00 units per year and the payback time for the investment was calculated in 3 years.

**Keywords: Total dietary fiber, soluble dietary fiber, insoluble dietary fiber, Albedo, Passiflora Edulis, agro-industrial waste.**

# Contenido

	<u>Pág.</u>
<b>Lista de figuras .....</b>	<b>I</b>
<b>Lista de tablas .....</b>	<b>II</b>
<b>Lista de abreviaturas .....</b>	<b>IV</b>
<b>1. Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Marco teórico .....</b>	<b>2</b>
2.1    Introducción .....	2
2.1.1    Fruto y cosecha .....	4
2.1.2    Procesamiento.....	5
2.1.3    Importancia alimentaria y usos .....	5
2.1.4    Aplicaciones biotecnológicas de los coproductos de maracuyá .....	7
2.1.5    Fibra Dietaría .....	11
2.1.6    Composición de la fibra dietética .....	14
2.1.7    Beneficios para la salud de la fibra dietética .....	14
2.2    Propiedades Funcionales tecnológicas de la fibra dietética .....	14
2.2.1    Tamaño de partícula.....	15
2.2.2    Capacidad de hidratación.....	16
2.2.3    Capacidad de retención de agua .....	17
2.2.4    Capacidad de retención de aceite.....	18
2.3    Métodos analíticos para estudiar las fibras dietéticas .....	18
2.3.1    Método enzimático- gravimétrico .....	19
2.3.2    Método enzimático-químico y otros específicos .....	19
2.4    Enzimas empleadas para la producción de concentrados de fibra dietaría ...	20
2.4.1    Amilasas .....	20
2.4.2    Proteasas.....	20
2.4.3    α- amiloglucosidasa.....	20
2.5    NTC para la fibra dietaría comercial en la industria alimentaria.....	21
2.6    Metodología de Superficie de Respuesta (RSM) .....	21
2.6.1    Diseño factorial completo de tres niveles .....	21
2.7    Aplicativos para el análisis técnico, económico y ambiental .....	21
<b>3. Antecedentes, estado del arte, planteamiento del problema y objetivos .....</b>	<b>23</b>
3.1    Antecedentes.....	23
3.2    Estado del arte.....	26
3.3    Planteamiento del problema.....	33
3.4    Pregunta de investigación .....	35
3.5    Justificación del problema .....	35
3.6    Objetivos.....	38
3.6.1    General .....	38
3.6.2    Específicos .....	38
3.6.3    Metodología General .....	39
<b>4. Obtención y caracterización de una fuente de concentrado de fibra dietaría a partir del albedo del maracuyá “<i>Passiflora Edulis</i>” .....</b>	<b>40</b>

4.1	Introducción .....	40
4.2	Metodología .....	41
4.2.1	Medición del contenido de metales pesados y residuales agroquímicos.....	41
4.2.2	Extracción de fibra dietaría.....	42
4.2.3	Recepción .....	43
4.2.4	Separación del Albedo .....	43
4.2.5	Reducción del tamaño de partícula del albedo.....	43
4.2.6	Extracción .....	44
4.2.7	Secado.....	45
4.2.8	Tratamiento enzimático .....	45
4.2.9	Capacidad de retención de agua (CRA) .....	46
4.2.10	Capacidad de retención de aceite (CRO) .....	46
4.3	Determinación de humedad .....	46
4.4	Análisis Microbiológico .....	47
4.5	Análisis Estadístico.....	47
4.6	Resultados y discusión.....	48
4.6.1	Medición de metales pesados y residuales agroquímicos. ....	48
4.6.2	Rendimientos en la adecuación de la materia prima.....	51
4.6.3	Determinación del contenido de fibra dietaría. ....	51
4.6.4	Análisis microbiológico del concentrado de fibra dietaría en el abedo de maracuyá.....	58
4.7	Conclusiones .....	59
<b>5. Optimización de las condiciones de producción para la obtención de concentrados de fibra dietaría .....</b>		<b>61</b>
5.1	Introducción .....	61
5.2	Metodología .....	62
5.2.1	Diseño experimental.....	62
5.2.2	Análisis estadístico .....	64
5.3	Resultados y discusión.....	64
5.3.1	Análisis estadístico .....	65
5.3.2	Efecto de la temperatura de extracción y de secado sobre la concentración de fibra dietaría soluble.....	67
5.3.3	Efecto de la temperatura de secado y de extracción sobre la concentración de fibra dietaría insoluble. ....	70
5.3.4	Efecto de la temperatura de extracción y de secado sobre la fracción de Fibra Dietaría Total. ....	73
5.4	Optimización del proceso de obtención de concentrados de fibra dietaría. ...	76
5.5	Conclusiones .....	80
<b>6. Análisis técnico, económico y ambiental preliminares del proceso de obtención de concentrados de fibra dietaría .....</b>		<b>81</b>
6.1	Introducción .....	81
6.2	Metodología .....	81
6.2.1	Simulación .....	81
6.2.2	Análisis económico.....	86
6.2.3	Análisis ambiental.....	88
6.3	Resultados y discusión.....	88
6.3.1	Simulación .....	88
6.3.2	Análisis Ambiental .....	91

6.3.3	Análisis económico.....	94
6.3.4	Análisis ambiental.....	99
6.4	Conclusiones .....	102
<b>7.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>104</b>
7.1	Conclusiones .....	104
7.2	Recomendaciones.....	105
<b>8.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>105</b>
<b>9.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>119</b>

## Lista de figuras

<b>Figura 1</b> producción y rendimiento del cultivo de maracuyá 2007-2017 en Colombia. Fuente: AGRONET. Ministerio de agricultura y desarrollo rural. Secretarías departamentales. Alcaldías municipales .....	3
<b>Figura 2</b> Distribución de documentos científicos sobre maracuyá por áreas de estudio. [115] .....	33
<b>Figura 3</b> Diagrama de flujo de proceso empleado para la obtención de concentrados de fibra dietaría a partir del albedo de la maracuyá.....	42
<b>Figura 4</b> Albedo de maracuyá obtenido de los residuos agroindustriales .....	43
<b>Figura 5</b> Secador de Bandejas, Thermoscientific .....	45
<b>Figura 6</b> Balanza de humedad (Precisa XM 66-halógeno).....	46
<b>Figura 7</b> Resultados análisis residuales agroquímicos y metales pesados. Finca A .....	49
<b>Figura 8</b> Resultados análisis residuales agroquímicos y metales pesados finca B. ....	50
<b>Figura 9</b> Concentrado de fibra dietaría soluble obtenida a partir del albedo de maracuyá. ....	53
<b>Figura 10</b> Concentrado de fibra dietaría insoluble obtenida a partir del albedo de maracuyá. ....	54
<b>Figura 11</b> Concentrado de fibra dietaría total obtenida a partir del albedo de maracuyá.	55
<b>Figura 12</b> Valores predichos vs Valores actuales FDS.....	68
<b>Figura 13</b> Gráfica de Contorno de fibra dietaría soluble .....	69
<b>Figura 14</b> Superficie de respuesta de fracción de fibra dietaría soluble en función de la temperatura de extracción y de secado. ....	70
<b>Figura 15</b> Valores predichos y valores actuales Fibra dietaría Insoluble .....	71
<b>Figura 16</b> . Gráfica de Contorno de fibra dietaría insoluble. ....	72
<b>Figura 17</b> Superficie de respuesta de fracción de fibra dietaría insoluble en función de la temperatura de extracción y de secado. ....	73
<b>Figura 18</b> Valores predichos y valores actuales Fibra dietaría Total.....	74
<b>Figura 19</b> Gráfica de Contorno de fibra dietaría Total.....	75
<b>Figura 20</b> Superficie de respuesta de fracción de fibra dietaría total en función de la temperatura de extracción y de secado. ....	76
<b>Figura 21</b> Área óptima de condiciones de obtención de concentrados de fibra dietaría. 78	
<b>Figura 22</b> Diagrama de flujo del proceso productivo de obtención de concentrados de fibra dietaría. A. Etapa de acondicionamiento de la materia prima (residuos agroindustriales) B. Etapas de secado, llenado y empaque del producto terminado. ....	82
<b>Figura 23</b> Kg de residuos generados por batch del proceso productivo de obtención de concentrados de fibra dietaría. ....	92
<b>Figura 24</b> Diagrama de Gantt del proceso productivo de obtención de concentrados de fibra Dietaría.....	94

## Lista de tablas

<b>Tabla 1</b> Área sembrada, área cosechada, producción y rendimiento del cultivo de maracuyá (2007-2017). Fuente: Ministerio de agricultura y desarrollo rural. Secretarías departamentales. Alcaldías municipales. Producción expresada en fruto fresco .....	4
<b>Tabla 2</b> Periodos de cosecha de la maracuyá en Latinoamérica (Passionfruitjuice 2016)	5
<b>Tabla 3</b> Contenido vitamínico y mineral del jugo de maracuyá (Passionfruitjuice 2016) ...	6
<b>Tabla 4</b> Algunos estudios que reportan transformaciones de residuos del maracuyá .....	8
<b>Tabla 5</b> Polisacáridos presentes en la pared celular de las plantas .....	13
<b>Tabla 6</b> Propiedades de hidratación y adsorción de aceite de diferentes fuentes de fibra dietaria .....	16
<b>Tabla 7</b> Composición, aplicaciones, propiedades de compuestos bioactivos obtenidos de la cascara de maracuyá. [94] .....	27
<b>Tabla 8</b> Estudios previos de fuentes de fibra dietaria en residuos de pasifloras.....	29
<b>Tabla 9</b> Composición y aplicación del bagazo de Pasiflora [94] .....	31
<b>Tabla 10</b> Condiciones de temperatura de extracción y secado. ....	44
<b>Tabla 11</b> Métodos de análisis microbiológicos aplicados a la muestra de albedo de maracuyá. ....	47
<b>Tabla 12</b> Resultados de concentrado de fibra dietaria soluble (FDS), insoluble (FDI) y total (FDT) a partir del pre tratamiento del albedo de maracuyá .....	51
<b>Tabla 13</b> Propiedades tecnológicas de los concentrados de fibra dietaria. Solvente agua .....	52
<b>Tabla 14</b> Propiedades tecnológicas de los concentrados de fibra dietaria. Solvente etanol .....	52
<b>Tabla 15</b> Concentraciones de fibra dietaria a partir de residuos de frutas .....	56
<b>Tabla 16</b> Análisis microbiológico obtenido en el albedo de maracuyá. ....	59
<b>Tabla 17</b> Niveles del diseño experimental .....	63
<b>Tabla 18</b> Valores del diseño experimental central compuesto de 2 variables .....	63
<b>Tabla 19</b> Resultados del diseño experimental central compuesto, obtención de fracciones de fibra dietaria. ....	65
<b>Tabla 20</b> . Coeficientes de regresión de variables de respuesta de obtención de concentrados de fibra dietaria. ....	66
<b>Tabla 21</b> Resultados del análisis multivariado ANOVA para la obtención de concentrados de fibra dietaria. ....	66
<b>Tabla 22</b> Condiciones para la optimización de temperatura de extracción y secado para la obtención de concentrados de fibra dietaria. ....	77
<b>Tabla 23</b> Solución de condiciones de optimización.....	79
<b>Tabla 24</b> Composición de la Materia Prima.....	83
<b>Tabla 25</b> Costo Unitario de Materiales del proceso de obtención de concentrados de fibra dietaria. Valores en pesos colombianos. ....	87
<b>Tabla 26</b> Consumo de materias primas.....	89
<b>Tabla 27</b> Operarios.....	89
<b>Tabla 28</b> Sección de recepción, lavado de fruta y separación del albedo del maracuyá.	89

<b>Tabla 29</b> Sección de preparación de concentrado de fibra dietaría.....	90
<b>Tabla 30</b> Horas Trabajadas en el proceso productivo.....	90
<b>Tabla 31</b> Emisiones del proceso productivo de obtención de concentrados de fibra dietaría .....	91
<b>Tabla 32</b> Residuos totales obtenidos del proceso productivo de obtención de concentrados de fibra dietaría. ....	91
<b>Tabla 33</b> Consumo de energía estándar .....	92
<b>Tabla 34</b> Tiempos de operación.....	93
<b>Tabla 35</b> costos e inversión preliminar del proceso productivo de obtención de concentrados de fibra dietaria .....	95
<b>Tabla 36</b> Inversión total .....	97
<b>Tabla 37</b> Costos de materiales asociados a la materia prima, agua del proceso y material de empaque del proceso productivo. ....	97
<b>Tabla 38</b> Límites máximos permisibles de parámetros fisicoquímicos de actividades productivas de agroindustria. ....	100
<b>Tabla 39</b> Técnicas de eliminación en función de la contaminación orgánica del agua residual (Effluent Treatment Techniques (TGN A4) Enviroment Agency UK, 2002) .....	101
<b>Tabla 40</b> Coeficientes de variación de concentrado de resultados de concentrado de fibra dietaría soluble (FDS), insoluble (FDI) y total (FDT) a partir del pre tratamiento del albedo de maracuyá, usando como solvente agua. ....	119
<b>Tabla 41</b> Coeficientes de variación de concentrado de resultados de concentrado de fibra dietaría soluble (FDS), insoluble (FDI) y total (FDT) a partir del pre tratamiento del albedo de maracuyá, usando como solvente etanol.....	119
<b>Tabla 42</b> Coeficiente de variación de los resultados de las Propiedades tecnológicas de los concentrados de fibra dietaría. Solvente Agua .....	120
<b>Tabla 43</b> Coeficiente de variación de los resultados de las Propiedades tecnológicas de los concentrados de fibra dietaría. Solvente Etanol.....	120

## Lista de abreviaturas

Símbolo	Término	Símbolo	Término	Símbolo	Término
BNA	Beneficio Neto actualizado	Hr-h	Horas- Hombre trabajadas	VAN	Valor actual Neto
CH	Capacidad de hinchamiento	MP	Kg de materia prima	VPN	Valor presente neto
CFC	Costo fijo de capital directo	ND	Dato no disponible		
CRA	Capacidad de retención de agua	RSM	Metodología de Superficie de respuesta		
CRO	Capacidad de retención de aceite.	SSED	Solidos Sedimentables		
DBO	Demanda bioquímica de Oxígeno	SST	Solidos Suspendidos Totales		
DQO	Demanda química de Oxígeno	T_Ext	Temperatura de extracción		
FD	Fibra Dietaría	TIR	Tasa Interna de retorno		
FDI	Fibra dietaría Insoluble	TPC	Costo total de la empresa		
FDS	Fibra dietaría Soluble	TPDC	Costo total directo de la planta		
FDT	Fibra dietaría total	TPIC	Costo total indirecto de la planta		

# 1. Introducción

Actualmente el desarrollo industrial trae consigo un aumento considerable de generación de residuos, por lo que es de gran importancia implementar, desarrollar técnicas o métodos que nos permitan darle valor agregado. Dado al crecimiento del mercado y las exigencias, la transformación de productos agrícolas ha sido un pilar de los procesos industriales en muchas empresas. En Colombia, las industrias del procesamiento de frutas generan alrededor de 71,943,813.00 toneladas de residuos sólidos vegetales.[1] Los residuos aumentan la contaminación ambiental en aguas, suelos, y atmosferas, y ponen en riesgos la salud de la población con la proliferación de enfermedades. Dada esta situación varias investigaciones se han centrado en buscar alternativas para mitigar su impacto ambiental por medio del refuerzo de buscar posibles aplicaciones industriales que representen beneficios económicos como la identificación de compuestos bioactivos aplicables en las empresas de alimentos, que cumplan con los estándares de calidad e inocuidad necesarios. En los beneficios económicos se tendría la disminución de los gastos asociados a la disposición, el costo por tonelada de residuos sólidos, en algunos países latinoamericanos oscila entre 30 y 80 US\$ en recolección , transporte de 10 a 20 US\$ y disposición final en rellenos de 10 a 20 US\$.[2]

Los residuos agroindustriales con alto valor de fibra dietaría total o fibra dietaría soluble se pueden emplear en la industria de alimentos para consumo en animales y humanos. Por ejemplo los residuos de maracuyá tiene un valor alto de fibra dietaría total de 66.9 %.[3]

El objetivo del presente trabajo de investigación se centró en obtener concentrados de fibra dietaría a partir del albedo de maracuyá de residuos agroindustriales mediante la evaluación, optimización y análisis preliminar de las mejores condiciones del proceso industrial, su impacto ambiental, económico y técnico.

## 2. Marco teórico

### 2.1 Introducción

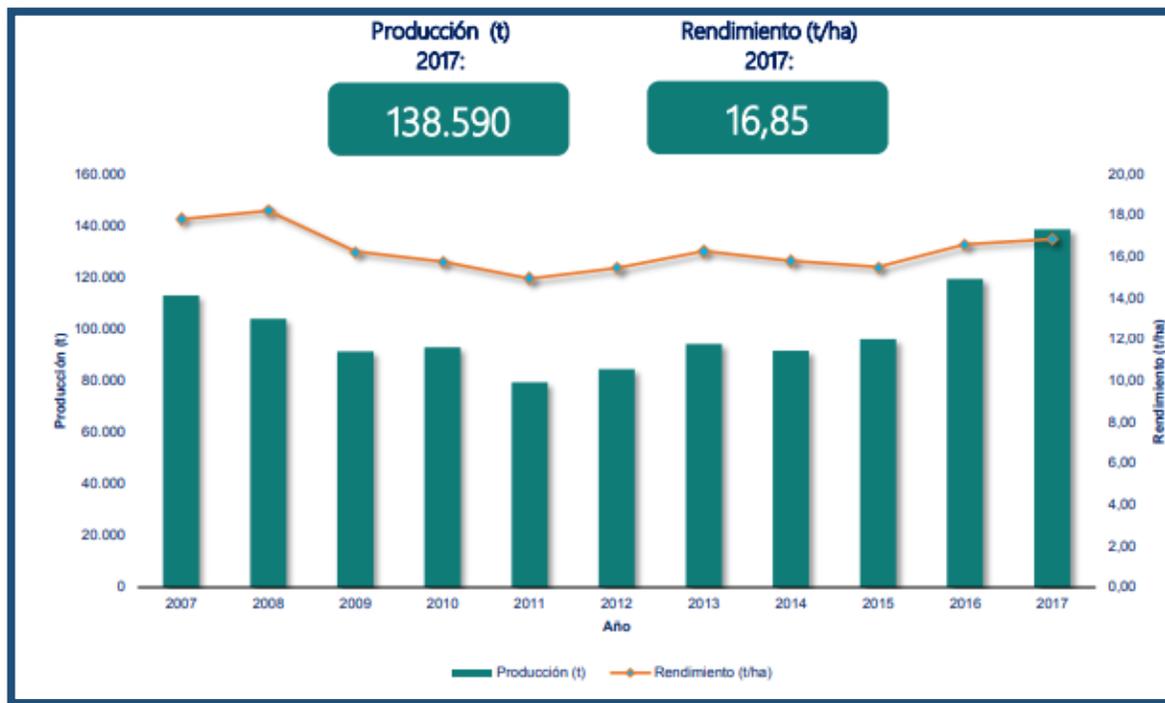
El fruto comúnmente conocido como fruta de la pasión o maracuyá, es prominente en la familia Passifloraceae (cuyas especies son aproximadamente 520) y de gran importancia económica. Las pasifloras están ampliamente distribuida en las Américas, donde Colombia y Brasil albergan aproximadamente 170 y 150 especies, respectivamente. El interés económico en estas especies se debe a la producción de fruta para consumo u obtención de derivados y sus propiedades cosméticas y medicinales.[4]

Las especies comestibles más populares son la 'maracuyá púrpura' (*Passiflora edulis* Sims), 'granadilla' (*Passiflora ligularis* Juss.), 'Gulupa' (*Passiflora edulis* Sims. Fo *edulis* ), 'maracuyá dulce' (*Passiflora alata* Curtis), 'maracuyá de plátano' (*Passiflora mollissima* (Kunth) Spreng.) y 'maracuyá amarilla' (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa* Degenerer). Después de una década de fuerte crecimiento promedio anual con una tasa del 3.8% la producción global de pasifloras entre los años 2016 y 2017 fue de alrededor de 24 millones de toneladas en el 2017. [5]

Entre 2015-2017 Brasil era el principal productor de maracuyá, con una participación estimada del 7 por ciento de la producción total mundial de frutas tropicales menores

(1500000 ton / año (FAO). Brasil es sin embargo un exportador menor debido a su gran mercado interno.

Otros países productores de maracuyá son Kenia, Sudáfrica, Israel y Vietnam (variedad



**Figura 1** producción y rendimiento del cultivo de maracuyá 2007-2017 en Colombia. Fuente: AGRONET. Ministerio de agricultura y desarrollo rural. Secretarías departamentales. Alcaldías municipales

púrpura), así como Colombia, Ecuador y Perú (variedades púrpura y amarilla). La mayoría de la fruta ingresa a Europa como concentrados o jugo para la industria alimentaria. Sin embargo, el mercado de productos frescos también está creciendo, con importaciones de Vietnam, Kenia, Zimbabwe, Sudáfrica, Colombia e Israel. El maracuyá es considerado una fruta exótica para los otros continentes. El interés por nuevos sabores y frutas saludables ha creado mercados específicos para este tipo de frutas. Los exportadores de frutas exóticas es importante tener una selección atractiva y comercializable de productos de alta calidad. Los beneficios para la salud se han convertido en uno de los principales impulsores del éxito del mercado, por ejemplo la maracuyá tiene altos niveles de vitamina A y C, lo que las convierte en una fruta saludable para consumo directo y procesamiento para fabricación de jugos y/o néctares. [6]

Colombia es el tercer productor mundial de maracuyá amarillo después de Brasil y Ecuador. Según el Ministerio de Agricultura y Desarrollo rural se tiene identificados 5511

productores de pasifloras en el territorio nacional. En la figura 1 y Tabla 1 se muestran estadísticas relacionadas con la producción agrícola de maracuyá en Colombia.

**Tabla 1** Área sembrada, área cosechada, producción y rendimiento del cultivo de maracuyá (2007-2017). Fuente: Ministerio de agricultura y desarrollo rural. Secretarías departamentales. Alcaldías municipales. Producción expresada en fruto fresco

<b>ÁREA SEMBRADA, ÁREA COSECHADA, PRODUCCIÓN Y RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MARACUYÁ 2007-2017</b>				
Año	Área Sembrada (ha)	Área Cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t/ha)
2007	7.555	6.340	112.975	17,82
2008	7.194	5.707	103.972	18,22
2009	7.064	5.621	91.312	16,24
2010	7.101	5.894	92.928	15,77
2011	6.363	5.319	79.458	14,94
2012	6.655	5.474	84.546	15,44
2013	7.059	5.794	94.217	16,26
2014	7.454	5.799	91.611	15,80
2015	7.693	6.206	96.186	15,50
2016	9.234	7.192	119.389	16,60
2017	10.943	8.223	138.590	16,85

Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Secretarías de Agricultura Departamentales. Alcaldías Municipales. Producción expresada en fruto fresco.

### 2.1.1 Fruto y cosecha

El fruto del maracuyá es una baya constituida por una cáscara coriácea quebradiza y brillante cubierta por una fina capa de cera. La cáscara aporta de 50% a 60% del peso del fruto; el resto es pulpa (arilo) y jugo (30% - 40%) amarillo y aromático y semillas (10%). Las semillas son ovales, reticuladas de 5 a 6 mm de largo y de 3 a 4 de ancho, de color negro o café oscuro y están envueltas por el arilo que contiene el jugo. El arilo tiene dos membranas: una externa que retiene las dos terceras partes del jugo y otra interna que retiene la tercera parte restante, situación que dificulta extraer la semilla limpia y rápidamente [7].

En Suramérica los períodos de cosecha varían algo según la región, como se puede ver en la siguiente tabla 2. Periodos de cosecha de la maracuyá en Latinoamérica [8]

**Tabla 2** Periodos de cosecha de la maracuyá en Latinoamérica (Passionfruitjuice 2016)

<b>País</b>	<b>Temporada alta de cosecha</b>
Brasil	Noviembre-febrero
Colombia	Marzo- Junio
Perú	Marzo-junio
Ecuador	Marzo- Septiembre

### 2.1.2 Procesamiento

En Colombia y otras regiones del mundo la mayor parte de la cosecha de maracuyá se procesa para la obtención de jugos y concentrados. A continuación, se describe brevemente este proceso de transformación.

La fruta fresca se recibe en la planta de procesamiento en donde se examina, inspecciona y lava con agua. Seguidamente, se selecciona y despulpa para separar del jugo, semillas y cáscaras. El jugo se centrifuga, se desairea y se pasteuriza. Si el producto resultante cumple con los estándares de calidad, se concentra para recuperar el aroma que se incorpora en el concentrado de maracuyá antes de bombearlo a la sala de llenado donde se coloca en empaques que han sido esterilizados por irradiación con luz ultravioleta, que, luego de sellados y etiquetados, se trasladan a congeladores rápidos. El rendimiento para procesar una tonelada métrica de concentrado de 50°Brix es 12: 1 (12 kg de fruta producen 1 kg de concentrado). Alrededor de dos tercios del volumen de fruta fresca son residuos, de los cuales el 90% es corteza y el 10% son semillas.[8]

### 2.1.3 Importancia alimentaria y usos

La maracuyá es una fuente rica en carotenos y vitamina C. En la Tabla 3 se describen los principales componentes del jugo de la fruta:

**Tabla 3** Contenido vitamínico y mineral del jugo de maracuyá (Passionfruitjuice 2016)

<b>Componentes</b>	<b>Contenido</b>
Humedad	85%
Proteínas	0.8 g
Grasas	0.6 g
Hidratos de carbono	2.4 g
Fibra	0.2 g
Cenizas	Trazas g
Calcio	5.0 mg
Fosforo	18.0 mg
Hierro	0.3 mg
Vitamina A activada	684.0 mg
Tiamina	Trazas mg
Riboflavina	0.1 mg
Niacina	2.24 mg
Ácido Ascórbico	20.0 mg

Con base en la anterior tabla se evidencia que el jugo de maracuyá es rico en carbohidratos, ácidos orgánicos y vitamina A. Sin embargo, se presentan variaciones de composición entre las diferentes especies de *Passiflora*, según los cultivares y debido a la madurez y a los factores edafoclimáticos, su valor nutricional, así como su contenido fenólico y capacidades antioxidantes [9]

Como subproducto, la cáscara de maracuyá es un alimento funcional y valioso en el mercado. Es rica en antioxidantes, sirve para aumentar los niveles de lipoproteínas de alta

densidad en la sangre, reducir los niveles generales de colesterol en el cuerpo, disminuir la concentración de lipoproteínas de baja densidad, etc. Por lo anterior hay un aumento en el uso de la cáscara de maracuyá en la fabricación de harina, en alimentos para animales, productos farmacéuticos y biotecnología, lo que está impulsando el crecimiento de su mercado a un ritmo rápido.[10]

Varios estudios sobre el uso medicinal de los residuos del maracuyá han destacado que las semillas de maracuyá son ricas en piceatannol, un polifenol que puede mejorar la sensibilidad a la insulina en hombres con exceso de peso, reduciendo potencialmente el riesgo de diabetes tipo 2 y el alto contenido de antioxidantes de las cáscaras puede proporcionar poderosos efectos antiinflamatorios cuando se toma como suplemento.

La pulpa de maracuyá como sus residuos o coproductos, incluyendo cáscaras y semillas, tienen un contenido significativo de compuestos bioactivos, con alto contenido de quercetina y capacidad antioxidante ABTS y DPPH, los cuales resultan de gran interés para la industria de alimentos para enriquecer los productos y tener efectos terapéuticos para la salud humana contribuyendo al aprovechamiento de residuos disminuyendo el impacto ambiental y fortaleciendo la economía. Además, estos residuos son considerados una fuente rica de pectina, compuesta por ácido galacturónico y azúcares neutros, los cuales a través del proceso de hidrólisis se pueden usar en conversión biológica como por ejemplo en la producción de polihidroxialcanoatos (PHAs). [11] La pectina obtenida de la harina de la cáscara de maracuyá amarilla tiene buenas propiedades tecnológicas como agente estabilizador, emulsionante, espesante y gelificante comparadas con pectinas de metoxilo bajas y altas, la goma xantana, la goma guar y lacarragenina, la cual permite usarse para reemplazar los hidrocoloides comerciales trayendo beneficios como procedimiento de obtención simple y asociados con un bajo costo.[12] Adicionalmente, de los subproductos de esta fruta exótica se puede obtener diversos compuestos como aceites esenciales, geles, saborizantes, alcohol, celulosa, biogás, compost, forrajes y aprovechamiento para lombricultivos.

#### **2.1.4 Aplicaciones biotecnológicas de los coproductos de maracuyá**

La actividad industrial del procesamiento de frutas como el maracuyá genera una gran cantidad de residuos y subproductos industriales, excedentes, desecho, productos rechazados por falta cumplimiento de los parámetros y estándares de calidad establecidos,

y aguas de lavado. La mayor parte de estos subproductos cuentan con compuestos interesantes, los cuales generan un aporte significativo nutricionalmente para la alimentación humana y animal, y en otros sectores como el cosmético y el médico, por lo cual son una materia prima óptima para la obtención de nuevos compuestos o materiales.

Debido a lo anteriormente expuesto han surgido varias investigaciones buscando alternativas de considerar estos residuos como un recurso y oportunidad de negocio alternativo a la comercialización de productos en fresco. Entre ellas se destacan trabajos sobre el aprovechamiento de los residuos del maracuyá relacionadas con aplicaciones en cultivos de hongos, producción de glucosa, obtención de pectinas, producción de películas, cinética del proceso productivo de alimentos, obtención de sustancias bioactivas como antioxidantes y en el tratamiento de aguas residuales industriales, como se describe en la tabla 4.

**Tabla 4** Algunos estudios que reportan transformaciones de residuos del maracuyá

Aplicación	Subproducto	Estudio	Referencia
Bioconversión	Coproducto de maracuyá	Uso de residuos del maracuyá como sustrato para el cultivo en estado sólido del basidiomiceto <i>Ganoderma lucidum</i> con el objetivo de producir lacasa para la decoloración del tinte.	[13]
	Coproducto de maracuyá	Uso de residuos de maracuyá como sustrato principal en el cultivo sólido de 5 hongos de grado alimenticio <i>Pleurotus ostreatus</i> , <i>P. pulmonarius</i> , <i>Macrocybe titans</i> , <i>Ganoderma lucidum</i> y <i>Grifola frondosa</i> para la producción de enzimas oxidativas e hidrolíticas ( lacasa, pectinasa y las aril- $\beta$ - glucosidasas)	[14]

	Cáscara de maracuyá	Rendimientos notables de $\beta$ - glucosidasa y la producción de niveles significativos de glucosa por el cultivo sumergido de <i>Penicillium verruculosum</i>	[15]
Tecnología de los alimentos	Cáscara de maracuyá	Obtención de pectina comercial	[16] , [17] ,[18] , [19] ; [20]
	Mesocarpio del maracuyá	Recuperación de pectina utilizando una solución de ácido nítrico 50 mM de extracción a corto plazo realizada a alta temperatura (80°C)	[18]
	Mesocarpio del maracuyá	Recuperación de pectina HM (14.60%) utilizando una extracción con ácido cítrico realizada durante 75 minutos a pH 2.	[19]
	Coproductos del maracuyá	Recuperación de pectina LM mediante extracciones acidas.	[21] y [22]
	Mesocarpio del maracuyá	Producción de películas delgadas y flexibles a través de una técnica de moldeo, y también evaluaron la influencia de la organoarcilla con adición de nanopartículas.	[23]
	Cáscara del maracuyá	Efectos en la cinética de fermentación, textura, post-acidificación y recuentos de bacterias promovidos por la incorporación en yogures	[24]

		probióticos hechos con leche descremada o entera.	
	Albedo de maracuyá	Incorporación en formulaciones de hamburguesas mejoro no solo el contenido de fibra si no también parámetros importantes de cocción como la reducción del rendimiento y el diámetro, además de la retención de grasa y humedad.	[25]
Industria cosmética	Semillas de maracuyá	Uso de una fracción antioxidante de acetato de etilo para obtener ingredientes multifuncionales para la fabricación de cosméticos naturales.	[26]
	Semillas de maracuyá	Obtención de aceite aromático mediante extracción por prensado frio.	[27]
Biorremediación	Cáscaras de maracuyá	Evaluación de la capacidad biosorbente en la naturaleza y químicamente modificadas por el tratamiento con NaOH y NaOH con ácido cítrico en la adsorción de iones de plomo (II) de aguas residuales industriales.	[28]
	Cáscara de maracuyá	Biosorbente alternativo para la eliminación del colorante catiónico azul de metileno de los efluentes acuosos.	[29]

Adicionalmente, otras publicaciones han encontrado en estos residuos propiedades funcionales que ofrecen la posibilidad de mejorar la salud o prevenir ciertas enfermedades. Las semillas de maracuyá son ricas en piceatannol, un polifenol que puede mejorar la sensibilidad a la insulina en hombres con exceso de peso, reduciendo potencialmente el riesgo de diabetes tipo 2 cuando se toma como suplemento.[30]

El alto contenido de antioxidantes de las cáscaras de maracuyá puede darles poderosos efectos antiinflamatorios cuando se toman como suplemento. Un estudio investigó los efectos de un suplemento de cáscara de maracuyá púrpura sobre los síntomas de asma durante cuatro semanas [31]

En otro estudio en personas con osteoartritis de rodilla, aquellos que tomaron un extracto de cáscara de maracuyá púrpura informaron menos dolor y rigidez en sus articulaciones que aquellos que no tomaron el suplemento. [32]

### **2.1.5 Fibra Dietaría**

La definición de fibra dietaría (FD por sus iniciales en idioma inglés) ha sido ampliamente discutida. Después de la propuesta por el Codex Alimentarius en 2008, se ha llegado a un buen grado de uniformidad [33][34]. La fibra dietaría está compuesta de polímeros de carbohidratos con tres o más unidades monoméricas (MU), que no se digieren ni se absorben en el intestino humano que incluyen: (i) polisacáridos sin almidón (NSP) presentes en frutas, verduras, cereales y tubérculos, extraídos de ellos, o modificados química o físicamente y / o enzimáticamente ( $MU \geq 10$ ); (ii) oligosacáridos resistentes-RO- ( $MU 3-9$ ); y (iii) almidones resistentes-RS - ( $MU \geq 10$ ). La definición del Codex incluye polímeros con al menos 10 MU, pero deja a las autoridades nacionales la decisión de incluir o no carbohidratos con un número de MU de 3 a 9. La Unión Europea (UE) y otros países con una definición propia de fibra, por ejemplo, EE. UU., Canadá, China, Australia / Nueva Zelanda y Japón incluyen carbohidratos con  $MU \geq 3$  [33], [35,36]. Cuando se extrae o se modifica, se debe tener evidencia científica generalmente aceptada de los beneficios para la salud para considerar el polímero como FD. La mayoría de las definiciones también incluyen 'sustancias asociadas', que no son carbohidratos como la lignina y sustancias, que están presentes en las paredes celulares unidas a los polisacáridos y cuantificadas como FD por los métodos analíticos aceptados.[37].

Tanto Health Canada como la FDA concluyeron que, para la mayoría de productos de fibra dietaria disponibles en el mercado, hay suficiente evidencia científica para incluirlos en la lista de compuestos que pueden considerarse oficialmente como fibra dietaria. Las fibras aprobadas incluyen: (i) NSP incluyendo celulosa, hemicelulosas (es decir, arabinosilanos (AX)), mananos, pectinas y otros hidrocoloides (es decir, gomas, mucílagos,  $\beta$ -glucanos), inulina y fructanos; (ii) RO que incluye fructo-oligosacáridos (FOS), galacto-oligosacáridos (GOS); y (iii) RS [4]. Probablemente, la lista de fibras aprobadas crecerá aún más cuando los estudios brinden evidencia de nuevos beneficios para la salud.[37]

Según la solubilidad, la fibra dietaria se puede dividir en fibra dietaria soluble en agua o fibra dietaria insoluble (FDS o FDI por sus siglas en inglés). La FDI se compone principalmente de componentes de la pared celular no dispersables en agua (p. Ej., Celulosa, lignina, hemicelulosa) puede aumentar el volumen de las heces hasta 20 veces su peso, debido a su capacidad de retención de agua. Por ello se relaciona con la protección y alivio de algunos trastornos digestivos como el estreñimiento. La FDS se compone de polisacáridos no celulósicos (p. Ej., Pectina, encías, mucílago) [38] que forman dispersiones en agua que se tornan geles viscosos en el tracto gastrointestinal y retardan la evacuación gástrica, por lo que pueden hacer en algunos casos más eficiente la digestión de alimentos, generando mayor saciedad. Este tipo de fibra es altamente fermentable. Se clasifican de acuerdo al monómero del carbohidrato con mayor predominio (Tabla 2.5).[39]

La FD ha atraído un interés creciente debido a sus potenciales beneficios saludables y nutritivos. Varios estudios han demostrado que las dietas altas en FD se asociaron significativamente con un menor riesgo de enfermedad coronaria, enfermedad cardiovascular, diabetes y cáncer de colon [40][41]. La suplementación con FD podría mejorar la textura, el color y el sabor de los alimentos [42], mejorando muchas veces su calidad y vida útil [43].[44]

**Tabla 5** Polisacáridos presentes en la pared celular de las plantas

<b>Categoría general</b>	<b>Clasificación estructural</b>
Celulosa	$\beta$ -D-glucanos (uniones en C4)
Sustancias pécticas	Galacturonas y ramnogalacturonas Arabinanos  Galactanas y arabinogalactanas I (1)
Hemicelulosas	Xilanos (incluyen arabinoxilanos y cadenas con grupos 4-O-metil) y glucuronoxilanos $\beta$ -D-glucanos (uniones en C3 y C4) Xiloglucanos (D-glucanos unidos por C4, con cadenas laterales adjuntas)
Otros polisacáridos.	Arabinogalactanas II (1) Glucuronomannanas
(1) Arabinogalactanas del tipo I son esencialmente lineales y contienen cadenas de $\beta$ -D-galactanas con uniones en C4, mientras que las de tipo II contienen cadenas ramificadas de $\beta$ -D-galactanas con uniones en C3 y C6.	

Fuente: Aspinall (citado por Córdoba 2005)[39]

En la tabla 5 se muestran los polisacáridos que contribuyen a la estructura de los diferentes componentes de la fibra.[39]. Los polisacáridos son todos los polímeros de carbohidratos que contienen al menos 20 residuos de monosacáridos. El almidón digerido y absorbido en el intestino delgado es un polisacárido, por ello se utiliza el término polisacáridos no almidón para aquellos que llegan al colón y poseen los efectos fisiológicos de la fibra.

Una buena calidad de FD debería tener un alto contenido de FDS.[44], pues, según la literatura, la FDS se considera más bioactiva que la FDI debido a su fermentabilidad y viscosidad [45]. Por ello además, se sugiere que aproximadamente el 20-30% de la ingesta de FD provenga de fibra soluble [41]

### **2.1.6 Composición de la fibra dietética**

Cerca del 75% de la FD en los alimentos está presente en la forma de fibra insoluble, sin embargo, la mayoría de las fuentes de fibra en la actualidad son mezclas de ambas fibras, insolubles y soluble.[46]

### **2.1.7 Beneficios para la salud de la fibra dietética**

El Codex Alimentarius afirma que la FD dietaría presenta generalmente una o más de las siguientes propiedades:

1. Disminuye el tiempo de tránsito intestinal, aumenta el volumen de las heces.
2. Fermentación por microbiota colónica.
3. Reduce los niveles de colesterol total y/o LDL en la sangre.
4. Reduce los niveles de glucosa y/o insulina en sangre postprandiales. (Glucemia postprandial es el nivel de glucosa en sangre tras las comidas. Es decir, es la detección de niveles de azúcar en la sangre después de haber ingerido comida.)[47]

El requerimiento diario promedio de fibra dietética es de 25 g por día para mujeres menores de 50 años, 21 g por día para mujeres mayores de 50 años; 38 g por día para hombres menores de 50 años, y 30 g por día para hombres mayores de 50 años. La mayoría de los nutricionistas y expertos en dietas sugieren que aproximadamente el 20-30% de nuestra ingesta diaria de fibra debería provenir de fibra soluble.[48]

## **2.2 Propiedades Funcionales tecnológicas de la fibra dietética**

La FD puede proporcionar propiedades funcionales a los alimentos, tales como el aumento de las capacidades de absorción de agua y de retención de aceite, mayor grado de emulsificación y/o formación de gel.

La incorporación de la fibra dietaría en productos alimentarios (productos de panadería, lácteos, mermeladas, carnes, sopas, entre otros) puede modificar las propiedades de textura, evitar la sinéresis (separación del líquido de un gel causada por la contracción), estabilizar la comida con un contenido alto en grasas, emulsiones y mejorar su vida útil.

Algunas propiedades funcionales tecnológicas, que tienen efectos deseables en los productos alimentarios y/o efectos fisiológicos benéficos en el organismo [49] son:

### **2.2.1 Tamaño de partícula**

La granulometría de la fibra debe armonizar con el tipo de alimento o proceso en el cual se incorporará. Por ejemplo, la fibra corta (de tres a cinco micrómetros) puede emplearse como sustituto de grasas, y las de mayor tamaño son compatibles con hojuelas de maíz y en productos donde su textura lo permita [50]. Fuertes (1998) señala que el tamaño ideal de partículas de fibra para consumo humano está en un rango de 50 a 500  $\mu\text{m}$ ; tamaños mayores pueden afectar la apariencia del producto e impartir una sensación fibrosa dificultando la masticación y deglución, tamaños menores pueden presentar problemas en la hidratación al favorecerse la formación de grumos, ocasionar apelmazamiento y por lo tanto compresión del producto. En un estudio realizado por Sangnark y Noomhorm (citados por [51]) con fibras de bagazo de caña, se encontró que una disminución en el tamaño de partícula incrementa la densidad y reduce la capacidad de retención de agua y de ligar aceite (presumiblemente por la ausencia de una estructura matricial de celulosa, entre otros factores), lo que afecta el tránsito intestinal al decrecer el volumen de la masa fecal. Este comportamiento también fue observado por Dreher (citado por Sánchez 2005, p. 13) al disminuir el tamaño de partícula del salvado de trigo.[39]

El grado de molienda puede afectar la obtención de concentrados de un material fibroso. Aunque un menor tamaño de partícula se asocia a un aumento de la fibra total, esto no siempre sucede, como lo exponen [52] al evaluar en diferentes tamaños de partícula, en una fuente de fibra obtenida a partir de pulpa de coco (residuo resultante de la extracción de leche de coco), de acuerdo con la capacidad de retención de agua (CRA, expresada en g de agua retenida por g de fibra de coco) y la capacidad de hinchamiento (CH, expresada en mL por g de fibra de coco). Dichos investigadores observaron que un tamaño de partícula de 390  $\mu\text{m}$  presentó valores de 4.42 (CRA) y 18 (CH), mientras que tamaños de partícula de 550  $\mu\text{m}$  y 1127  $\mu\text{m}$  (0.55 mm y 1.127 mm), presentaron valores de CRA de 7.21 y 5.56, respectivamente, y para CH de 20 y 17, respectivamente.[53]

De otra parte, un tamaño de partícula demasiado pequeño en la materia prima fresca no es apropiado porque se retiene gran cantidad de agua durante la etapa de lavado que, a su vez, es perjudicial para el proceso de secado y propicia además pérdidas en el material molido crudo durante la separación del agua [53]. Por otro lado, los altos tamaños de

partícula dificultan la eliminación de componentes no deseados (como azúcares) durante el lavado y, debido a esto se requiere un mayor tiempo de secado.

Diferentes tipos de molinos de martillos son preferidos a los molinos coloidales para obtener un buen control del tamaño de partícula.

Diferentes tamaños de partículas en la molienda de materias primas frescas Se ha utilizado material (0.6 a 2.0 cm), que podría ser relacionado con los procedimientos desarrollados y el tipo de muestras. [55], [56]

### 2.2.2 Capacidad de hidratación

Las propiedades de hidratación determinan en gran medida el destino de la fibra dietaría en el tracto digestivo y conllevan diferentes efectos fisiológicos. [57].

Las propiedades de hidratación usuales son la capacidad de absorción del agua (CAA), la capacidad de retención del agua (CRA) y la capacidad de hinchamiento (CH), propiedades que proveen información útil para las aplicaciones tecnológicas, funcionales y nutricionales. [58]. En la siguiente tabla se puede observar que diferentes tipos de fibra soluble como la del musgo (*Sphagnum magellanicum*), el albedo del maracuyá, tienen mejores propiedades de hidratación, este último debido al contenido en pectina, sin embargo, no es el único factor que influye sobre esta propiedad, pues también dependen del área específica de superficie, porosidad, densidad, tamaño de partículas y la microestructura de la fibra. [59]

**Tabla 6** Propiedades de hidratación y adsorción de aceite de diferentes fuentes de fibra dietaría

Fuente de fibra	CRA	CH	CRO	Fuente
Ulva lactuca a 20°C	9.32	ND	1.08	[60]
Ulva lactuca a 80°C	10.30	ND	1.01	[60]
Naranja (cáscara, bagazo y semillas)	8.71	ND	3.50	[61]
Cáscara de naranja	9.63	ND	3.63	[61]

Fibra de comino (extracción alcalina)	3.30	3.75	5.17	[62]
Fibra de comino (hidrolisis enzimática)	5.48	3.49	5.76	[62]
Albedo de maracuyá	13.00	37.00	2.03	[59]
Pulpa y semilla de maracuyá	1.80	5.00	1.43	[59]
Musgo: <i>Sphagnum magellanicum</i>	34.00	8.00	27.68	[63]

CRA: capacidad de retención de agua, CH: capacidad de hinchamiento, CRO: capacidad de adsorción de aceite y ND: dato no disponible, (\*) Tratada con 0.8 % de solución de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 0.8 MPa de presión y 7 min de tiempo. [58]

### 2.2.3 Capacidad de retención de agua

La capacidad de retención de agua (CRA), expresa la máxima cantidad de agua en mL que puede ser retenida por gramo de material seco en presencia de un exceso de agua bajo la acción de una fuerza patrón (mL agua/ gr muestra seca). De esta propiedad depende el efecto fisiológico de la fibra y el nivel máximo de incorporación en un alimento. La CRA afecta la viscosidad de los productos facilitando o dificultando su procesamiento. Entre los factores que influyen en la CRA en la fibra, se encuentran el tamaño de partícula, el pH y la fuerza iónica. Esta propiedad confiere un efecto de frescura y suavidad en productos horneados. [39]

Los polisacáridos solubles tienen una gran capacidad hidrofílica por la presencia de restos de azúcares con grupos polares libres mientras que la celulosa tiene poca CRA. Las proporciones de ambos materiales influirán en la capacidad de la FD para formar soluciones viscosas, son fermentadas por las bacterias intestinales y su efectividad en aumentar la masa fecal. [64]

## 2.2.4 Capacidad de retención de aceite

La capacidad de retención de aceite es la máxima cantidad de aceite, en gramos, que puede ser retenida por gramo de material seco en presencia de un exceso de aceite bajo la acción de una fuerza. [49]

Las partículas con gran superficie presentan mayor capacidad para absorber y atrapar componentes de naturaleza aceitosa, la grasa es atrapada en la superficie de la fibra principalmente por medios mecánicos. Se ha observado que las fibras insolubles presentan mayor capacidad de absorción de grasa que las solubles, por lo cual son útiles como emulsificantes. A esta propiedad se le relaciona con la composición química, el tamaño y el área de las partículas de la fibra. Una retención elevada de aceite imparte jugosidad y mejora la textura de los productos cárnicos, al contrario de una baja retención que brinda la sensación no grasosa en productos fritos. [39]

Otras propiedades funcionales importantes para los compuestos bioactivos son las que se mencionan a continuación:

- ◆ Capacidad de intercambio de cationes
- ◆ Solubilidad y Viscosidad
- ◆ Fermentabilidad

## 2.3 Métodos analíticos para estudiar las fibras dietéticas

Los métodos para la determinación de la fibra dietética se pueden dividir en tres categorías: métodos no enzimáticos-gravimétricos, enzimáticos-gravimétricos y enzimáticos-químicos. El último incluye los métodos enzimático-colorimétrico y enzimático-cromatográfico (GLC / HPLC).

Hoy en día, los métodos más utilizados para la medición de fibra dietética son el método de la Asociación enzimático-gravimétrica de químicos analíticos oficiales (AOAC) [65] y el método enzimático-químico [66]. El método de [67] se utiliza principalmente en estudios veterinarios.[48]

### **2.3.1 Método enzimático- gravimétrico**

Los pasos del método gravimétrico incluyen tratamientos enzimáticos para la eliminación de almidón y proteína, precipitación de componentes de fibra dietética solubles por etanol acuoso, filtración, pesaje del residuo de FD y corrección de proteínas y cenizas en el residuo. El método determina un grupo de polisacáridos, lignina, algunos de almidón resistente y otros compuestos asociados (ceras, compuestos fenólicos, productos de reacción de Maillard), pero no cuantifica los oligosacáridos (OS) y otros tipos de almidón resistente (RS). Ohkuma, Matsuda, Katta y Tsuji (2000) y Gordon y Okuma (2002) desarrollaron un test basado en el método AOAC [68] para incluir la determinación de OS no digeribles, basada en la determinación de fibra soluble e insoluble. La fracción de fibra soluble está compuesta de fibra soluble de alto peso molecular. El filtrado de la precipitación de etanol se analiza por cromatografía líquida para determinar la [65] fibra soluble de bajo peso molecular (OS).

Recientemente, [69] desarrollaron un nuevo método basado en los principios de los Métodos Oficiales de AOAC: 985.29 [70], 991.43 [68], 2001.03 [71] y 2002.02 [72], para incluir la determinación de OS no digeribles y RS en la fibra insoluble y soluble de alto peso molecular.[48]

### **2.3.2 Método enzimático-químico y otros específicos**

Los contenidos de azúcares neutros de los polisacáridos hidrolizados se determinan mediante cromatografía de gas-líquido (GLC) o cromatografía líquida de alto rendimiento (HPLC), dando valores para monosacáridos y ácidos urónicos individuales que se determinan colorimétricamente. Se puede obtener un valor único para azúcares totales por espectrofotometría. El residuo que queda después de la hidrólisis de polisacáridos totales o insolubles se recupera por filtración y se cuantifica como llastina de Klason. La suma del polisacárido sin almidón y la lignina de Klason se combinan para obtener la cantidad de fibra dietética total. También se pueden obtener valores para fibras dietéticas insolubles y solubles.

Además de los métodos descritos anteriormente, se han desarrollado métodos específicos de análisis de fibra para la medición de OS (PD < 12: fructo-oligosacárido, galacto-oligosacárido, polidextrosa) [71][73][74], RS [75][76][72] y polifenoles asociados [77]. En cuanto a éste último [77] demostró que los polifenoles son los principales componentes de

la fibra dietética insoluble en los alimentos vegetales y la fibra dietética soluble en las bebidas comunes.[48]

## **2.4 Enzimas empleadas para la producción de concentrados de fibra dietaría**

### **2.4.1 Amilasas**

Las amilasas son enzimas que hidrolizan moléculas de almidón para dar diversos productos incluyendo dextrinas y polímeros más pequeños compuestos de unidades de glucosa. Estas enzimas se emplean en diversas aplicaciones desde alimentos, fermentaciones, en la industria textil, entre otras. Las amilasas pueden ser derivadas de diferentes fuentes incluyendo plantas, animales y microorganismos, aunque las que más satisfacen la demanda en la industria son las enzimas microbianas.

Existen gran cantidad de amilasas microbianas que están disponibles comercialmente y se han reemplazado casi completamente la hidrólisis química del almidón en la industria de procesamiento de almidón. [78]

### **2.4.2 Proteasas**

Son biocatalizadores proteolíticos utilizados desde tiempos para la producción de quesos, que incluyen un grupo muy grande de enzimas. La especificidad de las proteasas por el sustrato depende del aminoácido y otros grupos funcionales (aromáticos o alifáticos que contienen azufre) próximos a la cadena que se está hidrolizando.

Las proteasas se clasifican en 2 grupos principales de acuerdo a su capacidad de escindir los enlaces peptídicos del extremo N o C (exopeptidasas) o enlaces peptídicos internos (endopeptidasas); las aminopeptidasas escinden el péptido del enlace N-terminal y las carboxipeptidasas el enlace del péptido C-terminal. Las endopeptidasas son industrialmente más utilizadas que las exopeptidasas. [79]

### **2.4.3 $\alpha$ -amiloglucosidasa**

La  $\alpha$ -amiloglucosidasa es una enzima que cataliza completamente la liberación sucesiva de unidades de glucosa a partir de las cadenas de almidón, dextrinas y oligosacáridos

.puede hidrolizar tanto las ramificaciones alfa-D-1.6 glucosidicos como los enlaces poliméricos alfa-S-1.4 glucosidicos del almidón y el producto final es solo glucosa.

## **2.5 NTC para la fibra dietaría comercial en la industria alimentaria**

La Norma Técnica Colombiana (NTC) 5986: 2013[80] referente al salvado, germen y otras harinas de trigo para consumo humano es la que se toma como base para la caracterización del producto final que cumpla con los parámetros y límites permisibles para ser comercializada en el sector alimentario.

## **2.6 Metodología de Superficie de Respuesta (RSM)**

La Metodología de Superficies de Respuesta (RSM, por sus siglas en inglés) es un conjunto de técnicas matemáticas y estadísticas usadas para modelar, analizar y optimizar condiciones en los que una respuesta se ve condicionada por varias variables independientes. El objetivo principal de esta metodología es optimizar la respuesta de interés [81].

### **2.6.1 Diseño factorial completo de tres niveles**

Este tipo de modelo es usado en RSM cuando el número de factores es igual o mayor a 2, cada uno de los cuales, con distintos niveles, cuyas unidades experimentales cubren todas las posibles combinaciones de esos niveles en todos los factores. Con tales diseños se permite el estudio del efecto de cada factor sobre la variable respuesta, así como el efecto de las interacciones entre factores sobre dicha variable.

## **2.7 Aplicativos para el análisis técnico, económico y ambiental**

Excel y ASPEN Plus son los productos de software más utilizados para análisis técnico-económico en ingeniería de procesos. En el primero, que se usa ampliamente debido a su disponibilidad, los cálculos del proceso se realizan con hojas de cálculo, lo que limita el análisis a un pequeño número de unidades ya que las fórmulas para calcular las categorías de costos totales suelen estar en varias hojas. Además, los modelos de hojas de cálculo suelen basarse en plantillas preexistentes, que generalmente requieren una posterior

adaptación, lo que los hace difíciles para usar y adaptar. El ASPEN Plus® es un software de modelado para procesos con lotes, continuos y mixtos, de amplio uso en simular y diseñar procesos químicos, que requiere datos experimentales previos, una gran cantidad de información técnica y modelos cinéticos que en algunos casos no convergen los modelos. Además, tiene limitaciones asociadas con el análisis tecnoeconómico, para lo que se apoya programas de software adicionales.

SuperPro Designer es un simulador desarrollado específicamente para bioprocesos que maneja esquemas de procesamiento continuo y por lotes. Permite evaluar los balances de materia y energía, tiene amplias bases de datos de mezclas, componentes químicos, recursos y equipos. Contiene herramientas que permiten realizar costeo de los equipos principales en función de las corrientes de entrada y salida de los distintos procesos. Ofrece además opciones para cálculos e informes de emisiones que cumplen con EPA / ACT, y evaluación de impacto ambiental. Es de fácil uso incluso por no expertos, especialmente durante las etapas de desarrollo de tecnología.[82]

### **3. Antecedentes, estado del arte, planteamiento del problema y objetivos**

#### **3.1 Antecedentes**

Se han realizado muchos estudios relacionados con el aprovechamiento de residuos y/o subproductos agroindustriales tales como semillas, cáscaras, hojas, tallos y albedos de frutas y/o vegetales identificando los compuestos bioactivos para ser incluidos en la industria de alimentos u otros procesos de acuerdo a sus propiedades funcionales y aplicabilidad.

Para que las empresas agroindustriales puedan aprovechar sus residuos deben contar con maquinaria y tecnología que permitan la implementación de aseguramiento de la calidad, usando procesos de extracciones viables, eficaces y rentables para obtener ingredientes bioactivos como las fibras. Este aprovechamiento requiere usualmente la modificación en la cadena logística para el cumplimiento de certificaciones y buenas prácticas de manufactura, practicas HACCP, manejando los tiempos en los residuos antes de que se vuelvan tóxicos y se creen ambientes propicios para la proliferación de bacterias dañinas, por lo cual se necesita seguimiento de la trazabilidad del subproducto [83]

Algunas investigaciones biotecnológicas han estado enfocadas en la caracterización de componentes de subproductos de frutas y vegetales, junto con el análisis de propiedades fisicoquímicas, interactividad con otros componentes. Algunos autores como han descubierto ingredientes activos extraídos como las fibras insolubles en frutas como manzana, pera, naranja, melocotón, jugo de limón, corazones de piña. Sin embargo, diferentes actividades de revalorización no son viables de ejecutar, debido a los altos costos energéticos como por ejemplo la extracción de azúcar de las cascaras de fruta.

Gracias a las ventajas operativas y a su bajo costo, la fermentación en estado sólido puede ser aplicable a varias clases de subproductos con la finalidad de obtener metabolitos secundarios, enzimas, ácidos orgánicos, alimentos funcionales, pigmentos, pesticidas, entre otros, pero se debe continuar con estudios para mejorar el portafolio de posibilidades en la cual en la fecha es deficiente. Anupana. P, Ravindra (2000) estudió la producción de proteína unicelular a partir de la biomasa de microorganismos como posible alternativa de ingredientes como la harina de soya y la harina de pescado en forrajes ricos en proteína. []

Otros trabajos con microorganismos han usado variados sustratos agrícolas y agroindustriales como residuos de mataderos, bagazo de la caña de azúcar, residuos de la producción de papel, salvado de trigo y arroz, para distintos usos finales.

En Colombia la revalorización de subproductos está centrado principalmente en el uso como materia prima de compostados y alimentación animal. Esto puede ser como consecuencia de que la legislación colombiana no enfatiza mucho frente este tema para que se contribuya a formalizar nuevas oportunidades de negocio. Los residuos que se producen en las diferentes agroindustrias, por ejemplo en la industria del fique se utiliza solamente el 2% de la biomasa producida, en la industria cervecera el 8% de los nutrientes del grano, en las industrias del aceite de palma y de la celulosa se usa menos del 9% y 30 % , respectivamente, en la industria del café se usa solo el 9.5% del peso del fruto fresco en la preparación de la bebida, el 90.5% queda en forma de residuo [84]

Un caso para resaltar es el uso de los desechos de los mataderos en Colombia como con el fin de obtener harina de carne para alimento animal tales como harina de sangre carne y hueso, utilizada para engorde de pollos y cerdos, harina mixta de carne y pluma para engorde de pollos y cerdos, aceites industriales como suplemento energético, hueso calcinado y al vapor como suplemento mineral y harina de pescado como alimento para el pollo de engorde. Sin embargo, muy pocos mataderos realizan este manejo, ya que en zonas rurales y apartadas los desechos son llevados a algún relleno, quemados o lanzados a ríos Como consecuencia de esta problemática, el gobierno desarrolló programas para dar a conocer las ventajas de comercializar estos desechos para la fabricación de productos balanceados para la alimentación animal, partiendo de que estos desechos no solo contaminan, sino que también generan sobrecostos de producción.[85]

La industria de la caña de azúcar también ha hecho acciones comprometidas con el cuidado del medio ambiente y la sostenibilidad. Las hojas y el bagazo de la caña tienen uso como alimento para vacas y cerdos; de la combustión del bagazo generan energía eléctrica; a partir de las mieles y azúcares de los ingenios se fabrican confites, dulces y bebidas; mediante la destilación de las mieles se produce etanol, combustible vehicular, considerado como la gran alternativa en la absorción de CO<sub>2</sub>. Finalmente de la fibra de caña de azúcar se fabrica papel ya que esta fibra tiene la característica de ser biodegradable, compostable y reciclable , así mismo se obtienen subproductos como: azúcares, alcohol carburante, etanol, energía eléctrica y mecánica, panelas, mieles, ácido cítrico, citrato de sodio deshidratado, citrato de calcio, tableros aglomerados, acetato de etilo, vinagre y abonos.[86]

Pero sumados a estos esfuerzos de las industrias ya mencionadas, el gobierno también desarrolla propuestas viables para aquellos residuos que requieren transformaciones más costosas o simplemente para aquellos productores que no se interesan en estos manejos. Un ejemplo de esto es la bolsa para comprar y vender subproductos industriales BORSI. Creada en el año 2011 por el Centro Nacional de Producción más Limpias y Tecnologías Ambientales de Colombia.[87]

En el contexto regional Caldense los residuos de frutas de empresas procesadoras se han utilizado en la elaboración de compostaje, concentrados para el ganado y fertilizantes o sustratos agrícolas, de lo cual han salido grandes y rentables oportunidades de negocio, reduciendo los problemas de higiene y seguridad, con beneficios económicos y ambientales [88]. Además, Cenicafe ha desarrollado tecnologías amigables con el medio ambiente con la finalidad de aprovechar los subproductos sólidos generados durante el proceso de cultivo y beneficio del fruto, usando hongos, procesos de lombricultura, ensilaje, y obtención de pectinas, entre otros. [89]

Con relación a las fibras dietarias (FD), las más empleadas en la industria de los alimentos provienen de cereales, aunque las fibras precedentes de frutas y vegetales han sido consideradas de mayor calidad nutricional y tecnológica. Se han realizados varios estudios de obtención y caracterización de fibras obtenidas a partir de residuos agroindustriales de diversas fuentes: ej. Fruta de la pasión, subproductos del pelado de naranjas, peras, manzanas, melocotón, alcachofa, espárrago, moras, del proceso de elaboración de zumo de limón y pulpas frutales. Las fibras vegetales y frutales de diferentes fuentes exhiben propiedades funcionales. [81][82] tales como hidratación, la viscosidad y la capacidad de formación de gel. Estas propiedades están a su vez relacionadas con la microestructura de los materiales que cambia durante el procesamiento. [83][84]

Actualmente existe una gran demanda de alimentos formulados enriquecidos con FD ya que contribuye al bienestar y a la salud del consumidor evitando y colaborando eficazmente en el tratamiento de una cantidad de enfermedades crónicas tales como cáncer del colón, enfermedades del corazón, constipación, hemorroides, diverticulitis, hiperlipidemia, e incluso el cáncer [85], además de proporcionar muy poca energía o calorías ayudando a controlar el peso, por lo cual es de interés su desarrollo.

Los residuos de maracuyá contienen fibra dietética, principalmente pectina, que se considera una fibra soluble. La pectina es un ingrediente y aditivo alimentario tradicional

debido a sus propiedades emulsionantes, gelificantes, espesantes y estabilizantes, por lo que ha sido ampliamente estudiada por sus propiedades físico- químicas y reológicas. A pesar de su disponibilidad en una gran cantidad de especies de plantas, las fuentes comerciales de pectina se limitan a los cítricos y al orujo de manzana, ambos subproductos de industrias procesadoras de jugo. La búsqueda de fuentes alternativas viables de pectina está aumentando, al igual que el mercado, que se espera que crezca y pueda llegar a 1370 millones de dólares estadounidenses para fines del 2025.[90] En este sentido, encontrar nuevas fuentes de pectina a partir de diferentes subproductos, con distintas propiedades químicas, ampliaría su aplicación como aditivos alimentarios, nutracéuticos o incluso biocombustibles.

### **3.2 Estado del arte**

La *Passiflora Edulis* conocida como maracuyá es originario de la región amazónica. En Colombia se cultivan tres variedades: hawaiana, venezolana y brasileña. Se utiliza especialmente en la elaboración de jugos y pulpas obteniéndose en promedio un 31% de jugo y 35% de cáscara. En el país se han realizado estudios sobre aprovechamiento de estos residuos como fuente de fibra dietaría para ser incluida como ingrediente en productos alimentarios para humanos. [91]

La cáscara de maracuyá se compone de tres estructuras anatómicas: exocarpio (parte amarilla externa), mesocarpio o albedo (parte blanca intermedia) y endocarpio (parte membranosa interna donde se adquieren las semillas). Se ha identificado en la semilla de *Passiflora Edulis* es una fuente muy rica en fibra dietaría insoluble, además de tener una buena capacidad de retención de agua y grasa, lo cual es apta para una alta aplicación en la industria alimentaria.[92]. El estudio realizado por López-vargas et al. (2013) revela las propiedades químicas, fisicoquímicas, tecnológicas y antioxidantes de los polvos de fibra dietaría obtenidos de la pulpa, semillas y albedo de la maracuyá. El contenido de fibra dietética de las semillas y pulpa de la fruta de la pasión fue de 53.51 g/100 g , mientras que el contenido de fibra en el albedo de la misma fue de 71.79 g/100 g, ambos tipos de fibras mostraron buenas propiedades tecnológicas, por lo cual se consideraron óptimos ingredientes alimentarios intermedios, teniendo alto potencial en productos que requieran hidratación , desarrollo de viscosidad y conservación de la frescura, tales como alimentos horneados o productos cárnicos cocidos, por su capacidad de retención e hinchazón de agua.

La cáscara amarilla del maracuyá está formada por el mesocarpio blanco y el epicarpio amarillo. El mesocarpio presenta un alto contenido en carbohidratos, principalmente la fibra soluble pectina. Debido a este hecho, la cáscara de maracuyá ya se utiliza para la formulación de harinas, mientras que el epicarpio amarillo presenta un alto contenido en flavonoides lo que hace que este material interesante para su uso en productos con propiedades funcionales. La composición, aplicación y efectos sobre la salud de las cáscaras de maracuyá amarilla se han estudiado con algunos de los resultados descritos en la tabla

**Tabla 7** Composición, aplicaciones, propiedades de compuestos bioactivos obtenidos de la cascara de maracuyá. [94]

<b>CATEGORIA DE COMPOSICIÓN</b>	<b>PRINCIPALES COMPONENTES</b>	<b>APLICACIONES O PROPIEDADES BIOACTIVAS</b>	<b>REFERENCIA</b>
Fibra	Fibra dietaria soluble e insoluble. Compuestos fenólicos totales.	Obtención de harinas con alta capacidad antioxidante (ensayos DPPH, FRAP y ORAC) y contenido de fibra (66g / 100g)	[95]
Compuestos fenólicos	Flavonoides (Vicenin, vitexin, isovitexin, orientin e isoorientin)	El té elaborado con cáscaras de maracuyá amarilla pudo ejercer efectos antiinflamatorios en un modelo de colitis experimental.	[95]
Fiber Phenolic compounds	Flavonoides de fibra dietética soluble e insoluble (isoorientina e isovitexina)	Una evaluación de polvo obtenido por fracciones de mesocarpio de maracuyá amarilla (albedo) demostró alto contenido de fibra soluble e insoluble	[93]

		así como alto contenido de isoorientina e isovitexina	
Compuestos fenólicos	Flavonoides (isorientin, vicenin, orientin, vitexin e isovitexin)	Utilización de extracción líquida a presión para la obtención de extractos ricos en flavonoides con alta capacidad antioxidante (ensayos DPPH, FRAP y ORAC)	[96]
Fibra	Pectina	Extracción de pectina de cáscara de maracuyá amarilla mediante diferentes condiciones de ultrasonido y temperatura	[97]

Los subproductos del maracuyá son ricos en pectina. El homogalacturonano (HG) es el componente principal de las pectinas. Debido a la gran importancia de la pectina en las propiedades reológicas de los alimentos se han evaluado de la pectina alta en metoxilo extraída de la cascara del maracuyá, para su aplicación como modificador reológico por parte de la industria alimentaria con bajo contenido de azúcar. Los resultados obtenidos en el estudio afirmaron que se obtuvo un rendimiento comparable al de otras pectinas comerciales, mejorando su viabilidad para su uso como fuente alternativa de HMP. Además, esta fibra dietaría podría adaptarse bien a las demandas recientes de consumo ya que no requirió azúcar o alteraciones químicas para formar gel, además de sus propiedades para la salud y potencial prebiótico. [98]

La pectina parcialmente hidrolizada de la cascara del maracuyá confirma que tiene efectos metabólicos y sugieren una posible actividad prebiótica, incluso a bajas dosis. [99]

La fibra del mesocarpio del maracuyá en concentraciones de 15% y 30%, podría ser un suplemento dietético importante para el tratamiento de la diabetes debido a su potencial hipoglucémico, además esta fibra también promueve la reducción de los niveles de triglicéridos, colesterol, insulina y leptina [100]

En la siguiente tabla se evidencia la cantidad de fibra dietaria obtenida de los residuos de pasifloras en diferentes estudios:

**Tabla 8** Estudios previos de fuentes de fibra dietaria en residuos de pasifloras.

<b>Residuo</b>	<b>Fibra dietaria total</b>	<b>Fibra insoluble</b>	<b>Fibra soluble</b>	<b>Referencia</b>
Subproducto de la fruta de la pasión	64.20%	44.80%	19.40%	[101]
Semilla de maracuyá cruda g/100 g de semilla, peso seco	64.80	64.10	0.73	[102]
Semilla de maracuyá desgrasada g/100 g de semilla, peso seco	85.90	84.90	0.97	[102]
Cáscara de la fruta de la pasión [% materia seca]	62.65%	43.43%	19.22%	[103]
Pulpa y semillas de maracuyá [g/ 100 g materia seca]	71.79	52.34	19.45	[104]
Albedo del maracuyá [g/ 100 g materia seca]	53.51	48.25	5.26	[104]
Cáscara de la maracuyá [g/100 g]	52.52	41.19	9.04	[105]
Semilla y pulpa maracuyá [g/100 g]	60.05	55.22	12,05	[105]

Albedo de maracuyá [%]	67.5	31.70	35.80	[106]
------------------------	------	-------	-------	-------

Además de los métodos convencionales de obtención de pectina, se buscan nuevas alternativas técnicas como el uso de ultrasonido. [99] Freitas de Oliveira y col. (2016) extrajeron pectina de las cáscaras de maracuyá y observaron que el rendimiento aumentó en los primeros 10 min de tratamiento y luego disminuyó. El rendimiento aumentó 1,42 veces cuando la intensidad de la energía de EE. UU. Aumentó de 132,8 a 664 W / cm<sup>2</sup>, a 85 ° C. Además, el rendimiento aumentó 1,67 veces cuando la temperatura aumentó de 45 a 85 ° C, a 664 W / cm<sup>2</sup>. Hubo una fuerte dependencia del rendimiento de la temperatura y el rendimiento máximo (12,67%) se logró a la temperatura más alta (85 ° C) y la intensidad de potencia (664,0 W / cm<sup>2</sup>) probadas. El contenido de GalA aumentó de 66,27 a 76,29 cuando la temperatura disminuyó de 85 a 45 ° C, a 132,8 W / cm<sup>2</sup>, mientras que el contenido de GalA no cambió cuando la intensidad de potencia aumentó de 132,8 a 664 W / cm<sup>2</sup>, a 85 ° C. Además, la temperatura y la intensidad de la energía tuvieron un efecto negativo en el DE, que fue superior al 50% para todas las condiciones probadas. [107]

Un estudio sobre la optimización de la producción de harina de cascara de maracuyá y su incorporación a la alimentación dietética, la cual tuvo como objetivo obtener harina de cascara de maracuyá e incorporarla como ingrediente en la elaboración de galletas dietéticas, demostró que debido al alto contenido de fibra de la cascara de maracuyá se puede incluir en la dieta como un alimento rico en fibra siendo una alternativa para la valorización de los residuos de la agroindustria y un ingrediente de alto valor nutricional para la industria alimentaria ya que permitió la sustitución del 30% de harina de trigo en el desarrollo de galletas dietéticas por presentar altos contenidos de minerales, fibra y aceptación sensorial. [108]

Como se evidencia en la tabla 7 solo se encontraron dos estudios acerca de la determinación de la concentración de Fibra dietaría a partir del albedo retirado manualmente de maracuyá de grado comercial. En esta investigación un factor diferencial es que se estudiará la viabilidad técnica de obtener a nivel de laboratorio FD a partir de *los residuos agroindustriales* de empresas procesadoras de pulpas de maracuyá de la región,

analizando además el contenido de metales pesados, residuales agroquímicos y verificando que el producto rico en FD cumpla con los requisitos microbiológicos según la norma técnica colombiana NTC 5986: 2013. Adicionalmente, no existen publicaciones que evalúen técnico, económica y ambientalmente el proceso de producción de fracciones de FD del aprovechamiento de éste subproducto agroindustrial. Ese reto también se asume en este estudio.

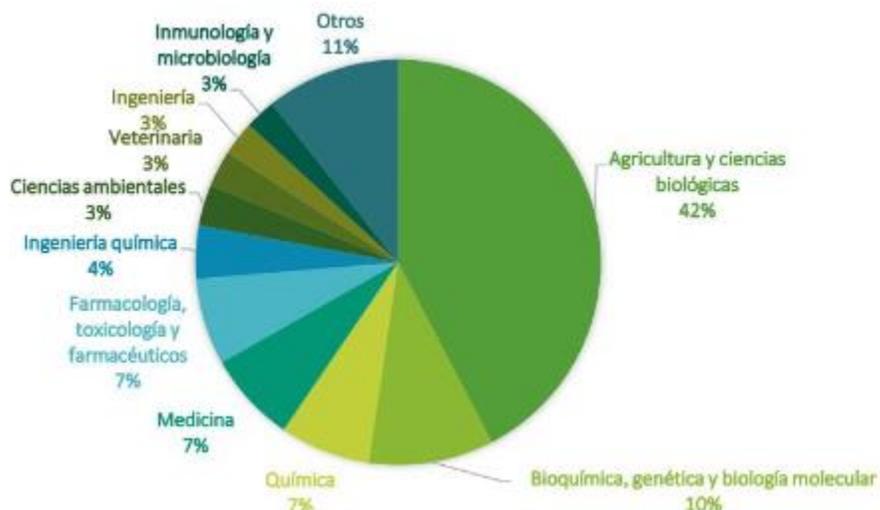
Recientemente, estudios han reportado la recuperación de la composición y subproductos con un alto valor agregado del bagazo del maracuyá como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 9** Composición y aplicación del bagazo de Pasiflora [94]

<b>CATEGORIA DE COMPOSICIÓN</b>	<b>PRINCIPALES COMPONENTES</b>	<b>APLICACIONES O PROPIEDADES BIOACTIVAS</b>	<b>REFERENCIA</b>
Grasas	Ácidos grasos insaturados, tocoferoles tocotrienoles	Extracción de aceite, con alta capacidad antioxidante (ensayo DPPH), mediante método SC CO2	[109]
	Composición de macronutrientes y ácidos grasos insaturados, tocoferoles y tocotrienoles	Extracción de aceite, con alta capacidad antioxidante (ensayo DPPH), mediante método Soxhlet	[110]
	Ácidos grasos insaturados, tocoles y carotenoides	Extracción de aceite, con alta capacidad antioxidante (ensayo ORAC y DPPH) utilizando SC CO2.	[111]
	Compuestos volátiles	Extracción de aceites esenciales, mediante	[27]

	(terpenos, aldehídos, ésteres, alcoholes, hidrocarburos)	prensado en frío, con diferentes compuestos volátiles	
Compuestos Fenólicos	Piceatannol y resveratrol.	Obtención de extracto polar, con alto contenido en piceatannol, capaz de inhibir la melanogénesis y favorecer la síntesis de colágeno.	[112]
Compuestos fenólicos		Efecto supresor del extracto de maracuyá sobre la producción de IgE	[113]
	Piceatannol y escirpusina B	Obtención de un extracto polar de bagazo de maracuyá desgrasado, con alta capacidad antioxidante (ensayo FRAP y ORAC) mediante extracción PLE	[96]
Fibra insoluble	Composición de macronutrientes y fibra dietética (celulosa, hemicelulosa y lignina)	Identificación de altas cantidades de fibra dietética en semillas de maracuyá, con capacidad para ralentizar la actividad amilasa y absorber glucosa	[114]

Con base a la revisión bibliográfica cuya finalidad fue ver que sectores estaban aprovechando la pulpa y subproductos del maracuyá como materia de investigación diferentes al sector alimentario. Se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en la figura 2 donde se evidencia la distribución de documentos científicos sobre el maracuyá por áreas de estudio.



**Figura 2** Distribución de documentos científicos sobre maracuyá por áreas de estudio. [115]

Cerca del 70% de patentes se encuentran relacionadas al sector alimentario, y un porcentaje del 30% relacionado con el área de medicina, cosmética y productos de tocador, preparaciones para el cuidado de la piel y fertilizantes.

Países como Estados Unidos, China y Japón son países que lideran en patentes del aprovechamiento de los subproductos del maracuyá, a pesar de que no son los mayores productores, lo cual puede ser una ventaja para la industria nacional, para desarrollar productos a partir de estos residuos para exportar los componentes que se extraigan.

### 3.3 Planteamiento del problema

En la actualidad el desarrollo industrial trae consigo un aumento considerable de la generación de residuos. Según cifras del Banco Mundial, 2010 millones de toneladas de

desechos sólidos se producen cada año en el mundo. Las regiones que más los generan son Asia Oriental y el pacífico, Europa y Asia Central, Asia Meridional, América del Norte y América Latina y el Caribe. Entre los elementos y materiales que más se producen están los metales con un 4%, vidrio 5%, plástico 12%, papel 17% y alimentos 44%. Estimaciones del Banco Mundial aseguran que en el año 2050 la cifra llegara a los 3400 millones de toneladas si no se toman las medidas adecuadas. [116]

Con base a los resultados de la cuenta de flujos de materiales – residuos sólidos publicada en el boletín técnico del DANE 2017-2018 [117] la oferta de residuos sólidos y productos residuales derivados de los procesos de producción, consumo y acumulación ascendió a 24,85 millones de toneladas en el país. El comportamiento de la oferta para el 2018 muestra un incremento del 5.5 % en relación al año anterior, explicado por un incremento de 8.6 % en la oferta generada en los hogares (11.64 millones de toneladas).

La oferta de residuos sólidos y subproductos muestra que durante el 2018 la generación por las actividades económicas fue del 53.2 % y por los hogares represento el 46.8%. Los tipos de residuos con mayor contribución en la variación correspondieron a los de animales y vegetales (frutas y hortalizas).

La fabricación de jugo concentrado de maracuyá es la actividad más impactante que involucra a esta especie de frutas, ya que su mercado está actualmente en franca expansión en todo el mundo. Su procesamiento a gran escala termina inevitablemente generando enormes cantidades de desechos (semillas, cáscaras, residuales de pulpa) que corresponden a más de la mitad de la masa de fruta [96]. Aún si la semilla de maracuyá se aprovechara para la fabricación de aceite, la parte más sustancial de los coproductos de maracuyá seguiría siendo alta [97]. De acuerdo a los datos de la Encuesta Anual Manufacturera 2015, la demanda de frutas y hortalizas frescas procesadas reportada fue de 78.126 t, en términos de volumen la maracuyá se encuentra entre las frutas con mayor demanda teniendo un consumo como materia prima de 4.263,394 kg. En el primer trimestre del año 2020 se produjo cerca de 220.920 ton de Pasifloras en Colombia. [118]

En el departamento de Caldas, la planta Passicol, actualmente conocida como C.I FLP COLOMBIA ubicada en Chinchiná, generaba en el año 2012, un promedio 511,57 ton de cáscara de maracuyá como residuo. [100] y la empresa Fuggy S.A produce aproximadamente 200 ton/ año de residuos de esta fruta, razón por la cual la utilización industrial de estos frutos deja como residuos una gran proporción de masa total de la fruta,

con compuestos bioactivos, que pueden ser aprovechados para obtener otros subproductos de uso en alimentos o industrias.

El manejo de los residuos sólidos es función de la prestación del servicio de aseo, pero la capacidad de los rellenos sanitarios ha venido colapsando, y en consecuencia se ha tenido que recurrir al cierre (como es el caso del relleno Sanitario de la Curva e Rodas en la ciudad de Medellín en el año 2002). Para abordar esta problemática se creó la Política para la Gestión integral de los Residuos Sólidos en el País (leyes 99 de 1993 y 142 de 1994).[98]

De acuerdo a [99] en Colombia los residuos agroindustriales aún no han sido aprovechado eficientemente, por la falta de conocimiento en los métodos adecuados para la preparación y caracterización de sustancia de mayor valor agregado con la apropiada calidad, inocuidad y rentabilidad para el sector industrial.

### **3.4 Pregunta de investigación**

¿El concentrado de fibra dietaria obtenido a partir de los residuos agroindustriales del procesamiento maracuyá cumple con las características de calidad y tiene potencial para ser aprovechado comercialmente sin que su proceso de producción afecte negativamente el medio ambiente?

### **3.5 Justificación del problema**

La economía circular es un marco económico alternativo que busca aumentar la proporción de recursos renovables o reciclables para reducir el consumo de materias primas, minimizando pérdidas y reduciendo las emisiones. Este concepto ha ido ganando importancia por el nuevo enfoque para lograr la sostenibilidad, local, nacional y global.

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) son los objetivos globales adoptados por las Naciones Unidas en 2015 para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad de todos como parte de una nueva agenda de desarrollo sostenible. Los 17 objetivos y 169 metas que conforman los ODS dentro de la agenda 2030, están siendo adoptados tanto por el sector público como por el privado a lo largo de todo el planeta. En Colombia, a través del documento CONPES 3918, el Gobierno Nacional fijó las metas que trazarán el camino para cumplir la Agenda 2030. Respecto del ODS 12 (Producción y

consumo responsables) la meta es reducir sustancialmente la generación de residuos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización.

La transición hacia un modelo económico más circular está completamente alineada con la Agenda 2030 de las Naciones Unidas.

Este trabajo propone implementar prácticas de economía circular para contribuir a alcanzar el ODS 12 mediante la obtención de concentrados ricos en fibra dietaria obtenidos a partir del aprovechamiento agroindustrial de los residuos de *Pasiflora Edulis* (Maracuyá), ya que en la actualidad el desarrollo industrial trae consigo un aumento considerable de la generación de residuos.

Colombia muestra muy bajas tasas de aprovechamiento y valorización de residuos en comparación con otros países. Mientras en el país se aprovecha el 17%, en España es el 37%, en Holanda el 99% y en 27 países de la Unión Europea 67 % en promedio. [119]

En Colombia, de acuerdo con el Sistema Único de Información de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, en el año 2018 el país aprovechó 690.000 toneladas de residuos de manera efectiva, como parte de un tipo de reciclaje orientado a reincorporar los materiales al ciclo productivo. Entre los materiales que más se aprovechan en el país está el papel y cartón (53%), metales (25%), vidrio (13%), plástico (7%) y maderables (2%). Los residuos orgánicos de frutas y hortalizas no reportan porcentaje de aprovechamiento por lo que es de gran importancia incentivar investigaciones para la gestión de estos residuos, ya que se genera millones de toneladas anuales.

El mal manejo de residuos sólidos es lo que ha llevado que en los océanos del mundo se estén formando islas de desperdicios y que 22% de los 158 rellenos sanitarios que hay en el país estén sobresaturados, hayan llegado al final de su vida útil o tengan un par de años de servicio. [120]

Estudios recientes han demostrado que las cáscaras de las frutas tienen un gran contenido de compuestos bioactivos que podrían tener un efecto benéfico para la salud humana. Sin embargo los residuos generados en las transformaciones agroindustriales y pérdidas pos cosecha en nuestro país aún no han sido aprovechados eficientemente porque su valor es aún desconocido, y además por la falta de métodos para la preparación y caracterización de sustancias de mayor valor agregado con la calidad, inocuidad y rentabilidad. Según estudios de la Organización de las Naciones Unidas implementar políticas en pro del

cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible permitiría generar cerca de 300 millones de empleos en todo el mundo, además el impacto ambiental que supondrían estas iniciativas. Generalmente los altos costos del proceso de aprovechamiento como lo son el secado, almacenamiento y transporte son limitantes económicos en la aplicación industrial por lo tanto son usados para alimento en animales, compostaje o focos de contaminación, generando un problema de salud pública, y generando costos cada vez menos sostenibles. Por esta razón la utilización eficiente, a bajo costo y ambientalmente amigable de estos subproductos orgánicos es cada vez más importante y de interés en varios sectores.

Es evidente que la causa de la contaminación del ambiente, la calidad del aire por la generación de gases de efecto invernadero en lo cual los residuos orgánicos representan cerca del 61% de la generación de GEI cuando son enterrados en los rellenos sanitarios según lo señalado en el CONPES en la política Nacional para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos. [121]

En Colombia un estudio del maracuyá realizado por el gobierno y la Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico de las Pasifloras del país, estimó que para el 2020 habría cerca de 20.500 hectáreas cosechadas de maracuyá, con una producción de 615.000 toneladas al año.

Con base al investigador Cardona, los residuos de maracuyá no se aprovechan de manera correcta. Se aplica para abono o para la alimentación de animales, cuando gran parte de los bioactivos de la fruta se encuentran en sus semillas, albedo y cascara. [122]

El aprovechamiento de los residuos del maracuyá aumentaría la competitividad en las cadenas de frutas y hortalizas en Colombia, puntualmente en el eslabón de las pasifloras, que son frutas exóticas ricas en componentes bioactivos (compuestos fenólicos, carotenoides, vitaminas y fibras) que se pueden encontrar a veces en cantidades más altas que las de las partes comestibles. De esta forma se aprovecharía este fruto en aproximadamente un 80% y de igual manera se motivaría el desarrollo de nuevos productos o la reformulación de productos existentes, dando uso como materia prima o sustituto de ingredientes en el desarrollo de alimentos funcionales

Aprovechar al máximo los residuos sólidos logra reducir sustancialmente las toneladas que se disponen en el relleno sanitario u otro sitio de disposición final. además si se aprovechan

los residuos se puede contribuir al 6% en la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI).[119]

Los subproductos ricos en fibra dietética y compuestos bioactivos, son de gran potencial para los procesadores de alimentos, especialmente porque los consumidores prefieren los suplementos naturales, por temor a que los ingredientes sintéticos puedan ser la fuente de toxicidad y porque brindan muchos efectos beneficiosos nutritivos y protectores.[48] Como se mencionó, los subproductos del maracuyá son ricos en fibra (pectina), la cual se usa como agente gelificante y estabilizador en las propiedades de los alimentos, y este en su mayoría es importado por las empresas nacionales, y suele ser de origen sintético. [107]

La metodología utilizada para agregar valor a los residuos del maracuyá es aplicable a otros residuos de frutas y/o vegetales que tengan un contenido significativo de fibra dietaría. De ser exitoso comercialmente este aprovechamiento del residuo beneficiaría en gran medida al sector agroindustrial, al reducir los costos de manejo de residuos, dar valor agregado a un subproducto, disminuyendo el impacto ambiental del proceso. Así mismo, es de interés investigativo el aprovechamiento de los residuos de frutas del género passifloras, reflejado en proyectos como el "Productividad y competitividad frutícola andina" (BID-Fontagro) en el que se enmarca esta investigación.

## **3.6 Objetivos**

### **3.6.1 General**

Aprovechar los residuos resultantes del proceso de industrialización de una fruta del género pasiflorácea mediante métodos de transformación amigables con el medio ambiente para obtener una fuente de fibra dietaría de calidad comercial.

### **3.6.2 Específicos**

1. Caracterizar y seleccionar el residuo de mayor potencial para la producción del producto enriquecido en fibra.
2. Elegir el método de extracción de fibra dietaría.
3. Optimizar el método de extracción de fibra dietaría.
4. Realizar un análisis técnico, de costos y ambiental del proceso de obtención de una fuente de fibra dietaría.

### 3.6.3 Metodología General

OBJETIVOS ESPECIFICOS	METODOLOGIA GENERAL
1. Caracterizar y seleccionar el residuo de mayor potencial para la producción del producto enriquecido en fibra.	Caracterización y selección del residuo de mayor potencial con base a la medición del contenido de metales pesados y residuales agroquímicos procedentes de 2 fincas cuyo propósito fue garantizar la inocuidad de la fruta de la cual se extrajo el albedo. Sección 4.2.1
2. Elegir el método de extracción de fibra dietaría.	El método de extracción de fibra dietaría se basó en la elección del mejor solvente, agua o etanol, Sección 4.6.3 La selección se basó en las características de la fibra dietaría total, obtención de mayor contenido de fibra dietaría soluble. La fibra dietaría obtenida se le determinaron las propiedades tecnológicas: humedad, capacidad de retención de aceite y agua, y análisis microbiológico, Sección 4.6.4
3. Optimizar el método de extracción de fibra dietaría	La optimización se llevó a cabo por medio del método de superficie de respuesta Sección 5.2.1
4. Realizar un análisis técnico, de costos y ambiental del proceso de obtención de una fuente de fibra dietaría	El análisis técnico, económico y ambiental se llevó a cabo en la Sección 6.2

## **4. Obtención y caracterización de una fuente de concentrado de fibra dietaría a partir del albedo del maracuyá “*Passiflora Edulis*”**

### **4.1 Introducción**

La producción de frutas tropicales ha ido aumentando considerablemente a lo largo de los años. Colombia es el segundo país productor de frutas tropicales en Latinoamérica por su ubicación geográfica y la variedad de frutas disponibles. Entre las frutas tropicales con gran importancia comercial se encuentra el maracuyá (*Passiflora edulis*) más conocido como el fruto de la pasión.

Es de gran importancia investigar y explorar el potencial de residuos de maracuyá, entre ellos el contenido de fibra dietaría, por su importancia y beneficios sobre la salud humana del consumidor, de reducción del riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares, adecuado funcionamiento gastrointestinal y digestión de los lípidos, ayudando a controlar el peso y a reducir la aparición de algunos tipos de cáncer.

La fibra dietaría obtenida de los subproductos agroindustriales del maracuyá es un ingrediente atractivo para la industria de los alimentos, tales como productos cárnicos, panificación, lácteos para mejorar sus propiedades tecnológicas como textura, retención de grasa, agua, y estabilidad de las emulsiones.

El objetivo del presente capítulo fue determinar el contenido de fibra dietaría a partir del albedo del maracuyá usando como solvente agua y etanol, para evaluar cual solvente tenía ventajas sobre la obtención del concentrado de fibra, además de evaluar sus propiedades tecnológicas, microbiológicas y contenido de metales pesados y pesticidas, para su potencial uso en alimentos de bajo contenido calórico.

## **4.2 Metodología**

En esta sección se describen los materiales, procedimientos y métodos que se aplicaron para desarrollar este capítulo, las pruebas fueron realizadas en colaboración de laboratorios externos y en el instituto de Biotecnología y Agroindustria de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.

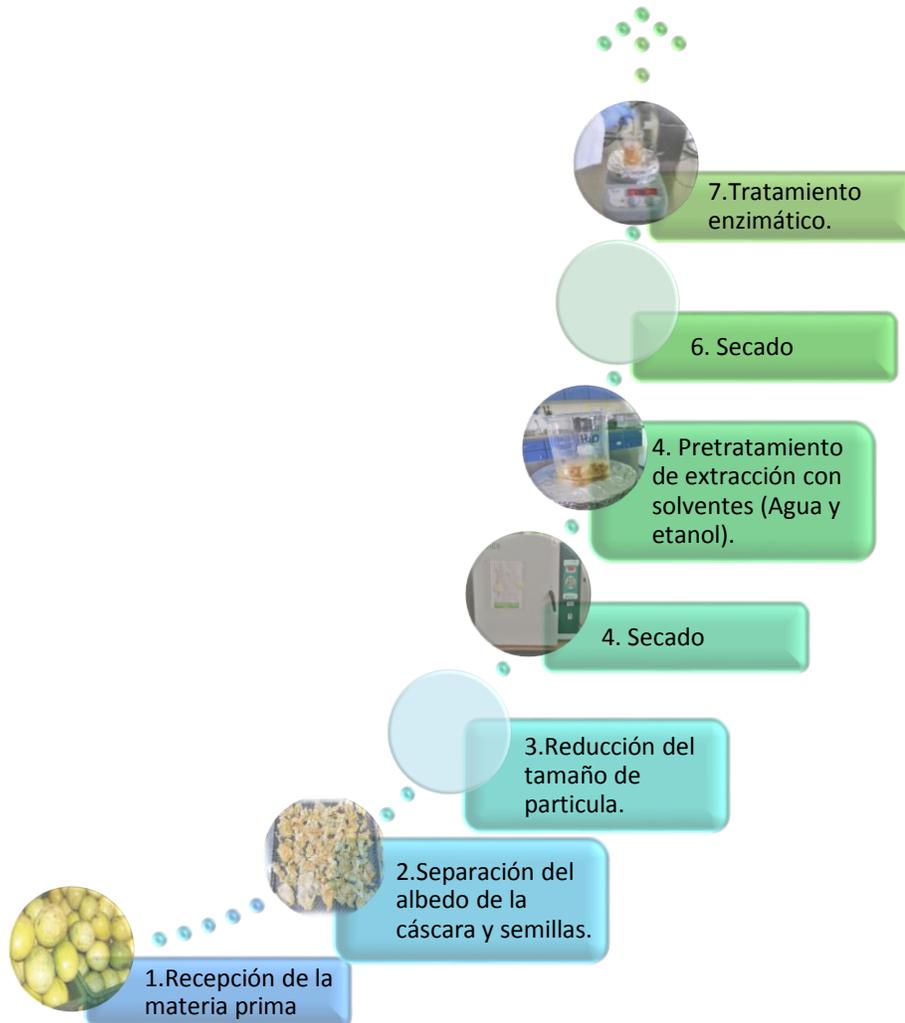
### **4.2.1 Medición del contenido de metales pesados y residuales agroquímicos.**

Se realizó el análisis de contenido de metales pesados y residuales agroquímicos de las materias primas, para verificar que no superaran los límites máximos permisibles señalados en la tabla 4.3, 4.4 y 4.5 con base en la NTC 5983:2013, para comprobar la necesidad o no de descartar por contaminación por excesivas concentraciones de estos compuestos que pueden impactar la calidad de los alimentos. Los análisis se realizaron por la empresa Primoris ubicada en la ciudad de Medellín, Antioquia. Los cultivos de maracuyá analizados son de fincas del departamento de Caldas (Finca A y Finca B), que proveen de fruta a la empresa procesadora de frutas Frugy S.A. Los resultados fueron medidos en mg/kg para los compuestos en estudio.

Otra información secundaria relacionada con las caracterizaciones de los residuos del maracuyá de diversas fincas de la región se muestran en las figuras 4.5 y 4.6.

### 4.2.2 Extracción de fibra dietaria

Con el objetivo de obtener un concentrado rico en fibra dietaria, un lote de residuos agroindustriales de maracuyá seleccionados de la línea de proceso de Frugy S.A, fueron sometidos al proceso presentado en la figura 2



**Figura 3** Diagrama de flujo de proceso empleado para la obtención de concentrados de fibra dietaria a partir del albedo de la maracuyá.

### 4.2.3 Recepción

Se recibieron 50 kg de residuos agroindustriales en el Instituto de Biotecnología y Agroindustrial-IBA de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. El material se inspeccionó para seleccionar aquel que estuviera limpio, fresco y en buen estado para luego almacenarlo en bolsas plásticas de 2. Kg bajo condiciones de congelación a  $-18^{\circ}\text{C}$  para su conservación, hasta su uso.

### 4.2.4 Separación del Albedo

A parte de los residuos seleccionados, y luego de su descongelación, se les separó manualmente el albedo de la cáscara y las semillas. El albedo fue almacenado a  $-18^{\circ}\text{C}$  para su conservación, hasta el momento en que se usara.



**Figura 4** Albedo de maracuyá obtenido de los residuos agroindustriales

### 4.2.5 Reducción del tamaño de partícula del albedo

La molienda también se encuentra dentro de los tratamientos mecánicos que pueden afectar la fibra total-FT- de un material fibroso, tal como se expuso en la sección 2.2.1. Con base en la información mencionada se buscó mantener un tamaño de partícula relativamente grande (0.5 a 1 m, para albedo húmedo) para no perder las características de hidratación y las texturas de los concentrados de fibra.

## 4.2.6 Extracción

Se procede a la purificación de las fibras mediante la extracción de sustancias no deseables. El lavado se realiza con la finalidad de reducir el contenido de azúcares reductores, proteínas y ácidos urónicos, entre otros componentes dentro de la matriz sólida de la materia prima.

La reducción de estos azúcares reductores puede ayudar a prevenir las reacciones de pardeamiento enzimático y no enzimático, que afectarían la calidad sensorial del producto durante la operación de secado, generando variaciones en la coloración de las fibras.

Los solventes empleados en esta etapa de extracción fueron alcohol etílico (95% V/V) y agua a 30°C y 60°C, con el fin de seleccionar el solvente que permita obtener una fuente de fibra dietaria con un proceso que maximice las respuestas de diseño.

La relación de solvente usado en las extracciones fue de 5:1 (ml de solvente/gr de materia prima), usando un matraz de fondo plano de 500 ml y una placa con agitación magnética (DLAB MS-H280-Pro LED) con una velocidad de agitación constante de 120 rpm con el fin de homogenizar la muestra tratada durante 30 minutos. Posteriormente se filtró la muestra para recuperar el solvente.

**Tabla 10** Condiciones de temperatura de extracción y secado.

<b>condiciones</b>	<b>Text (°C)</b>	<b>Tsec (°C)</b>
<b>1</b>	60	60
<b>2</b>	30	60
<b>3</b>	30	40
<b>4</b>	60	40
<b>5</b>	N.A	30

### 4.2.7 Secado

La porción remanente del proceso de extracción se sometió a secado en un secador de bandejas marca ThermoScientific, Alemania, a temperaturas de 40°C y 60°C hasta alcanzar una humedad aproximada del 4% en base húmeda.



**Figura 5** Secador de Bandejas, ThermoScientific

### 4.2.8 Tratamiento enzimático

La materia prima pre-tratada y seca se le realizó el tratamiento enzimático-gravimétrico, siguiendo el procedimiento de la AOAC 991.42, 1998 y 993.19, 1998 para determinar la concentración de fibra dietaria insoluble y soluble, respectivamente. Para ello se empleó el kit de Megazyme K-FDT, el cual está compuesto enzimáticamente por  $\alpha$ -amilasa, proteasa y  $\alpha$ -amiloglucosidasa.

El material de la muestra se trata primero con  $\alpha$ -amilasa termorresistente, con el fin de engrudar el almidón y disgregarlo parcialmente. A continuación tiene lugar una digestión de las proteínas por la proteasa y la disgregación restante del almidón por la amiloglucosidasa. Las fibras alimentarias solubles se precipitan con etanol (95% concentración en volumen), se filtra el precipitado y se lava con etanol y acetona. A continuación, se procede al secado y pesado del residuo.

En el residuo de la primera preparación se determina el contenido de minerales. La masa promedio de ambos residuos tras restar los valores correspondientes a proteínas, sustancias minerales y solución en blanco, corresponde al contenido de fibras del producto.

#### 4.2.9 Capacidad de retención de agua (CRA)

Para la determinación de la capacidad de retención de agua se hidrataron 0.1 g de muestra en 10 ml de agua destilada en una probeta a temperatura ambiente. Después de transcurridas 24 horas se registró el volumen final. CRA se expresó como g de agua retenida por g de fibra.

#### 4.2.10 Capacidad de retención de aceite (CRO)

Se adicionaron 25 mililitros de aceite comercial a 250 mg de muestra seca, se agito y se dejó a temperatura ambiente durante 1 hora. Posteriormente, se centrifugo 3000\* g durante 5 minutos, se pesó el residuo.

CRO se expresó como g de aceite contenido por g de fibra.

### 4.3 Determinación de humedad

El contenido de humedad se le determino a ~ 0.5 g de muestra de albedo y de cada una de las fracciones de concentrado de fibra dietaría por medio de una balanza de humedad marca (Precisa XM 66- Halógeno).



**Figura 6** Balanza de humedad (Precisa XM 66-halógeno)

## 4.4 Análisis Microbiológico

Las muestras obtenidas mediante la optimización con el análisis de superficie de respuesta que se aborda en el próximo capítulo, fueron sometidas a análisis microbiológicos de acuerdo a la Normas Técnicas Colombianas (NTC) 5986:2013, Referentes a salvado de trigo, germen y otras harinas de trigo, determinación del contenido de materia extraña y determinación del contenido de impurezas, respectivamente.

En el análisis microbiológico se determina a la muestra los siguientes análisis:

**Tabla 11** Métodos de análisis microbiológicos aplicados a la muestra de albedo de maracuyá.

Análisis	Método
Recuento de Mesófilos Aerobios (UFC/g-ml)	ISO 4833-
Recuento de Mohos y levaduras (UFC/g)	ISO 7954
Recuento Estafilococo Coag. (+) (UFC/g-ml)	ISO 6888-2
Recuento de Escherichia Coli (UFC/g- ml)	ISO 48321
Salmonella en 25 g	ISO 6579
Bacillus cereus	ISO 7932

## 4.5 Análisis Estadístico

Todos los experimentos se llevaron a cabo por triplicado. Las diferencias entre las muestras se evaluaron mediante análisis de varianza (ANOVA). Los datos se calcularon como media  $\pm$  SD.  $P < 0.05$  se consideró estadísticamente significativo.

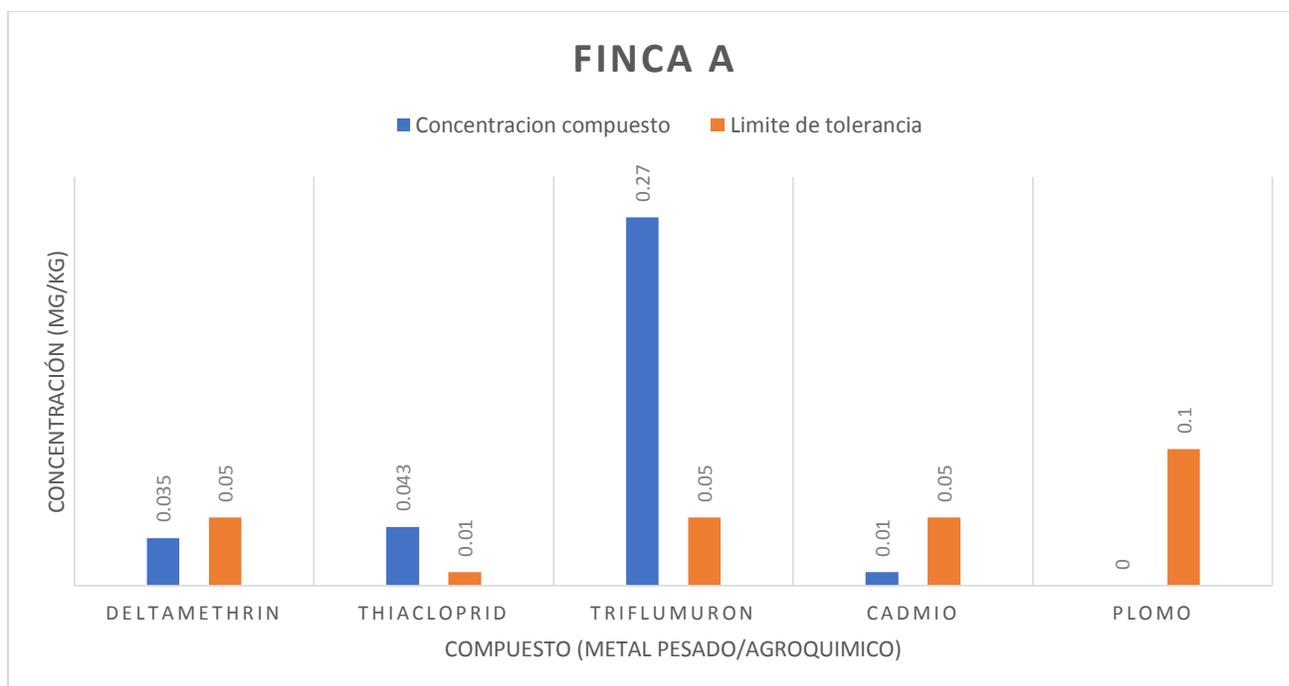
## 4.6 Resultados y discusión

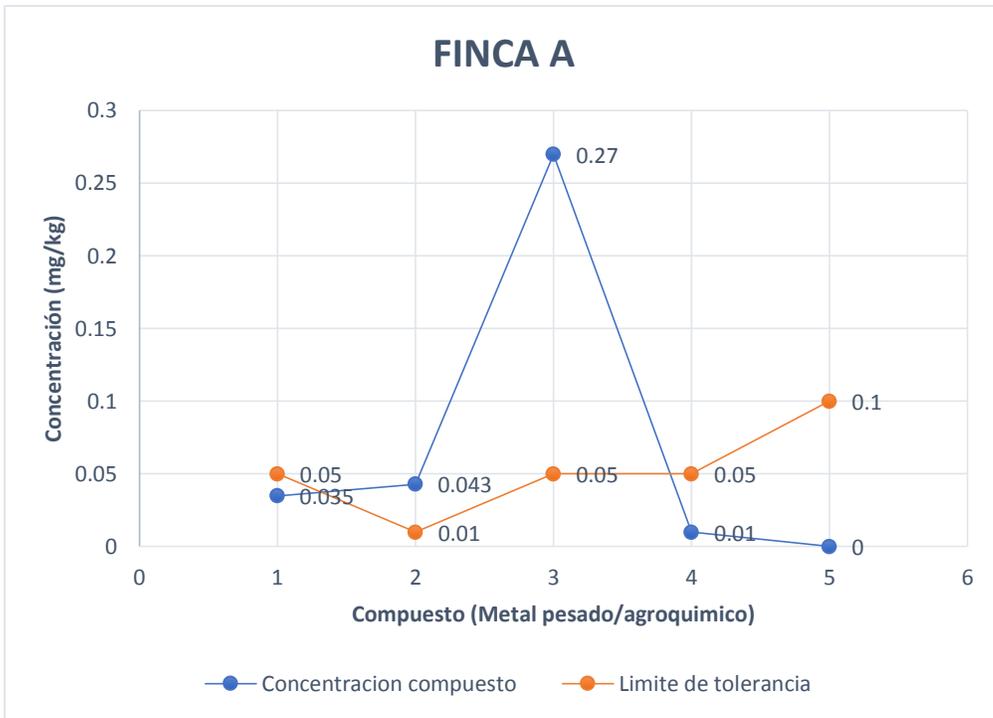
### 4.6.1 Medición de metales pesados y residuales agroquímicos.

Los resultados obtenidos del análisis del laboratorio correspondiente de metales pesados y residuales agroquímicos de la empresa Primoris se describe en las figuras 6 y 7, de muestras de maracuyá de dos de las fincas de proveedores de la empresa procesadora de frutas de la región.

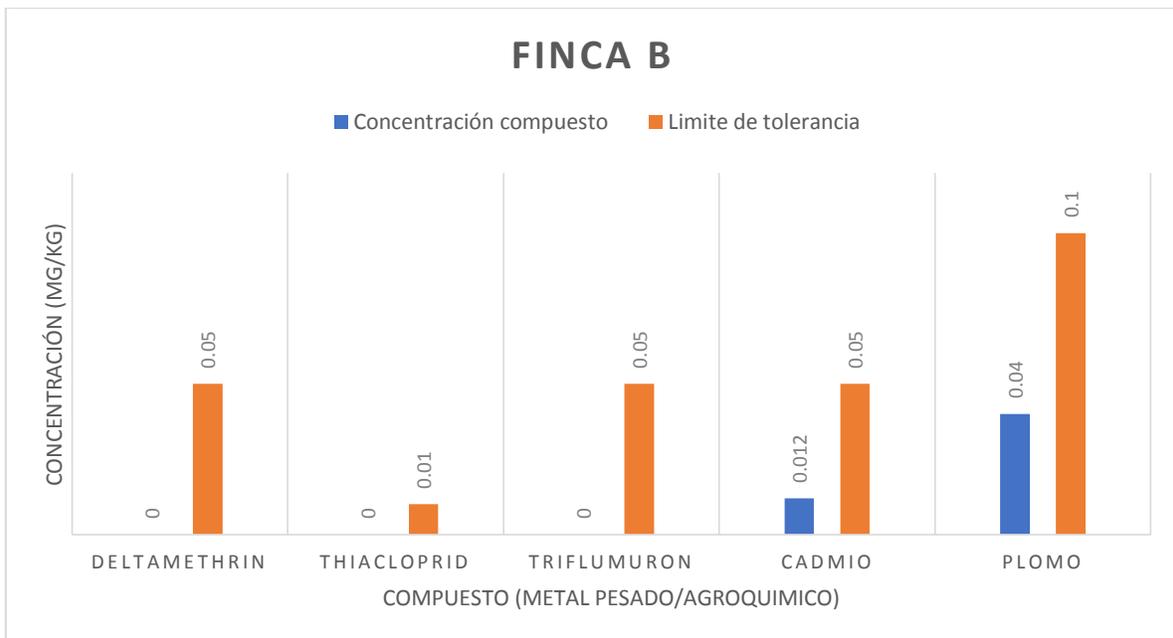
Se encontró en los frutos altos valores de contenido de residuales de agroquímicos como el thiacloprid y triflumuron para la finca A, con 0.43 mg/kg y 0.27 mg/kg, respectivamente, los cuales exceden el límite de tolerancia que es de 0.01 mg/kg para el thiacloprid (R 1355/2016) y de 0.05 mg/kg para el triflumuron (R 839/2008), además se registraron valores bajos para compuestos como deltamethrin de 0.035 mg/kg y de cadmio de 0.01 mg/kg.

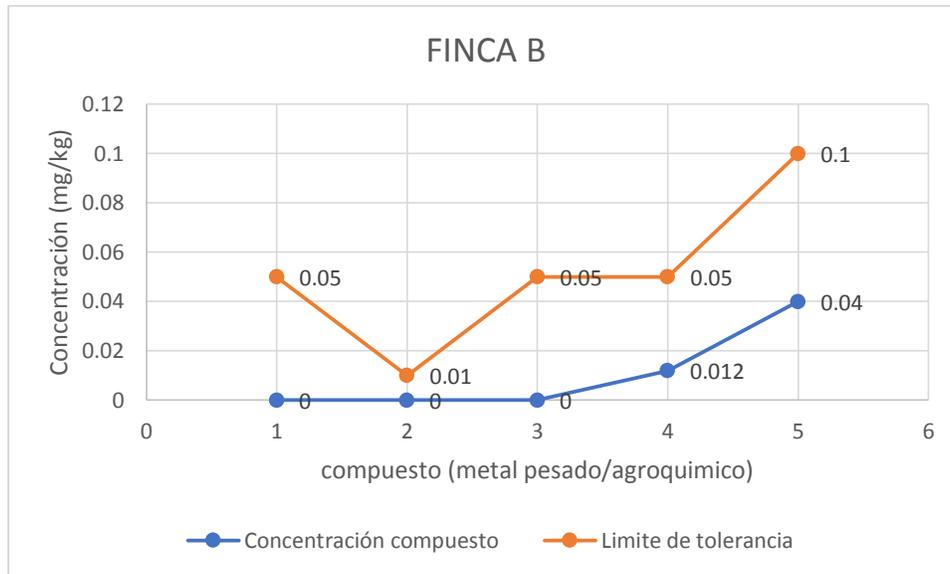
El cultivar de la finca B indicó presencia de plomo con un 0.04 mg/kg y de cadmio 0.012 mg/kg los cuales se encontraron dentro de niveles permitidos sin exceder el límite máximo de 0.1 mg/kg y 0.05 mg/kg, respectivamente con base en la Resolución 1881/2006.





**Figura 7** Resultados análisis residuales agroquímicos y metales pesados. Finca A





**Figura 8** Resultados análisis residuales agroquímicos y metales pesados finca B.

Con base en los resultados obtenidos en el reporte se presume que los cultivos de esta pasiflora de las fincas anteriormente mencionadas tienen prácticas agrícolas convencionales y usan diferentes tipos de pesticidas que adquieren y aplican los agricultores. Por tal razón la materia prima procedente del cultivo A no se utilizó por registrar altos valores de los compuestos de thiacloprid y triflumuron ya que la presencia de estos compuestos pueden ser potencialmente tóxicos para los seres humanos, tener efectos perjudiciales para la salud a largo plazo como acarrear consecuencias para los sistemas reproductivo, inmunitario o nervioso [123]. Respecto de las concentraciones altas de metales pesados, estas ejercen efectos tóxicos en sus rutas metabólicas, ya que ellos pueden bloquear grupos funcionales de moléculas importantes, sustituir iones esenciales en sitios celulares y afectar la integridad de las membranas celulares y organelos.[124]. La norma NTC 5386:2013 no incluye la evaluación de presencia de metales pesados y residuales agroquímicos. Para el cadmio y el plomo, los cuales se exige concentraciones por debajo de 0.2 mg/kg en el producto.

Por lo anterior el cultivar de la finca B cumple con los niveles de concentración de metales pesados y residuales agroquímicos, permitidos con base en la NTC anteriormente mencionada y los límites de tolerancia según las resoluciones establecidas. En este trabajo se utilizaron los residuos del procesamiento de maracuyá procedentes de esta finca.

## 4.6.2 Rendimientos en la adecuación de la materia prima

De acuerdo con la información de la empresa transformadora de frutas, la fracción que constituye el residuo del despulpado del maracuyá corresponde en promedio al 69% conformado por cascara, residuos de pulpa, albedo y semillas. Este porcentaje se asemeja a los reportados por Oliveira & Resende (2012) con una composición de 67% de residuos, esta diferencia se puede atribuir a la variedad empleada y al tipo de corte que se le realiza al momento de la separación del compuesto de interés.

A partir de los residuos recibidos de la empresa el 60% constituye el albedo.

## 4.6.3 Determinación del contenido de fibra dietaría.

### Elección del mejor solvente: agua o etanol

En la tabla 10 se muestran los resultados promedios obtenidos del contenido de fibra dietaría a partir de los residuos agroindustriales de albedo de maracuyá del pre tratamiento de extracción usando como solventes agua y etanol a condiciones de temperatura de secado y de extracción de 40°C-60°C y 30°C-60°C, respectivamente. Cada uno de los experimentos se realizó por triplicado. Según los coeficientes de variación de estos resultados (menores al 10%, anexo – tabla 40, 41, 42 y 43), el conjunto de datos obtenidos experimentalmente tienen baja dispersión y sus valores medios son representativos. Las temperaturas de secado fueron menores a los 65°C con el fin de evitar cambios en las propiedades funcionales y en el contenido de los compuestos bioactivos.

**Tabla 12** Resultados de concentrado de fibra dietaría soluble (FDS), insoluble (FDI) y total (FDT) a partir del pre tratamiento del albedo de maracuyá.

Ensayo	T_Ext [°C]	T_sec [°C]	Agua			Etanol		
			FDS (%)	FDI (%)	FDT (%)	FDS (%)	FDI (%)	FDT (%)
1	60	60	15.66%± 0.03	62.23%±0.15	77.89%±1.5 0 e-3	7.45%±4.5 0 e-3	73.20%±2. 60e-2	80.65%±2.60 e-2

2	30	60	2.04% ± 0.17	83.33%±0.34	85.37%±2.7 0e-3	4.11%±1.1 0 e-3	68.83%±2 .40 e-2	72.94%±2.50 e-2
3	30	40	8.54% ± 0.05	62.34%±0.04	70.88%±6.2 4e-4	6.61%±3.5 0e-3	65.60%±2. 15 e-2	72.20%±2.30 e-2
4	60	40	1.74% ± 0.02	80.16%±0.07	81.90%±9.0 0e-4	13.22%±1. 00 e-2	73.40%±1. 20e-2	86.62%±1.90 e-2

\*T\_Ext: Temperatura de extracción, \*\* T\_sec: Temperatura de secado, \*\*\* FDS: Fibra dietaria soluble, \*\*\*\* FDI: Fibra Dietaria Insoluble, \*\*\*\*\*FDT: Fibra dietaria Total.

**Tabla 13** Propiedades tecnológicas de los concentrados de fibra dietaria. Solvente agua

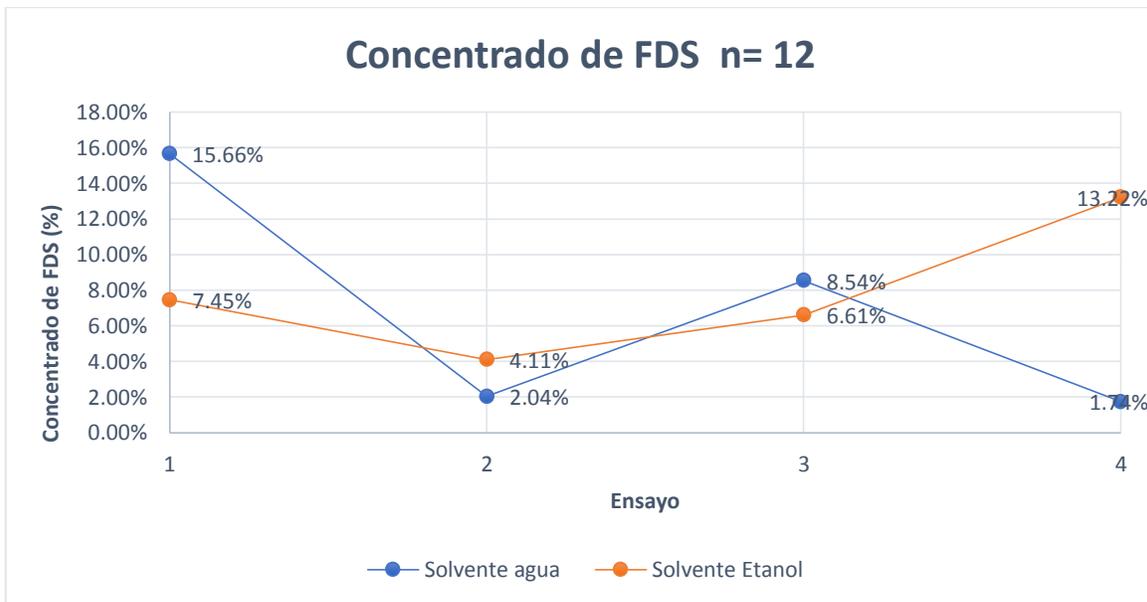
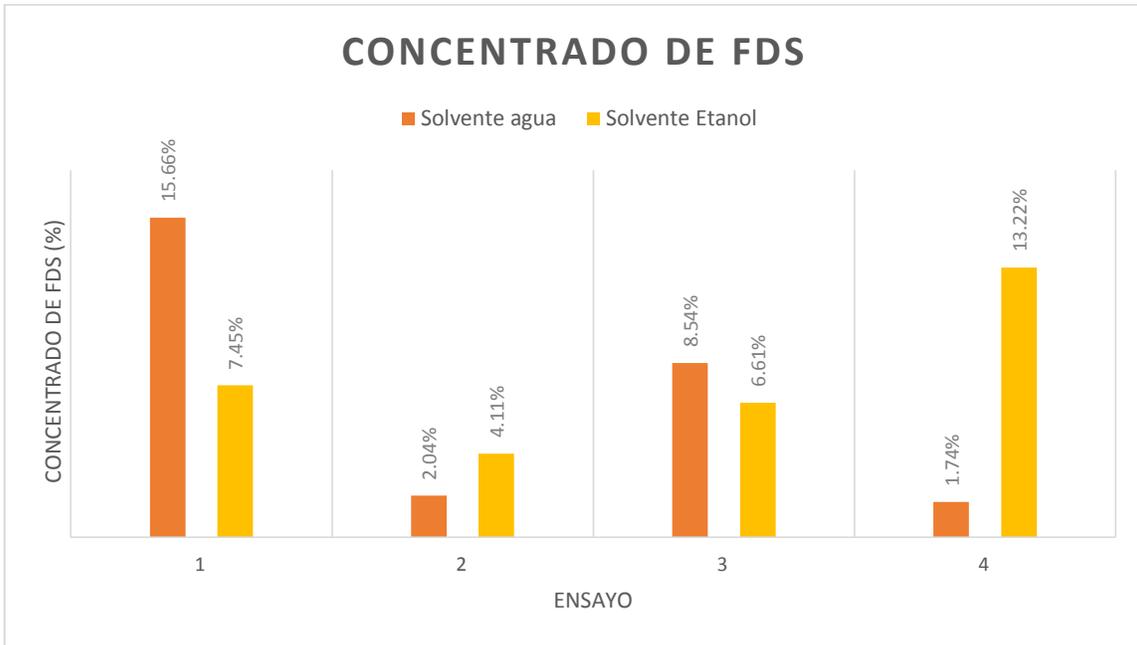
Ensayo	CRO (g de aceite/g de fibra)	CRA (g de agua retenida/ g de fibra)	% de humedad final
1	1.34 ± 0.03	18.70 ±0.15	0.67 ±0.01
2	1.70± 0.02	9.20 ±0.20	1.49± 0.02
3	1.20± 0.10	15.30± 0.10	0.95 ± 0.02
4	1.50± 0.25	8.40±0.20	0.81 ± 0.02

\*CRO: Capacidad de retencion de aceite,\*\* CRA: Capacidad de retencion de agua

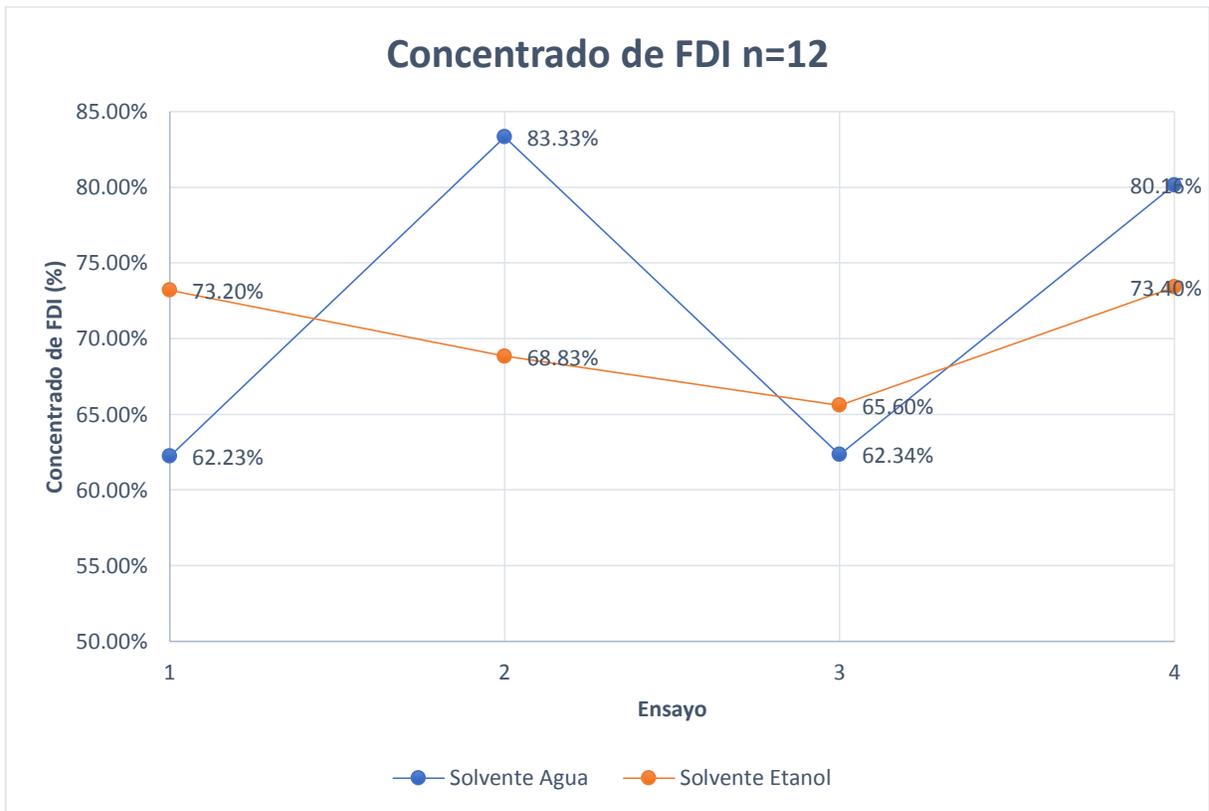
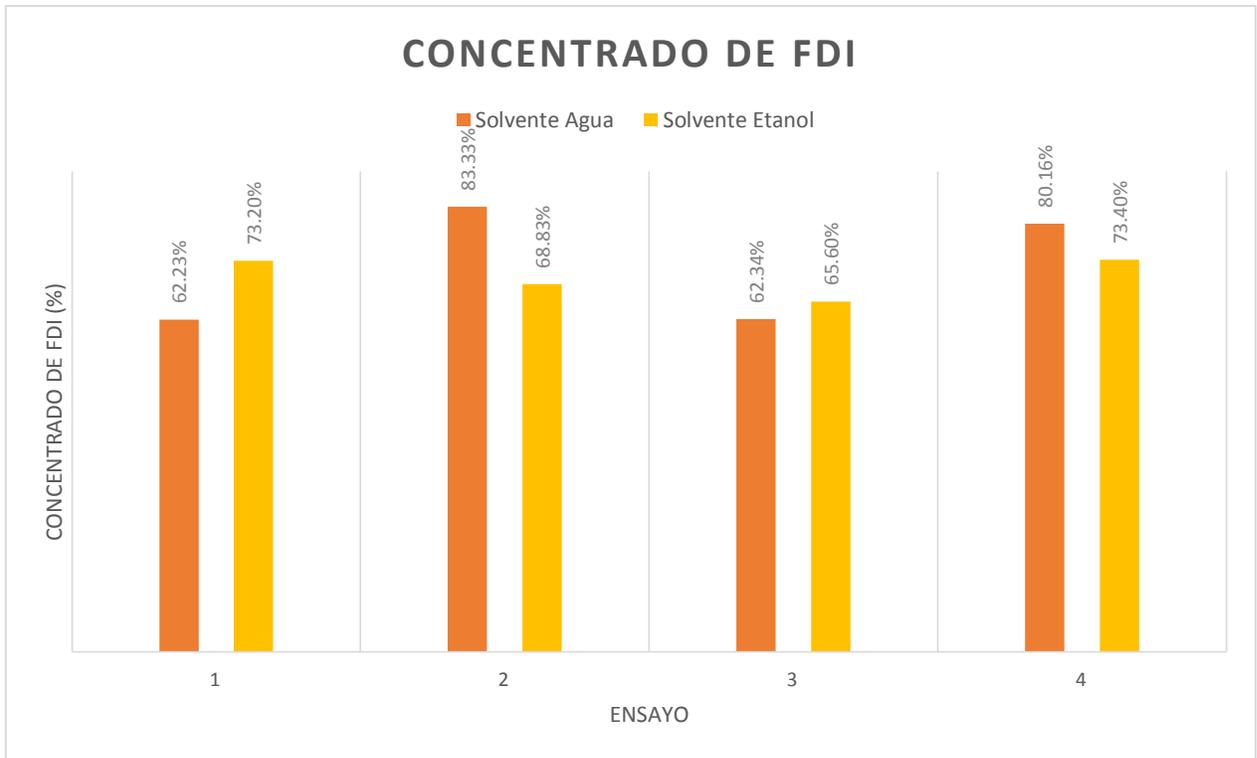
**Tabla 14** Propiedades tecnológicas de los concentrados de fibra dietaria. Solvente etanol

Ensayo	CRO (g de aceite/g de fibra)	CRA (g de agua retenida/ g de fibra)	% de humedad final
1	1.10±0.30	11.50 ±0.11	0.64±0.02
2	2.20±0.20	8,20±0.14	0.36±0.02
3	1.80±0.20	14,30±0.14	1.10±0.21
4	2,50±0.07	9.70±0.15	0.69± 0.03

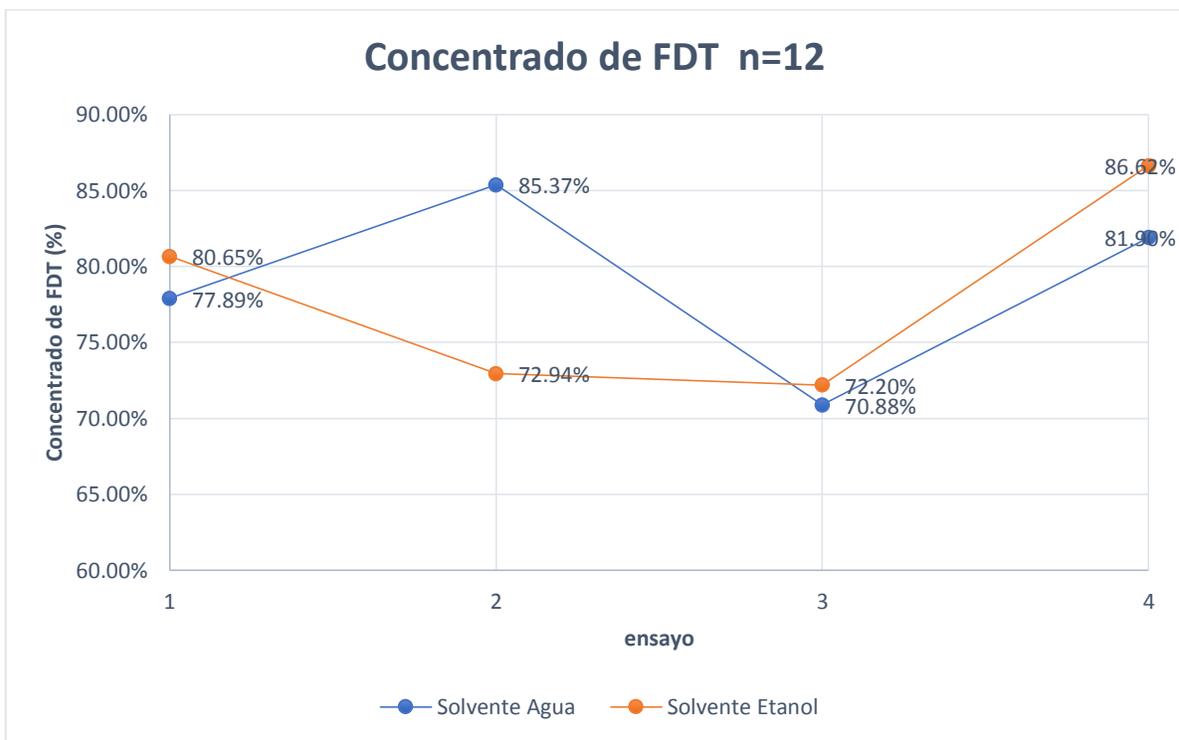
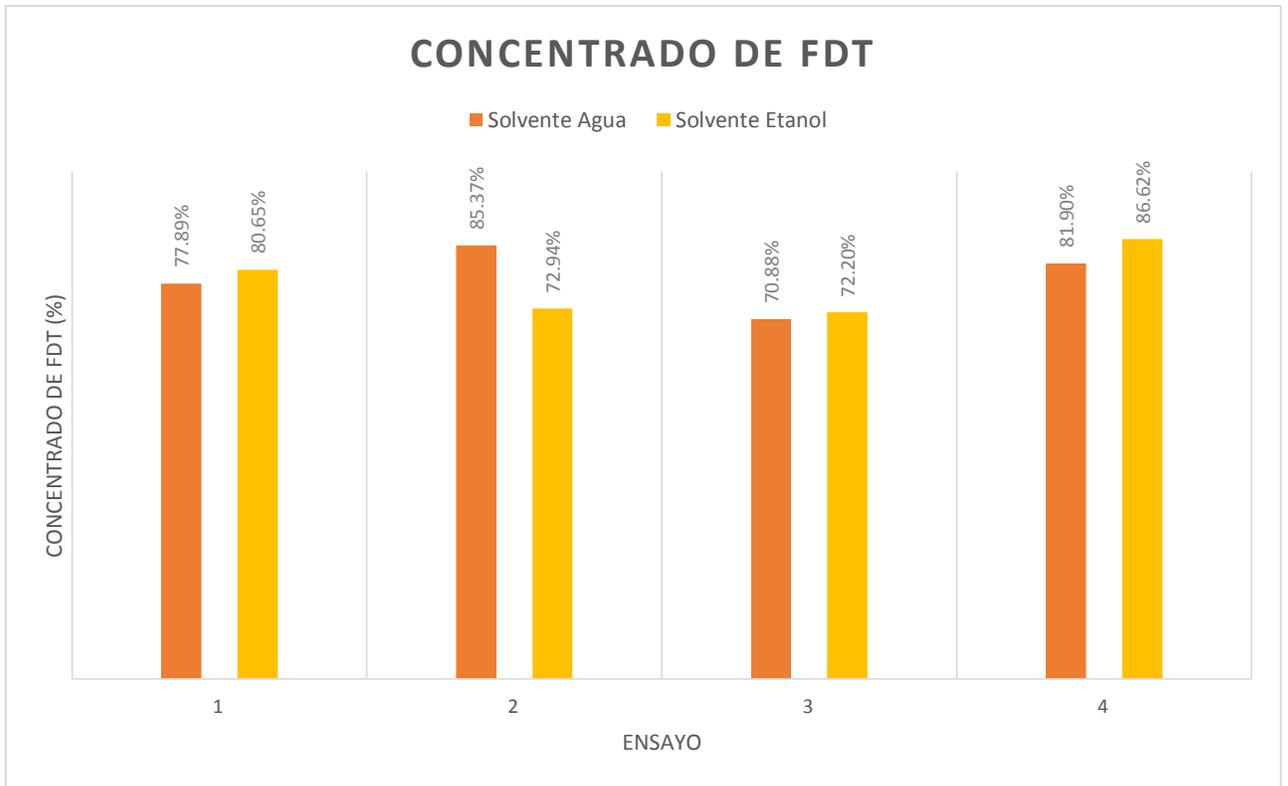
\*CRO: Capacidad de retencion de aceite,\*\* CRA: Capacidad de retencion de agua



**Figura 9** Concentrado de fibra dietaría soluble obtenida a partir del albedo de maracuyá.



**Figura 10** Concentrado de fibra dietaria insoluble obtenida a partir del albedo de maracuyá.



**Figura 11** Concentrado de fibra dietaría total obtenida a partir del albedo de maracuyá.

Con base en las figuras 8, 9 y 10 al comparar los resultados de las extracciones con los dos solventes utilizados, se obtuvo una mayor concentración de FDT a condiciones de 60°C usando agua, con rendimiento de 15.6% FDS, 62.2% FDI y 77.9 % FDT. Al emplear el etanol como solvente los rendimientos más altos fueron a condiciones de 60°C para T\_ext y de 40°C T\_sec, correspondiendo a 13.2 % FDS, 73.4% FDI y 86.6 % FDT.

En una investigación sobre el aprovechamiento de los subproductos del maracuyá para obtención de fibra dietaria que usó la extracción con agua caliente (95-100 °C), para obtener fibras solubles de la harina de residuo de esta fruta, con una agitación constante de 150 rpm durante 1 h) se extrajo 12% de FDS, cifra similar a lo obtenido experimentalmente en este trabajo. [125]

Se realizaron varias pruebas de la temperatura de secado y de extracción debido a que son etapas necesarias y de gran relevancia para la conservación y procesamiento de este tipo de fuente de fibra dietaria, estos parámetros térmicos tienden a incidir sobre las modificaciones sustanciales en las propiedades fisicoquímicas, funcionales y tecnológicas de componentes nutricionales que aportan funcionalidad al material alimentario como lo es en este caso.

El resultado de contenidos de fibra dietaria obtenidos en los ensayos 1 y 3 en las extracciones con agua y etanol respectivamente es similar a los contenidos de FDT, FDI y FDS reportados por (López-Vargas et al. 2013) de 71.79, 52.34 y 19.45 g / 100 g, respectivamente, en base seca del albedo del maracuyá [ ].

En la tabla 12 se reportan concentraciones de fibra dietaria de diversas fuentes de frutas tales como bagazo de naranja, mango, maracuyá, piña, guayaba, epicarpio y cascara de maracuyá. Comparando los resultados obtenidos experimentalmente de fibra dietaria total de 86.6 % como se mencionó anteriormente a partir del albedo del maracuyá, con los reportados por otros autores, se tiene un porcentaje significativo.

**Tabla 15** Concentraciones de fibra dietaria a partir de residuos de frutas

Fruta	FDS	FDI	FDT	Autores
Bagazo de Naranja	20.2 %	38.9 %	59.1 %	[126]

Mango	28.2 %	42.5 %	70 %	[127]
Maracuyá	35.5 %	46 %	81.5 %	
Piña	0.6 %	75.2 %	75.8 %	
Guayaba	11.1 %	57.7 %	69.1 %	
Cáscara del maracuyá	26.62 %	44.84 %	71.46 %	[128]

Con base en los resultados obtenidos de las propiedades tecnológicas de los concentrados de fibra dietaria total se evidencia que en las extracciones usando agua como solvente el concentrado con un alto contenido de fibra insoluble presentan menor capacidad de retención de agua, contrario al caso de las fibras que tienen un alto contenido de fibra dietaria soluble (Jiménez Moreno 2009, Gómez Ordoñez 2010, y Marín 2002). De esta manera la fibra obtenida en los ensayos 1 y 2 tienen mayor capacidad de retención de agua que los ensayos 3 y 4, como se observa en la tabla 12

Cuando se extrajo con etanol, los resultados en las propiedades tecnológicas de capacidad de retención de agua y de aceite reportados en la tabla 4.8 no muestran una tendencia clara (los valores obtenidos de FDI son muy similares en los 4 ensayos). La capacidad de retención de aceite (CRO) que se obtuvo mayor resultado fue en los concentrados de fibra dietaria que tenían mayores fracciones de fibra dietaria insoluble (FDI) tanto para el proceso con extracción con agua y con etanol como solvente. Con base a estudios reportados por [129], la capacidad de retención de aceite (CRO) de fibra dietaria a partir de mango fue de 1.6 g/g, de maracuyá de 0.9 g/g y de piña y guayaba de 0.74 g/g, y los obtenidos por [59] de 2.03 g/g del mismo extracto del maracuyá, por lo cual los valores obtenidos experimentalmente a partir del concentrado del maracuyá y reportados en las tablas 4.7 y 4.8 son una opción recomendable para usar como ingrediente en los preparados fritos ya que no proporcionaría una sensación grasosa.

Comparando las propiedades tecnológicas de las obtenidas a partir del albedo del maracuyá de otras fuentes de coproductos de frutas reportadas en la literatura como en el caso de [129] para el mango con una capacidad de absorción de agua de 6.4 g/g, maracuyá de 13.5 g/g, piña de 14.6 g/g y guayaba de 10.2 g/g, y [59] del albedo del maracuyá de

13 g/g los resultados obtenidos en esta investigación son similares comparando con la misma materia prima y en el caso de los ensayos 1 y 3 con agua (Valores reportados tabla 4.7) y ensayo 3 con etanol (valores reportados tabla 4.8.) presenta valores superiores.

Con base al estudio realizado por Flórez y colaboradores [130] relacionado con la optimización de un preparado sólido de fibra dietaría a partir de diferentes residuos de frutas la capacidad de hinchamiento (ml/g) y capacidad de adsorción de aceite (g) es de 8.5 y 0.9 respectivamente para fuente de fibra dietaría a partir de residuos del maracuyá.[130]. Los resultados de las propiedades tecnológicas obtenidos experimentalmente en los 4 ensayos tanto con agua como etanol como solvente dieron resultados similares o superiores.

Las propiedades tecnológicas de la fibra del albedo del maracuyá posee propiedades que la hacen útil y demuestra que es un producto prometedor para ser empleada en la industria como agente espesante, gelificante, estabilizante de emulsiones, por su capacidad de retención de agua, siendo de gran importancia en el sector alimentario, ya que pueden modificar las propiedades como textura evitando la sinéresis, preservando la frescura en el producto (horneados, panadería o productos cárnicos cocidos) y así aportando estabilidad a los productos en su vida útil. [12]

Dado que el propósito era obtener un producto con un alto contenido de fibra dietética soluble, el agua fue el solvente seleccionado de acuerdo con los resultados previamente relacionados ya que se logró el mayor contenido de fibra soluble y además, ofrece ventajas desde el punto de vista ambiental y económico.

#### **4.6.4 Análisis microbiológico del concentrado de fibra dietaría en el abedo de maracuyá.**

Al material obtenido en las condiciones optimizadas para la obtención de fracciones ricas en fibra (temperatura de extracción y de secado 63 °C y de 61°C, respectivamente, descritas en el capítulo 5) se le realizó el análisis microbiológico para verificar el cumplimiento con los requerimientos establecidos en la NTC 5986:2013, para salvado de trigo, germen y otras harinas de trigo, determinación del contenido de materia extraña y determinación del contenido de impurezas, respectivamente, en un laboratorio externo (Laboratorio Agroindustrial Bio Calidad). En el recuento de *Mesófilos aerobios* el resultado fue <10 UFC/g, *Mohos y Levaduras* < 10 UFC/g, *Estafilococo Coag. (+)* < 100 UFC/g,

ausencia de *Escherichia Coli*, Ausencia en 25 g de *Salmonella*, y *Bacillus cereus* <100 UFC/g. Los resultados obtenidos en la tabla 13 conllevan a aceptar la calidad microbiológica del albedo del maracuyá, reflejando el cumplimiento de las buenas prácticas de manufactura, influyendo en la calidad e inocuidad del producto.

**Tabla 16** Análisis microbiológico obtenido en el albedo de maracuyá.

<b>Análisis</b>	<b>Método</b>	<b>Especificaciones</b>	<b>Resultado</b>
Recuento <i>Mesófilos Aerobios</i> (UFC/g- ml)	ISO 4833-1	300.000	< 10
Recuento <i>Mohos y levaduras</i> (UFC/g)	ISO 7954	5.000	< 10
Recuento <i>Estafilococo Coag.</i> (+)(UFC/g-ml)	ISO 6888-2	<100	< 100
Recuento de <i>Escherichia Coli</i> (UFC/g-ml)	ISO4831	<10	Ausencia
<i>Salmonella</i> en 25 g	ISO 6579	Ausencia	Ausencia en 25 g
<i>Bacillus cereus</i>	ISO 7932	1.000	< 100

## 4.7 Conclusiones

Del análisis de las frutas procedentes de dos fincas, se detectaron niveles aceptables de metales pesados y la presencia de algunas moléculas de pesticidas por fuera de la normatividad en el lote de fruta de una de ellas. Esto indica que, aunque en general no hay presencia de concentraciones problemáticas de metales pesados en el maracuyá analizado, algunos productores persisten en prácticas inapropiadas de uso de agroquímicos y que el uso de la fruta, sus transformados y sus residuos para alimentación humana, requiere del monitoreo previo de los residuales de pesticidas.

Con base al análisis experimental los subproductos obtenidos del procesamiento agroindustrial del maracuyá son una fuente promisoría de fibra dietaria.

Entre el agua y el etanol como medio de tratamiento de extracción previo al secado, se seleccionó el primero de acuerdo con el contenido en fibra analizado para los materiales que usaron ése solvente.

Las medidas de capacidad de hinchamiento, solubilidad y a su balance entre fibra dietaria soluble e insoluble, permiten concluir que el producto del tratamiento del albedo con estas operaciones simples puede ser usado como ingrediente en alimentos funcionales que podrían aportar beneficios para la salud humana.

Se prevé entonces que para la obtención de concentrados ricos en fibra dietaría el proceso de extracción usando como solvente el agua, traería además consigo beneficios tales como disminución del impacto ambiental, de los costos asociados al proceso.

## **5. Optimización de las condiciones de producción para la obtención de concentrados de fibra dietaría**

### **5.1 Introducción**

Las investigaciones relacionadas con alimentos funcionales cada vez son más de interés para el sector industrial, económico y social, ya que hay una necesidad en el mercado de generar alimentos que cubran una necesidad o beneficio en particular. Los alimentos ricos en fibra dietaria contribuyen a la disminución de enfermedades crónicas degenerativas como la diabetes, hipertensión, obesidad, etc. Existen estudios e investigaciones en donde señalan la asociación a nivel epidemiológico entre el bajo consumo de fibra dietaría y la alta incidencia de enfermedades crónicas. [131]

Por medio de la aplicación de metodologías de optimización es posible predecir un alto contenido de fibra dietaría usando técnicas estadísticas, identificando cuales son las características más importantes que se deben relacionar, agrupándolas por sus propiedades y determinando cuales podrían ser más relevantes.

En el presente capítulo se realiza el procedimiento de optimización de las condiciones de producción para la obtención de fibra dietaría a partir del albedo del maracuyá de residuos agroindustriales usando como solvente agua de acuerdo con lo descrito en el capítulo 4, sección 4.6.3. Se evalúan las variables de temperatura de extracción y de secado. En este estudio, se utilizó un diseño central compuesto con dos factores y tres niveles, y análisis de superficie de respuesta para realizar experimentos y explorar las temperaturas óptimas en las etapas de extracción y secado. Se utilizó el paquete de software Design Expert 12.0 (Stat-Ease Corporation, Minneapolis, MN, EE.UU.) para establecer los modelos matemáticos.

## 5.2 Metodología

Los análisis de concentrados de fibra dietaría soluble, insoluble y total necesarios para esta sección se relacionan con la metodología presentada en el capítulo 4.

### 5.2.1 Diseño experimental

La metodología de superficie de respuesta (RSM por sus siglas en inglés) engloba una serie de técnicas estadísticas, gráficas y matemáticas para desarrollar, mejorar y optimizar procesos que es particularmente aplicable al desarrollo de productos. RSM relaciona una respuesta con los niveles de una serie de variables de entrada o factores que la influyen. Para producir los concentrados de fibra dietética optimizando las condiciones de procesamiento y obteniendo el rendimiento por tipo de fibra se realizó un diseño central compuesto utilizando el paquete de software Design Expert 12.0 (Stat-Ease Corporation, Minneapolis, MN, EE.UU.) para establecer los modelos matemáticos.

En el modelo matemático los factores fueron la temperatura de extracción ( $X_1$ ) y temperatura de secado ( $X_2$ ). Se midieron tres niveles de respuestas: fibra soluble ( $Y_1$ ), fibra insoluble ( $Y_2$ ) y fibra total ( $Y_3$ ). Cada muestra se analizó por triplicado.

El objetivo deseado para cada variable dependiente se definió como "maximizar" para fibra dietética soluble y para fibra dietaría total, para fibra dietaría insoluble "ninguna". Por medio de la función de deseabilidad se evaluó el valor de respuesta óptimo.

La optimización numérica determina un punto que mejora la función de deseabilidad al máximo.

En la tabla 17 se presenta el diseño experimental.

**Tabla 17** Niveles del diseño experimental

<b>Factor</b>	<b>Unidades</b>	<b>Símbolos</b>	<b>Valor Mínimo</b>	<b>Valor Máximo</b>
Temperatura de Extracción	°C	T_ext	50	70
Temperatura de Secado	°C	T_sec	50	70

Los factores de la temperatura de extracción y de secado, variaron desde 50 °C hasta 70°C, como se observa en la tabla 17.

En la tabla 18 se presenta el diseño experimental.

**Tabla 18** Valores del diseño experimental central compuesto de 2 variables

<b>Orden del experimento</b>	<b>T_ext (°C)</b>	<b>T_sec (°C)</b>
1	70	50
2	50	50
3	70	50
4	60	50
5	50	70
6	50	70
7	60	60
8	70	60
9	60	60
10	50	50
11	70	70
12	50	60
13	60	60
14	60	70
15	70	70

### **5.2.2 Análisis estadístico**

En el diseño experimental desarrollado se evaluó la influencia de los factores sobre las variables de respuesta y su significancia por medio de un análisis de varianza ANOVA. Se obtuvieron superficies de respuesta a partir de los datos experimentales. Los coeficientes de primer y segundo orden se generaron por medio de análisis de regresión múltiple.

El procedimiento para la optimización se puede resumir de la siguiente manera: (1) realización de los experimentos de diseño de la Tabla 17; (2) usar el análisis RSM para modelar la relación entre las temperaturas de extracción y secado y los contenidos de fibra mediante modelos de regresión con ANOVA,  $p < 0.05$ ; (3) identificar una región de relación de temperaturas óptima maximizando una función de deseabilidad y mediante gráficos de contorno y de superficie de respuesta.

## **5.3 Resultados y discusión.**

Los resultados del diseño experimental y los coeficientes de regresión de los modelos las de variables de respuesta propuestos por el software se encuentran en las Tablas 19 y 20, respectivamente.

El análisis de la superficie de respuesta y las curvas de contorno permiten definir las condiciones más apropiadas que maximizan la cantidad de fibra dietética soluble que es la de mayor de interés comercial. Se observa que cuando los valores de extracción y temperatura de secado oscilan entre  $52\text{ }^{\circ}\text{C} - 60\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $54\text{ }^{\circ}\text{C} - 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , la fibra dietética soluble, insoluble y total alcanza valores máximos de aproximadamente 0.28 g, 0.62 g y 0.89 g a partir de 1 g de albedo como materia prima.

Los modelos son altamente significativos ( $p < 0.05$ ) para la respuesta de los concentrados FDS, FDI y FDT, siendo posible construir la superficie de respuesta y definir las regiones

de interés. Por lo tanto, se puede formular una ecuación matemática para predecir la respuesta esperada a las condiciones de extracción y temperatura de secado en el rango evaluado.

**Tabla 19** Resultados del diseño experimental central compuesto, obtención de fracciones de fibra dietaria.

Corrida	T_ext (°C)	T_sec (°C)	Respuesta	Respuesta	Respuesta
			1 FDT (g/1g)	2 FDS (g /1 g)	3 FDI (g/ 1 g)
1	70.00	50.00	0.69	0.19	0.5
2	50.00	50.00	0.60	0.14	0.46
3	70.00	50.00	0.68	0.16	0.52
4	60.00	50.00	0.76	0.18	0.58
5	50.00	70.00	0.64	0.13	0.51
6	50.00	70.00	0.65	0.11	0.54
7	60.00	60.00	0.82	0.24	0.58
8	70.00	60.00	0.89	0.27	0.62
9	60.00	60.00	0.86	0.25	0.61
10	50.00	50.00	0.61	0.13	0.48
11	70.00	70.00	0.78	0.18	0.6
12	50.00	60.00	0.60	0.13	0.47
13	60.00	60.00	0.89	0.28	0.61
14	60.00	70.00	0.81	0.21	0.60
15	70.00	70.00	0.80	0.21	0.59

### 5.3.1 Análisis estadístico

La expresión matemática para los resultados se ajustó a un modelo de segundo orden por regresión múltiple con base a los resultados arrojados por el programa estadístico Desing Expert V 12.0. En la tabla 18 se muestran los coeficientes de regresión obtenidos para cada una de las variables de respuesta según las variables codificadas:

- **A:** temperatura de extracción

**-B:** temperatura de secado.

**Tabla 20** . Coeficientes de regresión de variables de respuesta de obtención de concentrados de fibra dietaria.

Fibra Dietaria	Intercepto	A	B	A <sup>2</sup>	B <sup>2</sup>
FDS	-3,51	0.059	0.062	-4,64 E -4	-5.14E-4
FDI	-2,55	-0.076	0,021	-6, 00 E-4	-1,57E-4
FDT	-6,067	0,135	0,083	-1,071 E-3	-6,71e-4

Los resultados del análisis multivariado ANOVA para la obtención de concentrados de fibra dietaria se presenta en la tabla 21. En esta tabla se analiza el ajuste de los modelos al tener en cuenta todos los coeficientes de la regresión y al reducir los términos, que tengan un  $p > 0.1$

**Tabla 21** Resultados del análisis multivariado ANOVA para la obtención de concentrados de fibra dietaria.

Variable de Respuesta	Fibra dietaria Soluble (FDS)	Fibra dietaria Insoluble (FDI)	Fibra dietaria Total (FDT)
Modelo	Cuadrático	Cuadrático	Cuadrático
	Todos los coef $p < 0.05$	Todos los coef $p < 0.05$	Todos los coef $p < 0.05$
R <sup>2</sup>	0.8604	0.8526	0.886
R <sup>2</sup> Ajustado	0.8046	0.7937	0.841
R <sup>2</sup> Predicho	0.6529	0.6131	0.702
Adeq Precision	9.9232	10.61	11.596

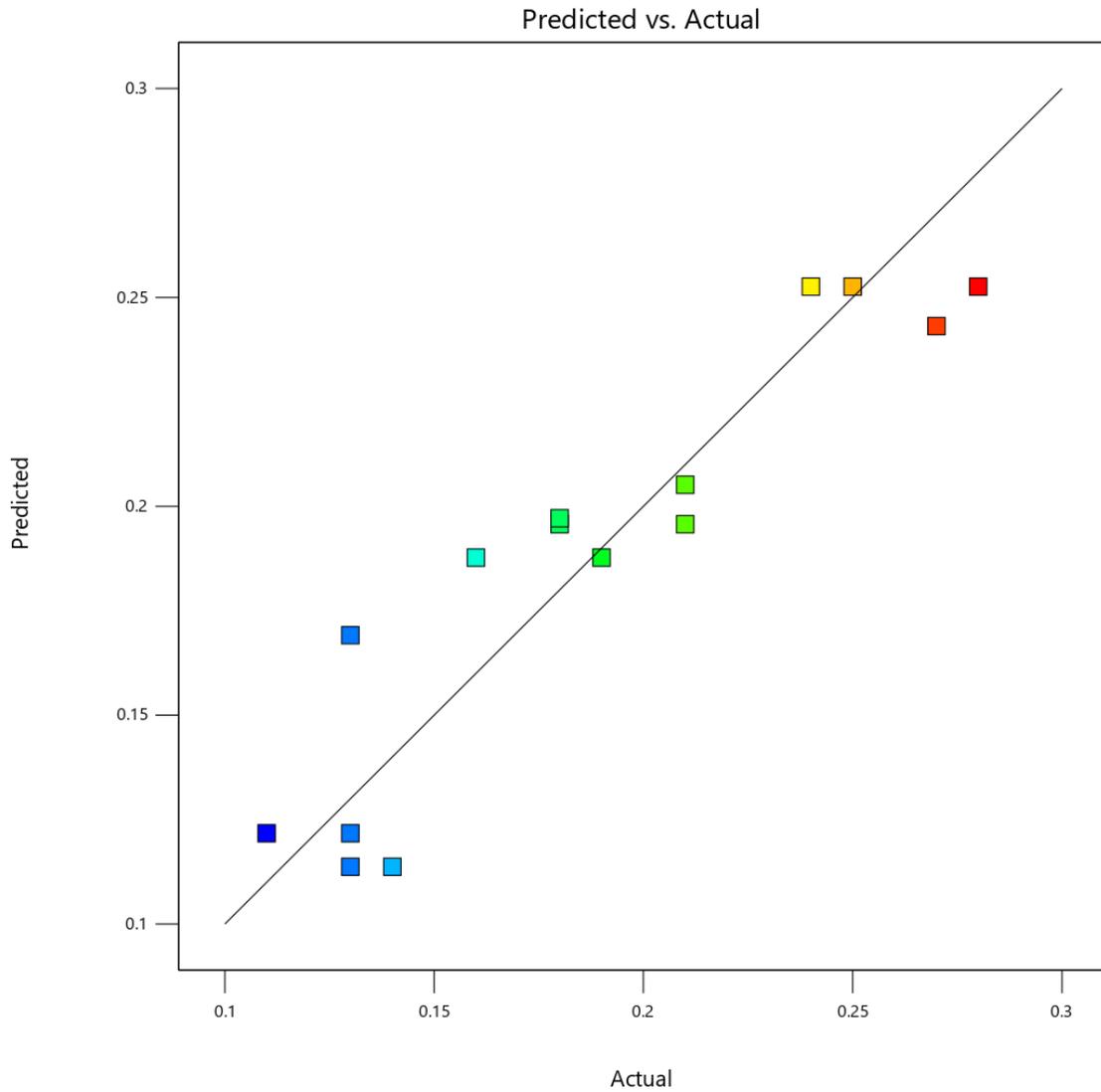
Los modelos estadísticos pueden ser validados por diferentes condiciones, como la no significancia en la falta de ajuste ( $> 0.05$ ), la diferencia entre el R<sup>2</sup> ajustado y el predicho ( $< 0.2$ ), o la Adeq precisión ( $> 4$ ), que mide la relación entre los valores que corresponden a una señal o valor real, y los valores que corresponde a ruido o error de medición. Como se

observa en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** 19 los modelos cuadráticos cumplen los criterios de validación.

### **5.3.2 Efecto de la temperatura de extracción y de secado sobre la concentración de fibra dietaria soluble.**

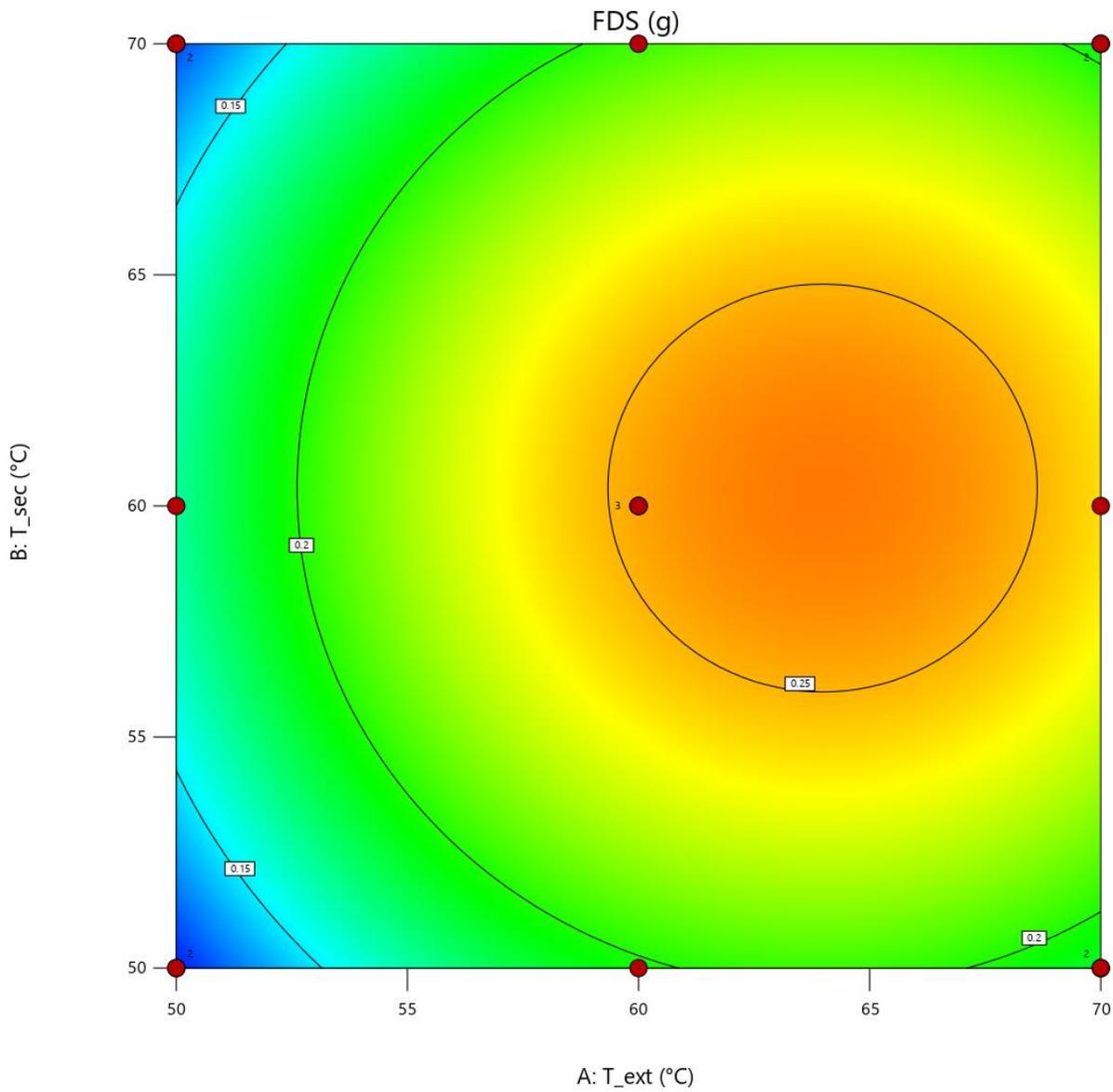
Es de gran importancia conocer a que condiciones de temperatura de extracción y de secado del proceso se obtiene mayor rendimiento de FDS , ya que esta fracción es de gran interés para la industria tanto de alimentos como farmacéutica, lo cual genera un impacto en la viabilidad económica del proceso, influyendo en el consumo energético y calidad del producto terminado.

En la tabla 21 se observó que los resultados de FDS tuvieron un ajuste satisfactorio a los resultados, lo cual se evidencia en la siguiente figura 12, se confirma que existe una correlación adecuada entre los valores predichos por el modelo y los resultados experimentales.



**Figura 12** Valores predichos vs Valores actuales FDS.

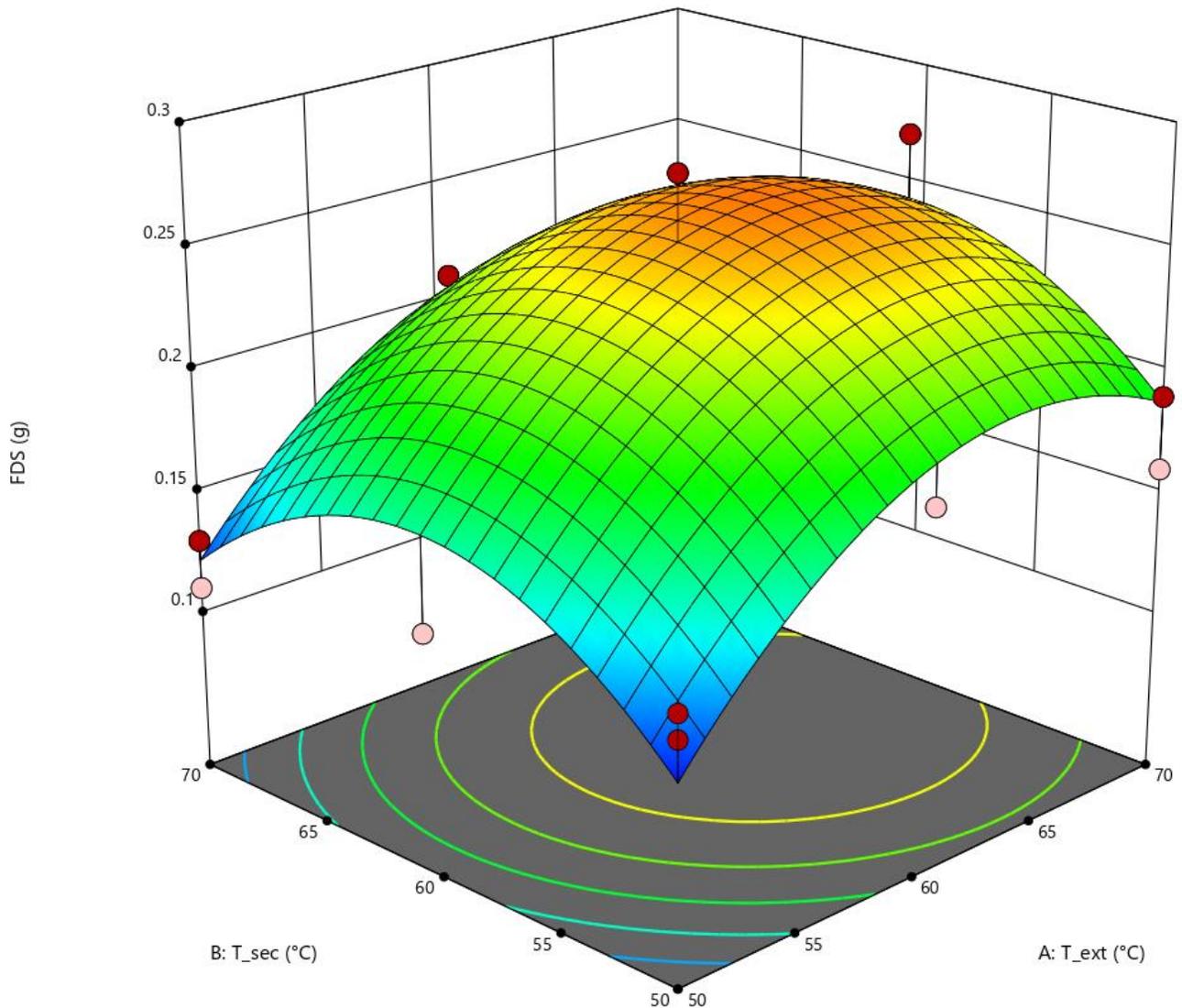
La Figura 13 y 14 muestra que para temperaturas de secado y extracción de 60 ° C, el concentrado de fracciones de fibra dietética soluble produce rendimientos significativos de 0.28 g / 1 g de albedo, es decir, 28%



**Figura 13** Gráfica de Contorno de fibra dietaría soluble

El modelo RSM para la predicción de FDS en términos de los factores actuales con las variables de entrada no codificadas es el siguiente:

$$SDF = -3.51 + 0.059 A + 0.062 B - (4.64 * 10^{-4})A^2 - (5.14 * 10^{-4})B^2$$

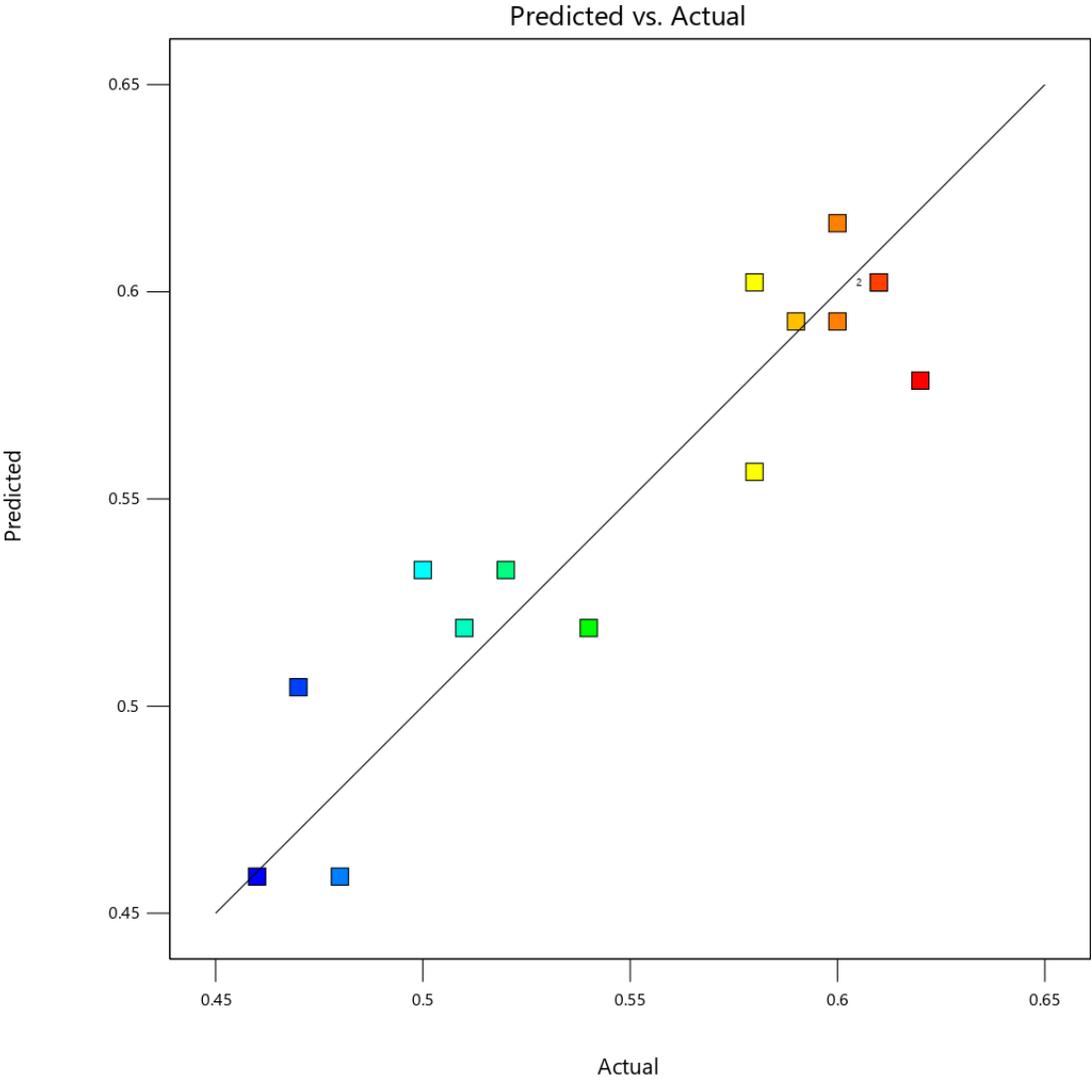


**Figura 14** Superficie de respuesta de fracción de fibra dietaría soluble en función de la temperatura de extracción y de secado.

### 5.3.3 Efecto de la temperatura de secado y de extracción sobre la concentración de fibra dietaría insoluble.

En la tabla 21 se observó que los resultados de FDI tuvieron un ajuste satisfactorio a los resultados, lo cual se evidencia en la siguiente figura 14. Se confirma que existe una correlación adecuada entre los valores predichos por el modelo y los resultados experimentales.

La ecuación cuadrática se ajustó satisfactoriamente a los resultados del concentrado FDI, el valor  $R^2$  ajustado fue 0.7937 y se predijo 0.6131, que son aceptables ya que la diferencia no es mayor que 0.2, y el valor de F es 14.46, lo que también implica su importancia. Hay solo 0.04% de probabilidad de que el valor de F ocurra debido al ruido.

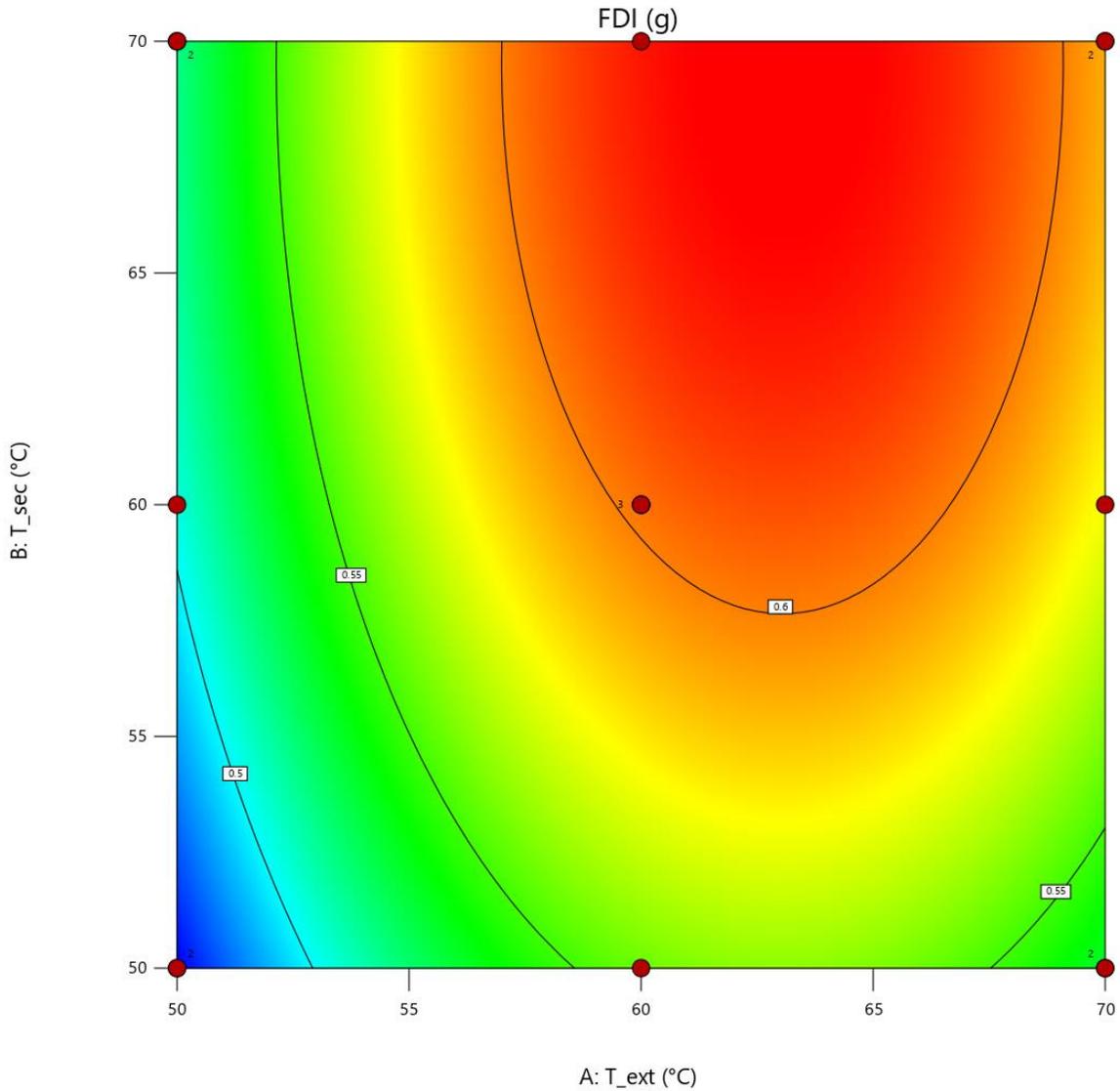


**Figura 15** Valores predichos y valores actuales Fibra dietaría Insoluble

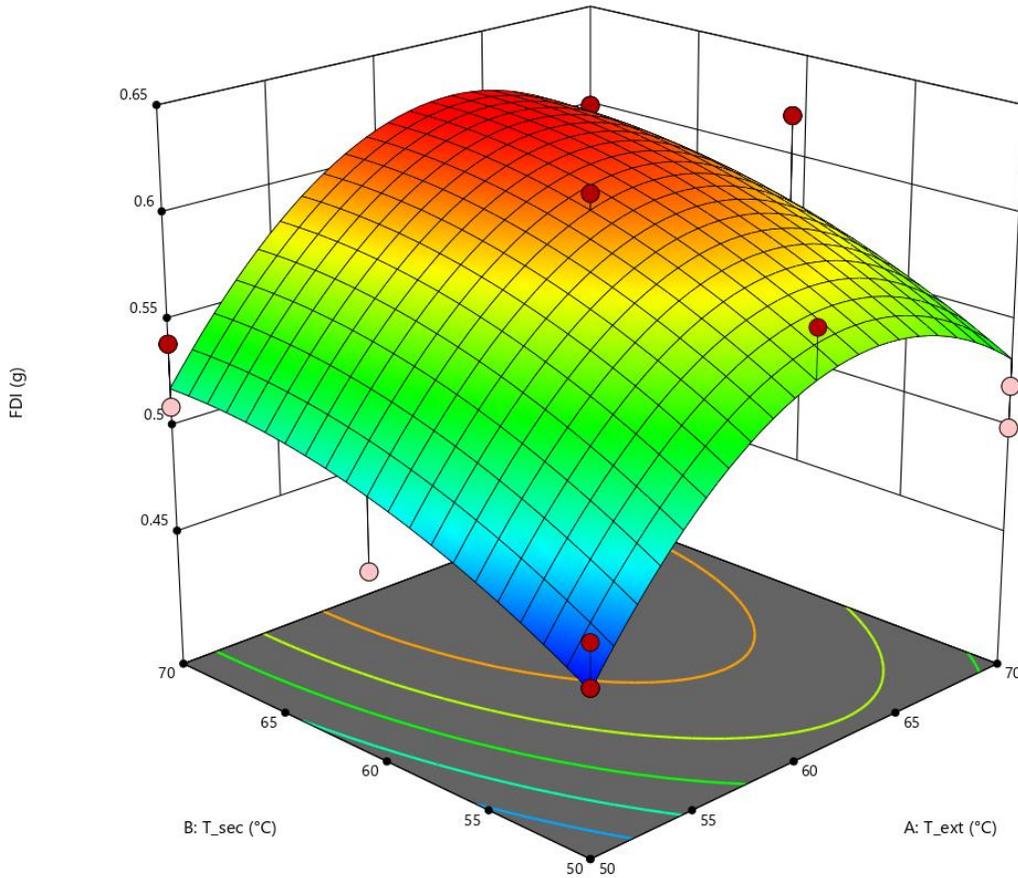
El modelo RSM para la predicción de FDI en términos de los factores actuales es el siguiente:

$$IDF = -2.55 - (0.076)X_1 + (0.021)X_2 - (6 * 10^{-4})X_1^2 - (1.57 * 10^{-4})X_2^2$$

La Figura 16 y 17 muestra que para temperaturas de secado y extracción de 55 ° C y 65 ° C, el concentrado de fibra dietética insoluble produce mayores rendimientos de aproximadamente 0.62 g / 1 g de albedo de maracuyá.



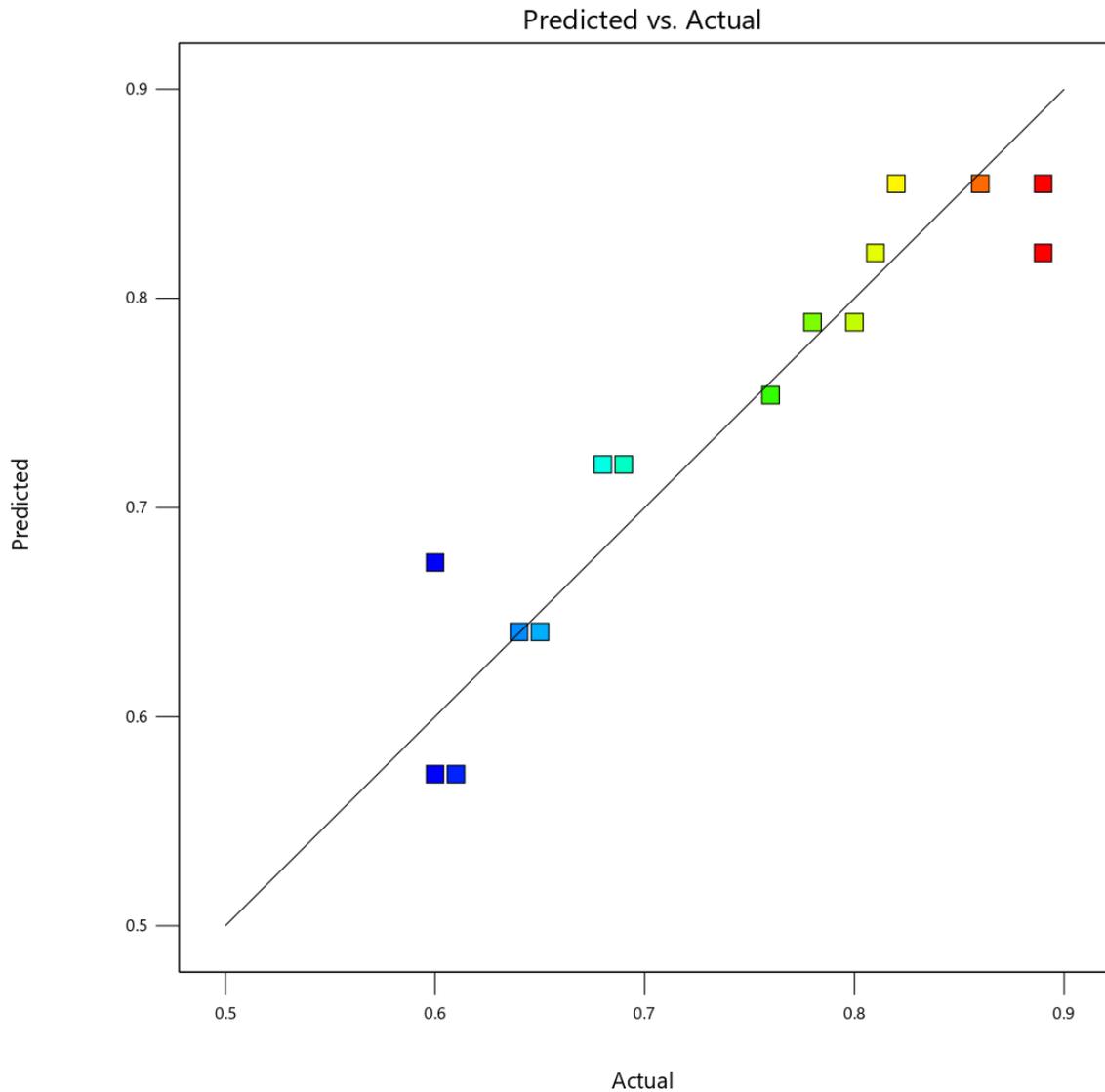
**Figura 16 .** Gráfica de Contorno de fibra dietaría insoluble.



**Figura 17** Superficie de respuesta de fracción de fibra dietaria insoluble en función de la temperatura de extracción y de secado.

### 5.3.4 Efecto de la temperatura de extracción y de secado sobre la fracción de Fibra Dietaria Total.

La ecuación cuadrática se ajustó satisfactoriamente a los resultados del concentrado de fibra dietética total (FDT) (el valor de  $R^2$  ajustado fue 0.8410 y predijo 0.7021, que son aceptables ya que la diferencia no es mayor a 0.2), y el valor de  $F$  es 7.97, que también implica su significado. Hay solo 1.40% de probabilidad de que el valor de  $F$  ocurra debido al ruido, como se observa en la figura 18.

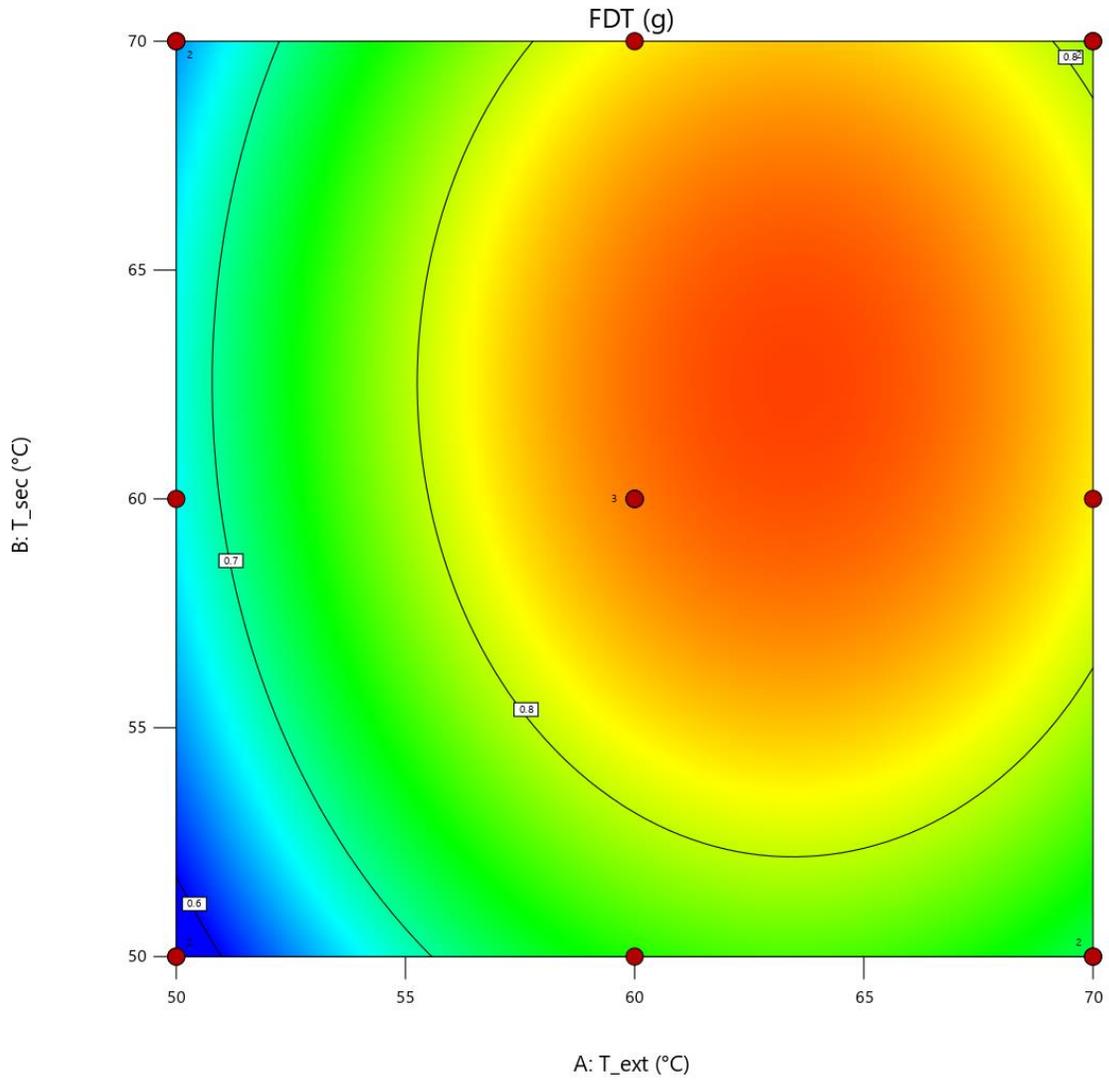


**Figura 18** Valores predichos y valores actuales Fibra dietaría Total

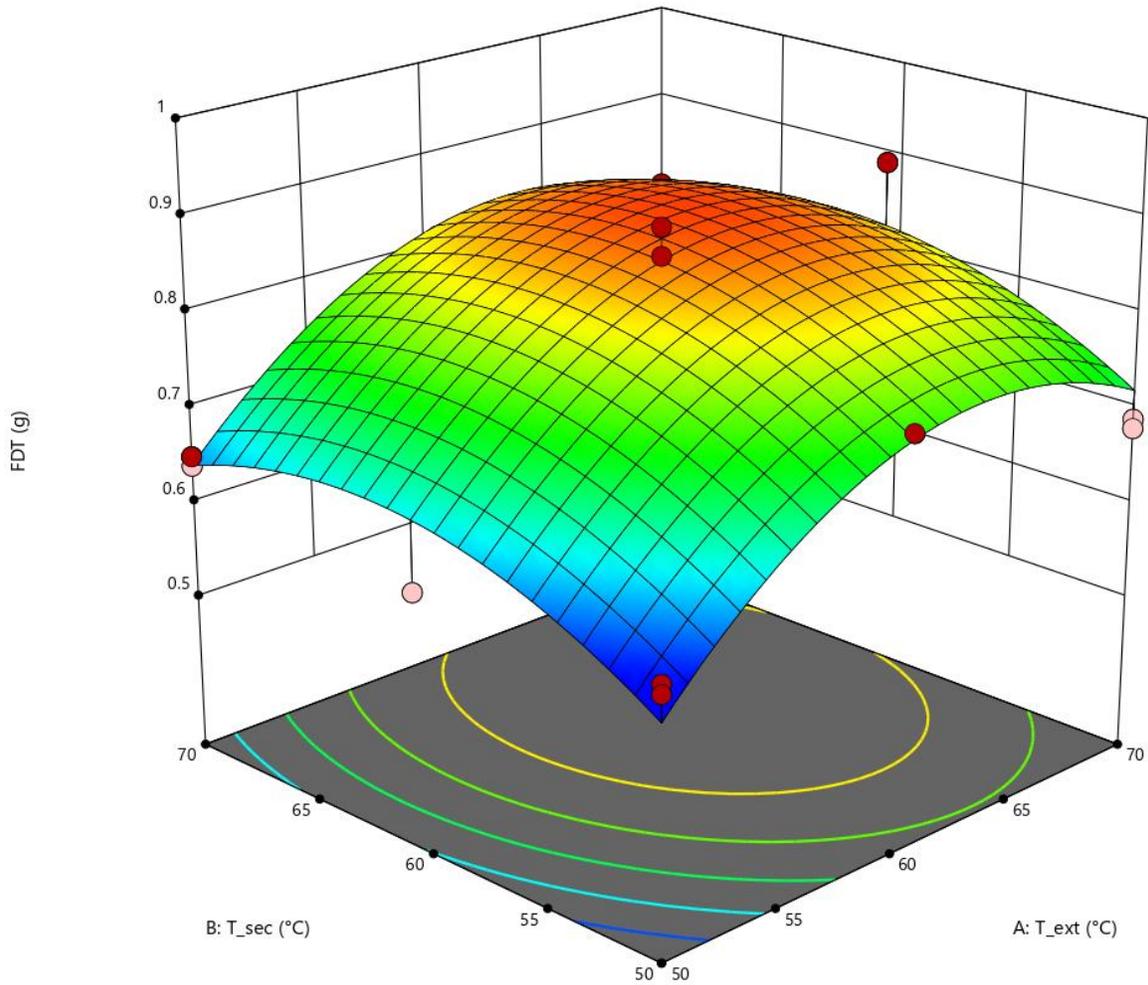
El modelo RSM para la predicción de FI en términos de los factores actuales es el siguiente:

$$TDF = -6.067 + (0.135)X_1 + 0.083X_2 - (1.071 * 10^{-3})X_1^2 - (6.71 * 10^{-4})X_2^2$$

La Figura 19 y 20 muestra que para temperaturas de secado y extracción de 58 ° C y 63 ° C, el concentrado de fibra dietética insoluble produce mayores rendimientos de aproximadamente 0,89 g / 1 g de albedo de maracuyá.



**Figura 19** Gráfica de Contorno de fibra dietaría Total



**Figura 20** Superficie de respuesta de fracción de fibra dietaria total en función de la temperatura de extracción y de secado.

## 5.4 Optimización del proceso de obtención de concentrados de fibra dietaria.

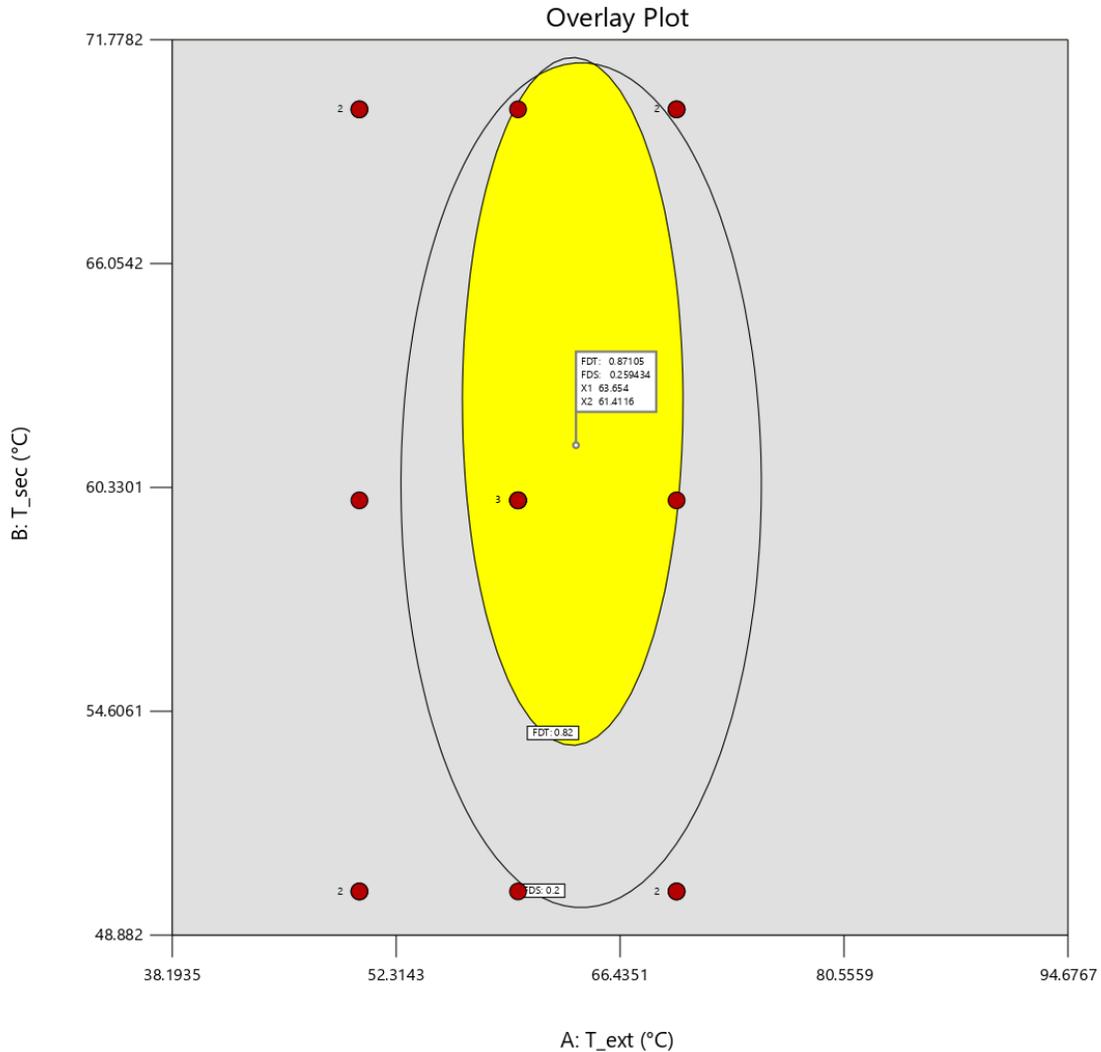
A partir de los modelos planteados por medio de la metodología de superficie de respuesta, se planteó una optimización gráfica usando el software Desing Expert V 12.0. Con este método se buscó obtener la mayor fracción de fibra dietaria soluble, y temperaturas optimas de extracción y secado del proceso.

Se evidenció un área donde las respuestas cumplen con los objetivos establecidos de la optimización.

En la siguiente tabla 22 se muestran los criterios de optimización utilizados:

**Tabla 22** Condiciones para la optimización de temperatura de extracción y secado para la obtención de concentrados de fibra dietaría.

<b>Variables</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Rango</b>	<b>Importancia</b>
FDS	Maximizar FDS	0.18-0.28	+++++
FDI	Minimizar FDI	0.46 -0.62	++
FDT	Minimizar $U_{POD}$	0.83- 0.89	+++



**Figura 21** Área óptima de condiciones de obtención de concentrados de fibra dietaría.

En la optimización se tenía como objetivo principal obtener el mayor contenido de fibra dietaría soluble a las condiciones de temperatura de extracción y secado donde se obtuviera mayor rendimiento y proporcionara un ahorro energético en el proceso productivo.

Los rangos de temperatura de las operaciones de extracción utilizadas en esta investigación son semejantes a los obtenidos en un estudio desarrollado por [132], para la obtención de pectina a partir de la cáscara de maracuyá. En tal estudio, se logró un alto rendimiento de pectina para rangos de temperatura media, 50-90 °C, con tiempos de extracción entre 30 y

120 min. Con el aumento de las temperaturas de procesamiento acelera la conversión de las pectinas, por lo que mejora su extracción [133]. Sin embargo otros autores indican que aumentar demasiado la temperatura de procesamiento puede incidir en un impacto negativo sobre el rendimiento de pectina, ya que esto también aceleraría la despolimerización.[134] En este sentido, Zaid et al. (2020), utilizando extracción asistida por ultrasonido, recomendaron unas temperaturas óptimas para el mayor rendimiento de pectina entre 50 ° C-70 ° C. Vale la pena señalar que los rangos de temperatura reportados en la literatura citada varían, dependiendo de si la metodología incluye calentamiento convencional, o asistido por ultrasonido o asistido por microondas. [135]

El valor máximo óptimo y estadísticamente estimado para las fracciones de fibra dietética soluble, insoluble y total fue 0.26 g / g, 0.61 / g y 0.87 g / g de albedo de maracuyá, respectivamente para una temperatura de extracción de 63.77 ° C y secado de 61 ° C, y con una deseabilidad conjunta de 0.788 que es cercana a 1, lo que indica que la configuración parece lograr resultados favorables para todas las respuestas en su conjunto. (Tabla 23)

**Tabla 23** Solución de condiciones de optimización.

<b>T_Ext</b>	<b>T_Sec</b>	<b>FDT</b>	<b>FDS</b>	<b>FDI</b>	<b>Deseabilidad</b>
63,59	61,67	0,871	0,259	0,612	0,752

En un artículo sobre la extracción de pectina asistida por microondas, nuevamente se indica que la temperatura es un parámetro significativo en el proceso de extracción [136]. Estos investigadores encontraron que el aumento de la temperatura de 35 a 45 ° C conducía a un mayor rendimiento de pectina, pero el rendimiento disminuyó cuando se utilizaron temperaturas superiores a 45 ° C. Además, obtuvieron un rendimiento de pectina entre 7.5% a 18.53 % para potencia de 400 W y tiempos de reacción entre 5 a 25 min.

Se obtienen altos rendimientos de FDS con el uso de solventes ácidos, con extracción asistida por microondas. Así, el rendimiento para FDS a partir de la cascara de maracuyá cuando se usa ácido nítrico, estuvo en el rango de 16.4 a 24.9 %.[137]

Cuando la acidificación se realizó con ácido clorhídrico, se obtienen rendimientos aún mayores de aproximadamente 29%, después de 2 horas de extracción a 65°C.[132]

En los resultados de optimización se validó la influencia de la temperatura en la concentración de fibra dietaria. En otras investigaciones además de las ya mencionadas como la realizada por Manel Masmoudi en la optimización para la obtención de pectina a partir del subproducto del procesamiento industrial del limón se reporta que aumenta el rendimiento para altas temperaturas, superiores a los 70°C, y niveles bajos de pH.[138] A temperaturas inferiores de los 60°C, el rendimiento fue relativamente bajo (menos del 6%). Además, Kim et al. (2004) encontraron que la temperatura era el principal parámetro que influía en la recuperación de pectina de la mandarina, utilizando temperaturas entre 30 y 90 ° C. Sin embargo, Yapo et al. (2007) informaron que el efecto de la temperatura en realidad no afectó el rendimiento de pectina de la pulpa de remolacha azucarera. Probablemente esto se deba al hecho de que estos autores utilizaron un rango de temperatura estrecho (entre 80 y 90 ° C).[139]

## **5.5 Conclusiones**

Se realizó la aplicación de la metodología de superficie de respuesta (RSM) con el diseño central compuesto para la optimización de las variables del proceso temperatura de extracción y temperatura de secado.

Las condiciones optimizadas para la obtención de las fracciones ricas en fibra fueron 63°C y 61°C, respectivamente, condiciones que permitieron obtener rendimientos del 26% de fibra dietaria soluble, 61% de FI y 87 % de FT.

## **6. Análisis técnico, económico y ambiental preliminares del proceso de obtención de concentrados de fibra dietaría**

### **6.1 Introducción**

Actualmente ha aumentado considerablemente la producción de pasifloras, resaltando que el departamento del Huila es el líder en área sembrada en todas las pasifloras, y el líder en producción es el departamento de Antioquia. La mayor área sembrada en pasifloras en el país la presenta la línea de maracuyá con un 35%. [140]

Con base en la revisión bibliográfica el consumo anual de maracuyá en los departamentos como Antioquia, Tolima, Caldas y Risaralda supera en gran medida la producción total por lo que en estas zonas se importa esta fruta de los principales productores del país como el Huila y Meta. Sin embargo, existe un consumo significativo por parte del sector agroindustrial en el departamento de Caldas propiciado a una alta disponibilidad de residuos, desde el punto de vista que ya están separados y son de fácil asequibilidad. [141]

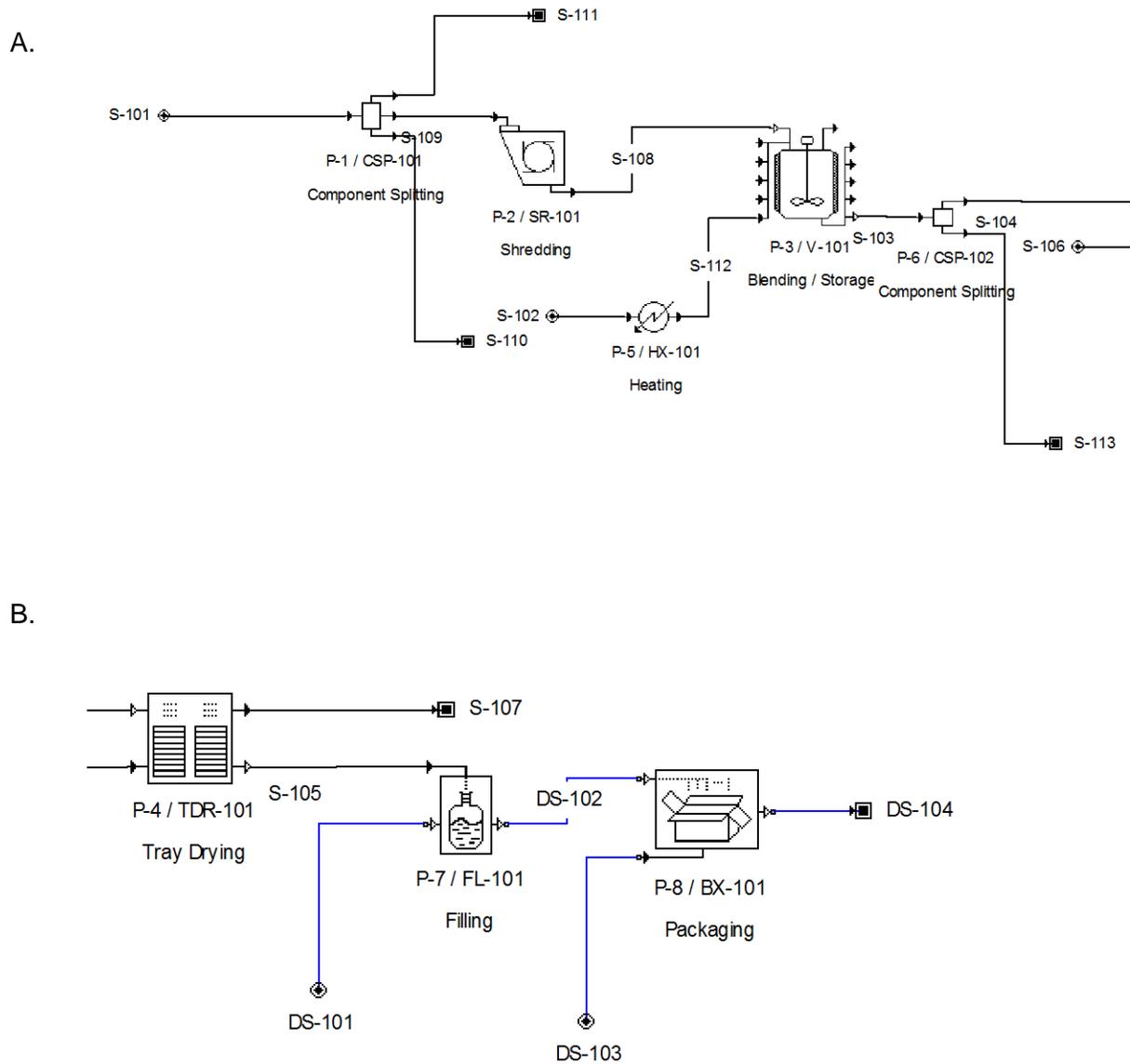
De acuerdo en lo anteriormente expuesto en el estudio realizado en los capítulos anteriores donde se evidencia que el albedo del maracuyá es una rica fuente de fibra dietaría, en el presente capítulo se realiza el estudio técnico, económico y ambiental del proceso para evaluar en una primera aproximación, la viabilidad de esta alternativa. En la revisión bibliográfica de este trabajo no se ha encontrado estudios del análisis de costos y ambiental del proceso de industrialización de obtención de fibra dietaría a partir del aprovechamiento de subproductos agroindustriales.

### **6.2 Metodología**

#### **6.2.1 Simulación**

Por medio del software de simulación Superpro Designer 10 (Intelligen, Inc., E.E.U.U) se realizó el diseño técnico- económico preliminar del proceso productivo para obtención de concentrados ricos en fibra dietaría a partir de residuos agroindustriales de maracuyá. Las etapas y los parámetros empleados para el diseño fueron basados en los resultados obtenidos experimentalmente.

En la siguiente figura se puede apreciar el diagrama de flujo de la planta industrial la cual incluye el balance de masa del batch.



**Figura 22** Diagrama de flujo del proceso productivo de obtención de concentrados de fibra dietaría. A. Etapa de acondicionamiento de la materia prima (residuos agroindustriales) B. Etapas de secado, llenado y empaque del producto terminado.

Brevemente, las etapas del procesamiento, que se describieron con más detalle en la figura 6.1 son: la recepción de la materia prima, su acondicionamiento o lavado de los subproductos agroindustriales del maracuyá, la separación del albedo de los residuos de pulpa, cáscara y semillas, la trituración, lavado y secado del albedo y, finalmente, el empaque del deshidratado rico en fibra en presentaciones individuales de 4.5 g/ sobre y en caja de 30 sobres para su comercialización. Los valores correspondientes al costo de las materias primas y los equipos según el dimensionamiento requerido corresponden a información obtenida de proveedores en Colombia. La separación de la cáscara, la pulpa y las semillas se simuló como divisor de flujo por componentes.

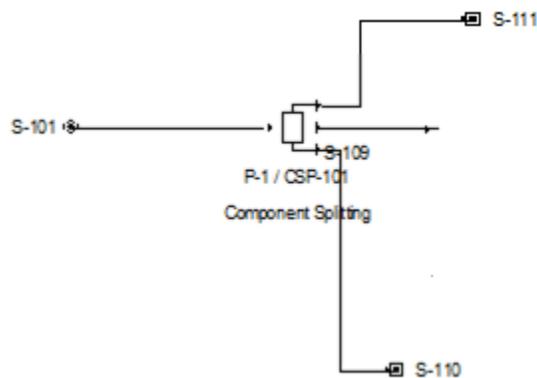
**Tabla 24** Composición de la Materia Prima

	<b>Componente</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
<b>Cáscara de maracuyá</b>	Humedad	7.56
	Cenizas	9.68
	Fibra Dietaría Total	71.00
	Proteína	11.00
	Grasa	0.66
<b>Albedo de maracuyá</b>	Humedad	84.9
	Cenizas	0.89
	Proteína	0.52
	Grasa	0.36
	Fibra Dietaría total	9.21
	Carbohidratos	4.14
<b>Semillas de maracuyá</b>	Humedad	7.00
	Cenizas	1.00

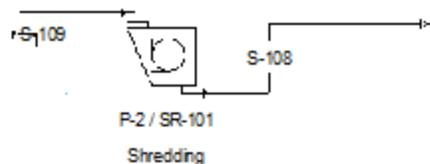
	Extracto etéreo	24.00
	Fibra Cruda	53.00
	Proteína	15.00

### Etapas del proceso de simulación

- **Divisor de flujo por componente (P-1):** En esta etapa se realizó la separación de nuestro compuesto de interés, el albedo del maracuyá de los demás subproductos tales como cáscara, semilla y residuos de pulpa. Se simuló un ingreso de materia prima por lote de producción de 115 kg subproductos del maracuyá y se obtuvo 75 kg de Albedo.

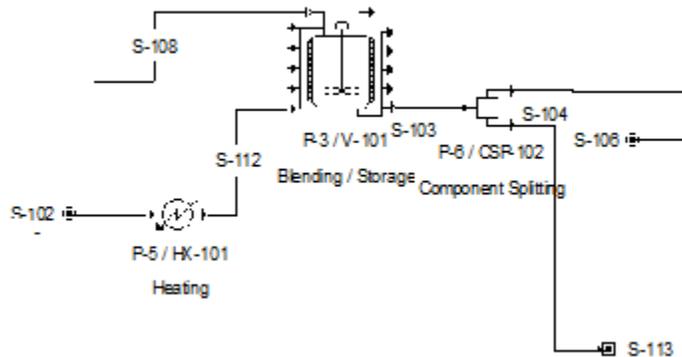


- **Etapa de trituración (P-2):** Después de la separación del albedo, la siguiente etapa consiste en disminuir, en húmedo, el tamaño de partícula de forma uniforme comprendido entre 0.5 y 1 cm. Esta etapa del proceso tiene una duración en promedio de 1 hora.

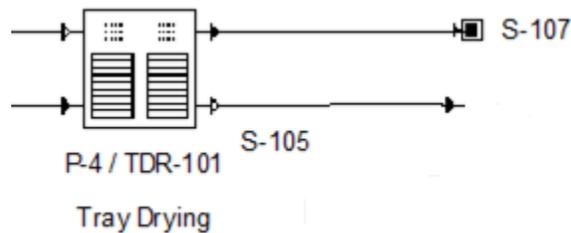


- **Etapa de Purificación (P-3):** En esta etapa se realiza la purificación de las fibras mediante la remoción de compuestos no deseables como reducción del contenido

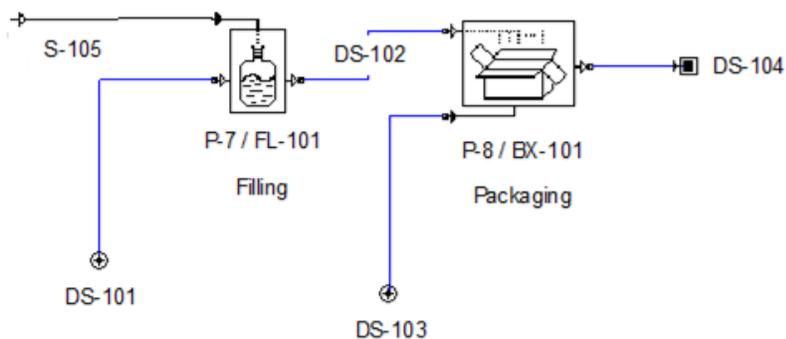
de azúcares reductores, proteínas y ácidos urónicos entre otros componentes de la matriz sólida de la materia prima. Se empleó agua a una temperatura ambiente de entrada de 25°C y se calentó hasta alcanzar una temperatura aproximada de 63°C que fue la temperatura óptima obtenida en el capítulo 5. El tiempo de lavado es de 3 horas.



- **Etapa de Secado (P-4):** Después del proceso de lavado con agua caliente, la siguiente etapa consistió en reducir el contenido de humedad del albedo calentándolo hasta una temperatura de 61 °C. Esta etapa tiene como objetivo reducir el contenido de agua hasta alcanzar una humedad aproximadamente del 4%. A partir de 67 kg de materia prima húmeda se obtienen 13.5 kg de materia prima en la corriente de salida. El tiempo de secado varía entre 18 y 22 h.



- **Etapa de empaque (P-7 / P-8):** La última etapa del proceso de obtención del concentrado de fibra dietaria fue el empaque del deshidratado rico en fibra en presentaciones individuales de 4.5 g/sobre y en caja de 30 sobres para su comercialización.



## 6.2.2 Análisis económico

El costo de los materiales se estableció con base en la información ofertada en el mercado colombiano de mayoristas y minoristas. El costo unitario de los materiales se describe en la

. El costo de la eliminación de los desechos orgánicos en un relleno sanitario se estableció en 0.061 \$ / kg, de acuerdo con el precio actual de eliminación de residuos orgánicos industriales en Colombia [142]. El costo, el tamaño y el consumo de energía se basaron en la información de catálogo de los equipos según los fabricantes. Para la estimación de los costos de capital se utilizaron los parámetros reportados en la tabla 25.

Multiplicador	Valor
Tuberías y conexiones	0.10
Instrumentación	0.20
Aislamiento	0.01
Instalaciones eléctricas	0.10
Edificaciones	0.20
Mejora del terreno	0.05
Instalaciones auxiliares	0.10
Ingeniería	0.25
Construcción	0.35
Contratista	0.05
Contingencias	0.10

**Tabla 25** Costo Unitario de Materiales del proceso de obtención de concentrados de fibra dietaria. Valores en pesos colombianos.

<b>Material</b>	<b>Costo</b>
Albedo de maracuyá	1,000.00 \$/kg
Cáscara	1,000.00 \$/kg
Semillas	1,000.00\$/unidad
Agua de Lavado	610.00 \$/kg
Presentación en sobre	337.40 \$/Unidad
Cajas para presentación por 30 sobres	3,374.00 \$/unidad

<b>Multiplicador</b>	<b>Valor</b>
Tuberías y conexiones	0.10
Instrumentación	0.20
Aislamiento	0.01
Instalaciones eléctricas	0.10
Edificaciones	0.20
Mejora del terreno	0.05
Instalaciones auxiliares	0.10
Ingeniería	0.25
Construcción	0.35
Contratista	0.05
Contingencias	0.10

La suma entre el costo total de la planta (TPC) que incluye los costos directos de equipos, instalaciones, instrumentación, etc. y los costos indirectos como la ingeniería y la

construcción y los costos de desarrollo del proyecto dieron como resultado el costo fijo de capital directo (FDC).

El precio de la presentación de cajas de 30 sobres de 4.5 g cada uno se estableció a partir del costo en supermercados y almacenes naturistas de ventas de fibra en polvo, siguiendo la ecuación (6.2), en donde el precio de venta (P.V) al supermercado se establece al quitarle el IVA (0.19) al precio comercial en supermercado (P.M) y asignando la ganancia que el supermercado obtiene por la comercialización del producto (20%).

$$P.V = P.M * (1 - IVA) * 0.8$$

Esta forma de cálculo fue sugerida por un fabricante y comercializador de fruta y derivados de fruta de la ciudad de Manizales, Colombia. **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

### 6.2.3 Análisis ambiental

Se realizó el análisis de los residuos generados en el proceso que incluyen los residuos sólidos, líquidos, residuos orgánicos y emisiones de gases atmosféricos, con base en la información de la literatura de procesos industriales de empresas de alimentos.

## 6.3 Resultados y discusión

### 6.3.1 Simulación

El proceso productivo se desarrolló por medio de una operación por lotes o batches con una corriente de alimentación de residuos agroindustriales de maracuyá de aproximadamente 115 kg/batch, del cual el 65% corresponde al albedo del maracuyá y el 35 % restante a residuos de cáscara y semillas del fruto. El producto terminado de concentrado de fibra dietaria total se empacó en presentación en sobres de 4.5 g, 30 sobres por caja para su comercialización. El costo obtenido de producción fue en presentación en sobre \$ 337.40 y en presentación en caja de \$3374, por lo que el precio de venta definido fue de \$600/sobre y caja \$12.000. En la tabla 26 se puede observar las cantidades de materia prima requerida para el proceso descrito.

**Tabla 26** Consumo de materias primas

<b>Material</b>	<b>kg/año</b>	<b>kg/batch</b>	<b>kg/materia Prima</b>
<b>Aire</b>	178,247.64	67.72	0.68
<b>Albedo</b>	197,659.40	75.10	0.76
<b>Cáscara</b>	60,818.28	23.11	0.23
<b>Semilla</b>	45,613.71	17.33	0.18
<b>Agua</b>	200,060.12	76.01	0.77
<b>TOTAL</b>	<b>682,399.14</b>	<b>259.27</b>	<b>2.62</b>

Los requerimientos del personal operativo por cada una de las etapas del proceso, el costo de la hora de operación y las horas labor del operario al año son descritos en la tabla 27, tabla 28 y tabla 29.

**Tabla 27** Operarios

<b>Labor</b>	<b>Hr-h/año</b>	<b>Hr-h /batch</b>	<b>Hr-h//MP</b>
<b>Operarios</b>	21,819.47	8.29	0.08

Hr-h: horas- Hombre trabajadas, MP: Kg de Materia Prima.

**Tabla 28** Sección de recepción, lavado de fruta y separación del albedo del maracuyá.

<b>Operarios</b>	<b>Hr-h/año</b>	<b>Hr-h/batch</b>	<b>Hr-h//MP</b>
<b>Etapas : Recepción , lavado y separador del albedo del maracuyá</b>	21,819.47	8.29	0.08
<b>TOTAL</b>	<b>21,819.47</b>	<b>8.29</b>	<b>0.08</b>

Hr-h: horas- Hombre trabajadas, MP: Kg de Materia Prima.

**Tabla 29** Sección de preparación de concentrado de fibra dietaria

Operación	Hr-h/año	Hr-h /batch	Hr-h /MP
<b>Etapas</b>			
<b>P-3</b>	5,369.47	2.04	0.02
<b>P-4</b>	7,896.00	3.00	0.03
<b>P-1</b>	4,386.67	1.67	0.02
<b>P-2</b>	438.67	0.17	0.00
<b>P-5</b>	1,316.00	0.50	0.01
<b>P-7</b>	219.33	0.08	0.00
<b>P-8</b>	2,193.33	0.83	0.01
<b>Total de etapas.</b>	<b>21,819.47</b>	<b>8.29</b>	<b>0.08</b>
<b>TOTAL</b>	<b>21,819.47</b>	<b>8.29</b>	<b>0.08</b>

Hr-h: horas- Hombre trabajadas, MP: Kg de Materia Prima.

En la etapa del proceso productivo donde se requieren de mayor número de horas labor es en la etapa de recepción de la materia prima, lavado y separación del albedo de las cáscaras, semillas y residuos de pulpa de los subproductos de la fruta.

En las etapas en donde se requiere mayor número de operarios es en la sección de empaque, en donde se debe contar con líderes del proceso para dirigir e inspeccionar que el producto salga con las condiciones de calidad establecidas para ser almacenado a condiciones de temperatura ambiente.

**Tabla 30** Horas Trabajadas en el proceso productivo

Labor	Tasa Básica (COL/hr)	Tasa Acumulada (COL/ año )	Demanda Directa ( Hr-h / año )	Demanda Total ( Hr-h / año )	Costo Total (COL/año)	Costo (%)
<b>Operación</b>	6,363.36	2,699.20	13,091.68	21,819.47	138,845,236.73	100.00
<b>TOTAL</b>					<b>138,845,236.73</b>	<b>100.00</b>

Hr-h: horas- Hombre trabajadas

### 6.3.2 Análisis Ambiental

De acuerdo con la información experimental, en cada batch para la obtención de fracciones de fibra dietaria se generan aproximadamente cerca de 245 kg de desechos orgánicos, acuosos y emisiones atmosféricas. El residuo acuoso corresponde al agua de proceso empleada para la limpieza y desinfección de los equipos y de la materia prima correspondiendo a 165.92 kg de agua por lote (67.51 % del total de los residuos). Los residuos orgánicos corresponden a cáscaras, semillas y residuos de pulpa del subproducto de la materia prima empleada siendo el 4.93 % del total de residuos generados y el 27.56 % corresponde a la generación de emisiones de aire (Nitrógeno y Oxígeno, 21.14% y 6.42 %, respectivamente)

En la siguiente tabla 31 y 32 se describen las emisiones del proceso productivo y residuos totales obtenidos:

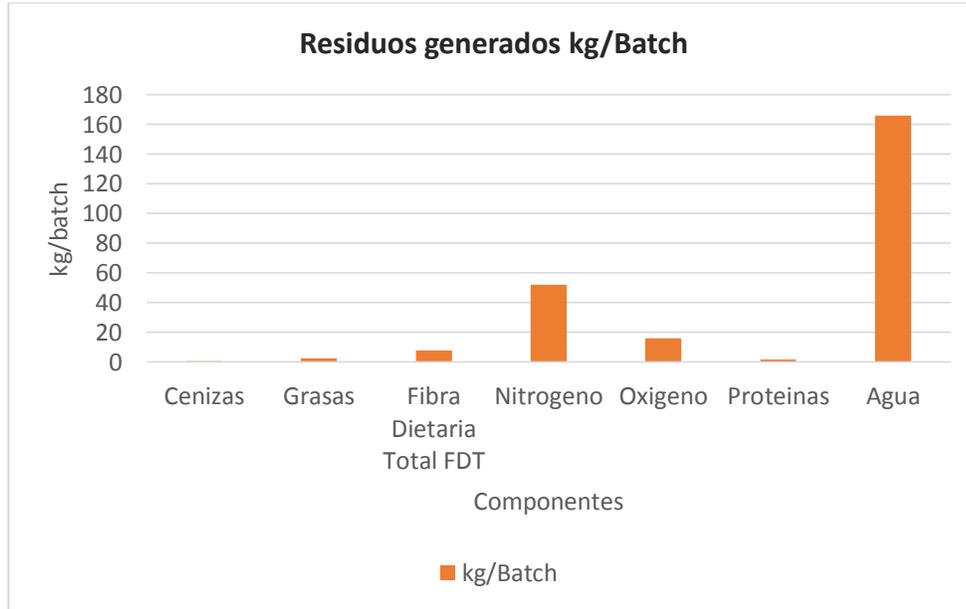
**Tabla 31** Emisiones del proceso productivo de obtención de concentrados de fibra dietaria

Componente	kg/MP	kg/Batch	kg/Año	%
<b>Nitrogeno</b>	0.52	51.95	136,737.00	38.36
<b>Oxigeno</b>	0.16	15.77	41,511.00	11.64
<b>Agua</b>	0.68	67.72	178,248.00	50.00
<b>TOTAL</b>	<b>0.00</b>	<b>135.45</b>	<b>356,495.00</b>	<b>100.00</b>

MP: kg de Materia Prima

**Tabla 32** Residuos totales obtenidos del proceso productivo de obtención de concentrados de fibra dietaria.

Componente	kg/MP Entity	kg/Batch	kg/Año	%
<b>Cenizas</b>	0.00	0.44	1,167.10	0.18
<b>Grasas</b>	0.02	2.30	6,046.09	0.93
<b>Fibra Dietaria Total FDT</b>	0.08	7.57	19,932.94	3.08
<b>Nitrógeno</b>	0.52	51.95	136,736.95	21.14
<b>Oxigeno</b>	0.16	15.77	41,510.69	6.42
<b>Proteínas</b>	0.02	1.82	4,780.10	0.74
<b>Agua</b>	1.68	165.92	436,693.26	67.51
<b>TOTAL</b>	<b>0.00</b>	<b>245.77</b>	<b>646,867.14</b>	<b>100.00</b>



**Figura 23** Kg de residuos generados por batch del proceso productivo de obtención de concentrados de fibra dietaría.

En la tabla 32 y figura 23 se evidencia que por cada 115 kg / batch se generan 245.77 kg de residuos entre los cuales el 67.51% (166 kg) de residuos acuosos correspondientes a aguas de proceso las cuales se pueden recircular al sistema.

El consumo energético está directamente relacionado con las horas de trabajo y el uso de los equipos durante el proceso productivo. En la siguiente tabla 33 se muestran el registro energético estándar en donde se asocia el consumo generado por la iluminación, ventilación, conexiones de energía (110 -220 V) y servicios de la planta, según las estimaciones hechas por el software.

**Tabla 33** Consumo de energía estándar

Energía	kW-h/año	kW-h/batch	kW-h/Kg de Materia prima
Energía estándar	45,352.65	9.10	0.05
<b>TOTAL</b>	<b>45,352.65</b>	<b>9.10</b>	<b>0.05</b>
Energía estándar	kW-h/año	kW-h/batch	kW-h/kg CAP

<b>Etapas de trituración (P-2)</b>			
<b>Consumo general</b>	29,882.61	3.75	0.00
<b>Tanque de pulmón (mezcla y almacenamiento) (P-3)</b>			
<b>Consumo general</b>	20.01	0.01	0.00
<b>Secador de Bandejas</b>			
<b>Consumo general</b>	31,954.47	4.01	
<b>LLenado (P-7)</b>			
<b>Consumo general</b>	789.60	0.30	0.00
<b>Empaque y almacenamiento (P-8)</b>			
<b>Consumo general</b>	26.32	0.01	0.00
<b>Iluminación, ventilación y otros servicios</b>			
<b>Consumo general</b>	<b>669.91</b>	<b>0.25</b>	<b>0.00</b>
<b>Carga General</b>	<b>2,009.73</b>	<b>0.76</b>	<b>0.01</b>
<b>Total sección</b>	<b>13,398.18</b>	<b>5.09</b>	<b>0.05</b>

Con base al consumo de electricidad mostrado en la tabla 33 se evidencia que el consumo total de electricidad por lote es de 5.09 KW/h es bajo al compararlo con lo reportado en otro proceso de simulación focalizado en la obtención de pectina a partir de la cáscara de naranja que utilizó la técnica de hidrólisis acida, seguida de filtración de la suspensión hidrolizada, precipitación alcohólica de la pectina, prensado del gel, secado del gel y reducción del tamaño de partícula. En dicho trabajo se estimó un consumo energético de 267.4 Kw-h/ lote. [143]

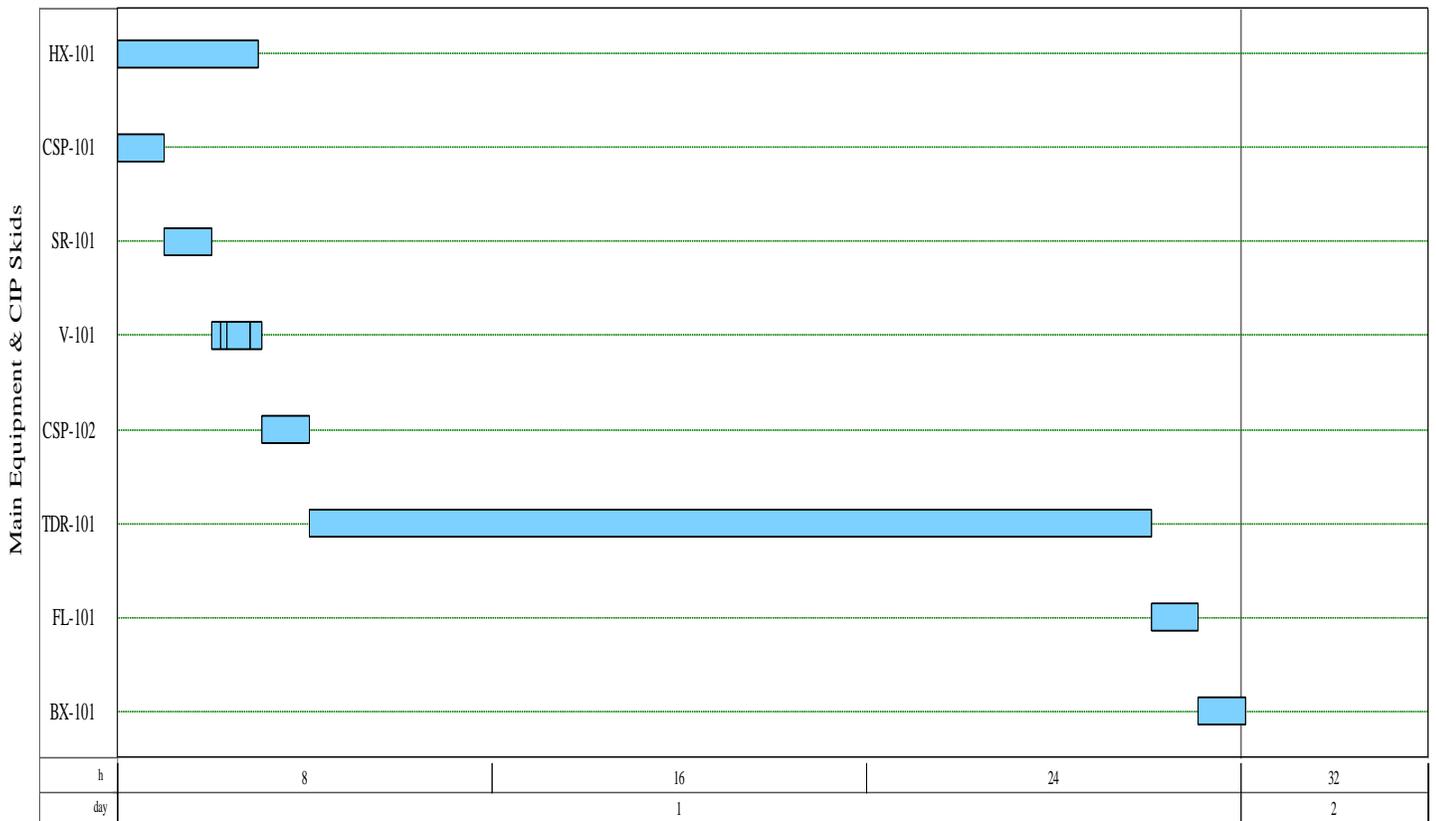
El proceso productivo de obtención de fracciones de fibra dietaría se simuló en batches de los cuales los tiempos de operación para la ejecución de cada uno de las etapas del proceso se describen en la tabla 34, siendo la duración del procesamiento de cada lote de un día

**Tabla 34** Tiempos de operación

<b>Tiempo de lote</b>	<b>24.09</b>	<b>h</b>
<b>Número de lotes al año</b>	<b>2,632.00</b>	

<b>Tiempo operativo disponible</b>	<b>7,920.00</b>	<b>h</b>
<b>Tiempo operativo utilizable</b>	<b>7,917.09</b>	<b>h</b>

La etapa del proceso productivo que requiere de mayor tiempo es la del secado convectivo de la materia prima (TDR-101), como se observa en el Diagrama de Gantt de la figura 24



**Figura 24** Diagrama de Gantt del proceso productivo de obtención de concentrados de fibra Dietarí.

### 6.3.3 Análisis económico

Los costos asociados a compra de equipos, infraestructura, instalaciones, terreno, ingeniería, etc., tienen una gran incidencia sobre la viabilidad del proceso productivo. En la siguiente tabla 35 se resumen los costos e inversión de la planta, los cuales representan el

% del total y los costos relacionados al personal como seguros, afiliaciones a riesgos profesionales, eps, pensión, entre otros.

**Tabla 35** costos e inversión preliminar del proceso productivo de obtención de concentrados de fibra dietaria

<b>Costo total directo de la planta (TPDC) (costos físicos, valores en dólares EEUU)</b>		<b>Pesos Colombianos (COP)</b>
1. Compra de equipos	35,600.00 USD	\$ 125,134,000.60
2. Instalación (20% del valor de los equipos)	7,120.00 USD	\$ 25,026,800.00
3. Tuberías y conexiones	22,130.00 USD	\$ 77,786,950.00
4. Aislamiento	4,000.00 USD	\$14,060,000.00
5. Instalaciones eléctricas	30,000.00 USD	\$105,450,000.00
6. Infraestructura (160 m2)	100,000.00 USD	\$ 351,500,000.00
7. Adaptación del terreno	19,000.00 USD	\$ 66,785,000.00
8. Edificios auxiliares	8,000.00 USD	\$ 28,120,000.00
<b>TPDC</b>	<b>225,850.00 USD</b>	<b>\$ 793,862,750.00</b>
<b>Costo total indirecto de la planta (TPIC)</b>		
9. Ingeniería	106,000.00 USD	\$372,590,000.00
10. Construcción	148,000.00 USD	\$520,220,000.00
<b>TPIC</b>	<b>254,000.00 USD</b>	<b>\$ 892,810.000</b>

<b>Costo total de la planta (TPC = TPDC+TPIC)</b>		
<b>TPC</b>	<b>479,850.00 USD</b>	<b>1,686,672,750.00</b>
<b>Honorarios y contingencias del contratista (CFC)</b>		
11. Honorarios	34,000.00 USD	\$ 119,510,000.00
12. Seguros y contingencias	68,000.00 USD	\$239.020.000.00
<b>CFC = 11+12</b>	<b>102,000.00 USD</b>	<b>\$ 358.530.000.00</b>
<b>Costo fijo de capital directo (FDC = TPC+CFC)</b>		
<b>FDC</b>	<b>581,850.00 USD</b>	<b>\$ 2.036.475.000.00</b>
<b>Costo total directo de la planta (TPDC) (costos físicos, valores en dólares EEUU)</b>		<b>Pesos Colombianos (COP)</b>
1. Compra de equipos	35,600.00 USD	\$ 125,134,000.60
2. Instalación (20% del valor de los equipos)	7,120.00 USD	\$ 25,026,800.00
3. Tuberías y conexiones	22,130.00 USD	\$ 77,786,950.00
4. Aislamiento	4,000.00 USD	\$14,060,000.00
5. Instalaciones eléctricas	30,000.00 USD	\$105,450,000.00
6. Infraestructura (160 m2)	100,000.00 USD	\$ 351,500,000.00
7. Adaptación del terreno	19,000.00 USD	\$ 66,785,000.00
8. Edificios auxiliares	8,000.00 USD	\$ 28,120,000.00
<b>TPDC</b>	<b>225,850.00 USD</b>	<b>\$ 793,862,750.00</b>
<b>Costo total indirecto de la planta (TPIC)</b>		
9. Ingeniería	106,000.00 USD	\$372,590,000.00
10. Construcción	148,000.00 USD	\$520,220,000.00
<b>TPIC</b>	<b>254,000.00 USD</b>	<b>\$ 892,810,000.00</b>
<b>Costo total de la planta (TPC = TPDC+TPIC)</b>		
<b>TPC</b>	<b>479,850.00 USD</b>	<b>\$ 1,686,672,750.00</b>
<b>Honorarios y contingencias del contratista (CFC)</b>		
11. Honorarios	34,000.00 USD	\$ 119,510,000.00

12. Seguros y contingencias	68,000.00 USD	\$239,020,000.00
<b>CFC = 11+12</b>	<b>102,000.00 USD</b>	<b>\$ 358,530,000.00</b>
<b>Costo fijo de capital directo (FDC = TPC+CFC)</b>		
<b>FDC</b>	<b>581,850.00 USD</b>	<b>\$ 2,036,475,000.00</b>

El software de simulación empleado calcula un estimado del capital de trabajo y costo del periodo de arranque del proyecto. En la tabla 34 se describe la inversión inicial que requerirá el proyecto.

**Tabla 36** Inversión total

Descripción	Valor (USD)	Pesos colombianos (COP)
Costo fijo de capital directo	581,850.00	2.023.458.960
Costo de arranque	29000.00	101.935.000
Inversión total	610,850.00	2,147,137,750.00

La inversión inicial del proyecto está alrededor de \$ 2,147,137,750.00 obtenida de las anteriores etapas de la ingeniería como el costo total de equipos, maquinaria, muebles, infraestructura, instalaciones eléctricas, tuberías y conexiones, aislamiento, adaptación del terreno, edificios auxiliares, costos de materia prima, mano de obra, servicios, gastos de estos valores anuales, al empezar el proyecto se necesita la inversión en el año cero debido a que no se ha empezado a vender el concentrado de fibra dietaria, en los siguientes años los ingresos por la venta del producto se producen cerca de 648.867 unidades por año.

En la siguiente tabla 37 se muestran los costos de materiales asociados a la materia prima, agua de proceso y material de empaque.

**Tabla 37** Costos de materiales asociados a la materia prima, agua del proceso y material de empaque del proceso productivo.

Material	Costo Unitario (\$)	Cantidad anual		Costo anual (\$)	Costo (\$/kg FD)	%
Aire	0.00	178,248.00	kg	0.00	0.00	0.00
Albedo	1,000.00	197,659.00	kg	197,659,400.00	758.57	4.97
Cáscara	1,000.00	60,818.00	kg	60,818,277.00	233.41	1.53

<b>Semilla</b>	1,000.00	45,614.00	kg	45,613,708.00	175.05	1.15
<b>agua</b>	610.00	200,060.00	kg	122,036,674.00	468.35	3.07
<b>Material Discreto</b>	<b>Costo Unitario (\$)</b>	<b>Costo anual (\$)</b>		<b>Costo (\$/kg FD)</b>	<b>%</b>	
<b>Sobre</b>	337.40	2,664,110,400.00		10,224.24	66.97	
<b>Caja de 30</b>	3,374.00	888,036,800.00		3,408.08	22.32	
<b>TOTAL</b>	-	-		<b>3,978,275,258.00</b>	<b>15,267.70</b>	<b>100.00</b>

Kg FD: Kilogramos de Fibra Dietaria

Recuperación de la inversión al tercer año.

Valor del TIR 11%

ÍNDICE DE RENTABILIDAD COSTO/ BENEFICIO: 0.87

<b>VPN (5 AÑOS)</b>	\$	3,052,231,129.00
---------------------	----	------------------

El tiempo de recuperación de la inversión corresponde a 3 años, es decir que se recupera rápidamente. Esto se debe en parte a que el costo de la materia prima de obtención de los concentrados de fibra dietaria al ser un subproducto industrial su costo es muy bajo. Otro aspecto que influye es que para el procesamiento, los equipos y servicios son de tecnología, relativamente común y accesible.

El VAN y TIR nos permiten analizar qué tan oportuno es el proyecto en el desarrollo de la industria, El VAN corresponde al Valor actual neto y el TIR a la Tasa interna de Retorno.

El TIR después de impuesto con base al análisis realizado en el programa de simulación Super pro Design tiene un resultado del 11 % lo que indica que el proyecto es rentable y apropiado por que los ingresos que se obtendrán son adecuados para los costos económicos de la empresa.

El VAN se calcula de la siguiente manera:

$$VAN = BNA - Inversión$$

En donde:

- VAN: Valor actual neto (resultado de restar la inversión del proyecto al beneficio neto actualizado)

- BNA: Beneficio neto actualizado (valor actual del flujo de caja o beneficio neto proyectado, el cual ha sido actualizado a través de una tasa de descuento)
- Inversión: Inversión total del proyecto.

El resultado obtenido del valor actual neto (VAN) es de 3,052,231,129.00 pesos colombianos lo cual mide el resultado de descontar la inversión del proyecto el valor actual o presente del flujo de caja neto que tendrá. Al ser el resultado positivo significa que se tiene una ganancia y, por tanto, el proyecto es rentable, favoreciendo económicamente la inversión.

El índice de rentabilidad es adecuado, ya que nos indica que por cada peso invertido se gana 0.87.

No se encontraron trabajos que, específicamente reportaran un análisis económico preliminar de obtención de fibra dietaria a partir del albedo de maracuyá. Un estudio relacionado, en el que se extrajo pectina de la cáscara de naranja arrojó que los costos de las materias primas para retirar un kg de pectina eran superiores al precio comercial ya que usaron solventes y reactivos tales como el ácido tartárico, etanol, propanol, y ácido clorhídrico, los cuales superaban en más de 900% el precio de venta de la pectina (importada), cuyo valor, en el mercado nacional era de \$ 65000/Kg [144]. Por lo tanto, es de gran importancia aplicar insumos de menor costo como es el caso del uso de agua como solvente, lo que además aporta para que el proyecto sea viable financiera y ambientalmente.

#### **6.3.4 Análisis ambiental**

Con base a los resultados del impacto ambiental arrojados por el Software de simulación, el mayor impacto es la generación de residuos acuosos con una alta carga orgánica, La eliminación efectiva de estos contaminantes orgánicos en las aguas residuales es un problema de gran importancia y cuya solución urge, pues afecta principalmente a la calidad fisicoquímica de los recursos naturales del agua a la cual se viertan estas aguas de proceso. Por lo tanto, a continuación se realiza un análisis de los principales parámetros que se verían afectados en caso de no ejecutar el tratamiento a las aguas residuales del proceso y ocasionar alteraciones medioambientales poniendo en riesgo nuestro ecosistema.

Los parámetros que tendrían mayor afectación en la calidad del agua serían la DQO, DBO<sub>5</sub> y Sólidos suspendidos totales (SST), ya que la concentración de materia orgánica es directamente proporcional a la concentración de estos parámetros.

Para dar cumplimiento a la normatividad ambiental debemos regirnos de los límites máximos permisibles de la resolución 0631 del 2015 “Por la cual se establecen los parámetros y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones” *Capítulo VI* : Parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no Domésticas – ARnD a cuerpos de aguas superficiales. Sector: Actividades productivas de agroindustria y ganadería.

### AGROINDUSTRIA

**Tabla 38** Límites máximos permisibles de parámetros fisicoquímicos de actividades productivas de agroindustria.

PARÁMETRO	UNIDADES	PROCEDAMIENTO DE HORTALIZAS, FRUTAS, LEGUMBRES, RAICES Y TUBÉRCULOS.
PH	Unidades de pH	6.00 – 9.00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O <sub>2</sub>	150.00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L O <sub>2</sub>	50.00
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	100.00
Sólidos Sedimentables (SSED)	mg/L	5.00

Grasas y Aceites	mg/L	10.00
Fosforo Total (P)	mg/L	Análisis y reporte
Color Real (Medidas de absorbancia a las siguientes longitudes de onda 436 nm, 525 nm y 620 nm)	m <sup>-1</sup>	Análisis y reporte

Con base a lo anteriormente expuesto en la tabla 35 se debe proponer una planta de tratamiento de aguas Industriales (PTARI) enfocándose en los tratamientos para dar cumplimiento a los parámetros que sufrirían mayor afectación (DQO, DBO5 y SST.)

En la tabla 39 se describen diferentes técnicas de eliminación y tratamiento de la carga orgánica generada en el proceso productivo.

**Tabla 39** Técnicas de eliminación en función de la contaminación orgánica del agua residual (Effluent Treatment Techniques (TGN A4) Environment Agency UK, 2002)

Contaminantes	Técnica de Eliminación
Aceites / Grasas	Tratamiento Químico  Mop/ Skimmers
Solidos Orgánicos disueltos	Intercambio iónico  Separación/ tratamiento con membrana  Tratamientos combinados  Adsorción con carbón
Orgánicos Biodegradables	Tratamientos biológicos:  Tratamiento aerobio  Tratamiento anaerobio

Orgánicos insolubles	Separadores
Orgánicos volátiles	Stripping con aire /vapor Destilación Adsorción con carbón Evaporación Oxidación térmica

El tratamiento de eliminación va a depender de la naturaleza, concentración y caudal de los contaminantes. En función de todos estos parámetros se fijará una u otra técnica.

Cabe destacar que el proceso de producción de concentrados de fibra dietaría también tiene un aporte positivo al medio ambiente ya que se aprovecha los subproductos del maracuyá generados de otro proceso agroindustrial los cuales significan un alto contenido de desechos orgánicos, lo que muchas veces conllevan a serios problemas asociados a su disposición final. En su mayoría de veces son destinados directamente a rellenos sanitarios a cielo abierto lo que origina malos olores a causa de su descomposición y esto sin considerar los elevados costos de transporte.

## 6.4 Conclusiones

El proceso por lotes de 115 kg propuesto para la obtención de un material rico en fibra dietaría a partir de residuos de maracuyá consta de las siguientes etapas: recepción y acondicionamiento, separación del albedo, lavado, trituración, extracción, secado y, empaque del producto deshidratado. La etapa que requiere de mayor tiempo es la del secado con aire y las de mayor demanda de mano de obra son la recepción de la materia prima, lavado y separación del albedo. La operación anual estimada sería de 2632 lotes.

La inversión inicial se estima alrededor de 2150 millones de pesos colombianos, con una tasa interna de retorno de después de impuestos del 11 % para un tiempo de recuperación de la inversión de 3 años

El principal impacto ambiental del proceso son los residuos acuosos que tienen un alto contenido de carga orgánica y deben ser tratados en una Planta de Tratamiento de aguas Residuales No Domésticas.

Según los cálculos preliminares realizados en este capítulo, basados en los resultados de los ensayos de laboratorio, el ejercicio de optimización, la información económica y ambiental en el contexto colombiano, el aprovechamiento del subproducto agroindustrial del maracuyá para la obtención de concentrados de fibra dietaria es seguramente viable en los aspectos técnicos económicos y ambientales, debido al bajo costo y alta disponibilidad de la materia prima, el uso de tecnologías sencillas y por efecto de reducción del impacto ambiental de la gran cantidad de residuos que se generan desde el cultivo de la materia prima hasta la etapa de comercialización.

## 7. Conclusiones y recomendaciones

### 7.1 Conclusiones

En este trabajo se analizó el potencial de uso de un residuo procedente de una línea de producción de jugo de maracuyá de una empresa con el fin de obtener un producto que es una fuente de fibra dietaría para consumo humano de calidad comercial.

En dos lotes de fruta procedentes de dos fincas diferentes no se detectaron concentraciones de metales pesados por encima de las normas en el maracuyá analizado, pero si trazas de agroquímicos en uno de ellos.

Caracterizada y seleccionada por su inocuidad la materia prima, se estudiaron dos alternativas de solventes amigables con el medioambiente que permitieran su asepsia y purificación preliminar. Entre el agua y el etanol, el mejor solvente para realizar la operación de extracción fue el primero.

Mediante la metodología de superficie de respuesta (RSM) con el diseño central compuesto se hizo la optimización de la temperatura de extracción y la de secado del proceso, obteniendo las mejores condiciones a 63.6°C y 61.7 °C, respectivamente permitiendo obtener un porcentaje de fibra dietaría total del 87.1%, siendo la fibra soluble del 25.9% y la insoluble del 61.2%.

Para las condiciones optimizadas se realizó un análisis preliminar técnico, de costos y ambiental del proceso de obtención de una fuente de fibra dietaría a partir del albedo del maracuyá que, con un proceso por lotes de operaciones simples, permitiría con una inversión que ronda los 2150 millones de pesos, una TIR del 11% y una recuperación de la inversión en tres años. Esta inversión no considera el costo de una planta de tratamiento de aguas residuales que se considera necesaria para reducir el impacto ambiental de los residuos líquidos de alta carga orgánica que se generarían, que sin embargo son de menor impacto que los que actualmente se generan por la disposición de los residuos del despulpado del maracuyá que son desaprovechados actualmente.

El contenido de fibra dietaría del albedo del maracuyá es una fuente promisoría atractiva para usar en el sector de alimentos para animales y para humanos, debido al balance entre la fibra dietaría soluble e insoluble. Es un ingrediente apto para usar en alimentos

funcionales en los que se tenga interés para disminuir el contenido de grasa, evitando problemas de sinéresis, mejorando la textura y viscosidad de estos productos.

El aprovechamiento de los residuos agroindustriales del maracuyá tiene un importante potencial para generar concentrados de fibra dietaria como producto con valor agregado lo, que, de ser llevado a la práctica, permitiría registrar nuevos ingresos y aportar al desarrollo del sector agroindustrial de la cadena de las pasifloras.

## 7.2 Recomendaciones

Para futuros trabajos relacionados con el aprovechamiento de residuos agroindustriales de maracuyá para la obtención de una fuente rica en fibra dietaria se recomienda:

Incluir en la evaluación de la optimización de las variables del proceso: El tamaño de partícula y tiempo de extracción.

Formular la creación de un nuevo producto alimenticio funcional con la adición de las fracciones de fibra dietaria obtenidas a partir del albedo del maracuyá para evaluar sus propiedades tecnológicas como capacidad de retención de aceite, de hinchamiento, textura, capacidad de retención de agua y su análisis de mercado.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- [1] Peñaranda, L. Montenegro, S. y Giraldo P. Aprovechamiento de residuos agroindustriales en Colombia. Revista de Investigación Agraria y Ambiental. Rev Investig Agrar Y Ambient 2017;8(2):141–150.
- [2] Iglesias D. Costos económicos por la generación y manejo de residuos sólidos en el municipio de Toluca, Estado de México. Rev Equilibrio Económico 2007;3 (2):131–48.
- [3] Vargas Y. Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. Editor Neogranadina 2018;14.
- [4] Silva C. Passion Fruit (*Passiflora* spp.). Adv Plant Breed Strateg Fruits 2018;3:920–51.
- [5] Altendorf S. Biannual report on global food markets minor. Food Agric Organ United Nations 2017:69–81.

- [6] Affairs. The European market potential for exotic tropical fruit. CBI Minist Foreign  
<https://www.cbi.eu/market-information/fresh-Fruit-Vegetables/exotic-Tropical-Fruit/market-Potential> 2020.
- [7] Jaramillo , M. Cardenas J, Orozco J. Manual sobre el cultivo del maracuyá ( *Passiflora edulis* ) en Colombia. 2008.
- [8] Tropicals It. Quicornac, IT IS Tropicals, supply and demand.  
<http://www.passionfruitjuice.com/supply.php?MENU=5> 2016.
- [9] Casierra, F JA. Chapter 22-Nutritional composition of *Passiflora* species. MSJ Simmonds, VR Preedy (Eds), Nutr Compos Fruit Cultiv Acad Press San Diego 2016:517–34.
- [10] Transparency Market Research In depth Analysis AR. Passion Fruit Peel Market - Global Industry Analysis, Size, Share, Trends, and Forecast 2019-2027.  
<https://www.transparencymarketresearch.com/passion-Fruit-Peel-Market.html> 2020.
- [11] Olivo, G. Finkler, L. Finkler C. Orange and Passion Fruit Wastes Characterization, Substrate Hydrolysis and Cell Growth of *Cupriavidus necator*, as Proposal to Converting of Residues in High Value Added Product. Scielo 2019;91.
- [12] Monteiro, E. Guttierres, R. Souza, B. Santos, R. Dos Santos, M. Cavalcanti, L. Umsza M. Passion Fruit Peel Flour - Technological properties and application in food products. FOOD Hydrocoll 2017;62:158–64.
- [13] Zilly, A. Coelho, J. Bracht, A. Marquez, C. Carvajal, A. Koehnlein, E. Peralta R. Influence of NaCl and Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> on the kinetics and dye decolorization ability of crude laccase from *Ganoderma lucidum*. Int Biodeterior Biodegradation 2011;65:340–4.
- [14] Zilly, A. Dos Santos, B, Helm, C . Vaz, C. Marques, C. Bracht, A. Peralta R. Solid-state bioconversion of passion fruit waste by white-rot fungi for production of oxidative and hydrolytic enzymes. Food Bioprocess Technol 2011;5:1573–80.
- [15] Almeida , J. Lima, V. Giloni, P. Knob A. Passion fruit peel as novel substrate for enhanced  $\beta$ -glucosidases production by *Penicillium verruculosum*: Potential of the crude extract for biomass hydrolysis. Biomass Bioenergy 2015;72:2216–26.
- [16] Pinheiro, E. Silva, I. Gonzaga, L. Amante, E. Teófilo, E. Ferreira M et al. Optimization

of extraction of high-ester pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis flavicarpa*) with citric acid by using response surface methodology. *Bioresour Technol* 2008;99:5561–6.

- [17] Kulkarni, S. Vijayanand P. Effect of extraction conditions on the quality characteristics of pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis f. flavicarpa* L.). *LWT - Food Sci Technol* 2010;43:1026–31.
- [18] Canteri, M. Scheer, A. Ginies, C. Reich, M. Renard, C. Wosiacki G. Rheological and macromolecular quality of pectin extracted with nitric acid from passion fruit rind. *J Food Process Eng* 2012;35:800–9.
- [19] Liew, S. Chin, N, Yusof A. Extraction and characterization of pectin from passion fruit peels. *Agric Agric Sci Procedia* 2014;2:231–6.
- [20] Seixas, F. Fukuda, D. Turbiani, F. Garcia, P. Petkowicz, C. Jagadevan S et al. Extraction of pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis f. flavicarpa*) by microwave-induced heating. *Food Hydrocoll* 2014;38:186–92.
- [21] Yapo, B. Koffi L. Yellow passion fruit rinds - A potential source of lowmethoxyl pectin. *J Agric Food Chem* 2006;54:2738–44.
- [22] Kliemann, E. Simas, K. Amante, E. Prudêncio, E. Teófilo, R. Ferreira, M et al. Optimisation of pectin acid extraction from passion fruit peel (*Passiflora edulis flavicarpa*) using response surface methodology. *Int J Food Sci Technol* 2009;44:476–83.
- [23] Nascimento, T. Calado, V. Carvalho C. Development and characterization of flexible film based on starch and passion fruit mesocarp flour with nanoparticles. *Food Res Int* 2012;49:588–95.
- [24] Espírito Santo, A. Perego, P. Converti, A. Oliveira M. Influence of milk type and addition of passion fruit peel powder on fermentation kinetics, texture profile and bacterial viability in probiotic yoghurts. *LWT - Food Sci Technol* 2012;47:393–9.
- [25] López, J. Fernández, J. Pérez J, Viuda M. Quality characteristics of pork burger added with albedo-fiber powder obtained from yellow passion fruit (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa*) co-products. *Meat Sci* 2014;97:270–6.

- [26] Lourith, N. Kanlayavattanakul M. Antioxidant activities and phenolics of *Passiflora edulis* seed recovered from juice production residue. *J Oleo Sci* 2013;62:235–40.
- [27] Leão, K. Sampaio, K. Pagani, A. da Silva M. Odor potency, aroma profile and volatiles composition of cold pressed oil from industrial passion fruit residues. *Ind Crops Prod* 2014;58:280–6.
- [28] Gerola, G. Boas, N. Caetano, J. Tarley, C. Gonçalves, A. Dragunski D. Utilization of passion fruit skin by-product as Lead(II) ion biosorbent. *Water, Air, Soil Pollut* 2013;224:1–11.
- [29] Pavan, F. Lima, E. Dias, S. Mazzocato A. Methylene blue biosorption from aqueous solutions by yellow passion fruit waste. *J Hazard Mater* 2008;150 (3):703–12.
- [30] Muneiro K. Ogura, Y. Maruki, H., Sai, M. Susuki, T. Kanasaki, K. Hara , Y. Seto, H. Kuroshima, Y. Monno, I. Koya D. The Effect of Piceatannol from Passion Fruit (*Passiflora edulis*) Seeds on Metabolic Health in Humans. *Nutrients* 2017;9(10):1142.
- [31] Ross, R. Zibadi, S. Rafatpanah, H. Jabbari, F. Ghasemi, R. Ghafari, J. Afrasabi, H. Yeap L, Faridhosseini R. Oral administration of the purple passion fruit peel extract reduces wheeze and cough and improves shortness of breath in adults with asthma. *Nutr Res Rev* 2008;28(3):166-.
- [32] Grover, A. Samson S. Benefits of antioxidant supplements for knee osteoarthritis: rationale and reality. *Nutr J* 2016;5;15:1.
- [33] Stephen, A. Champ, M. Cloran, S. Fleith, M. Lieshout, L. Mejbourn H et al. Dietary fibre in Europe: current state of knowledge on definitions, sources, recommendations, intakes and relationships to health. *Nutr Res Rev* 2017;30 (2):149–90.
- [34] Verspreet, J. Damen, B. Broekaert, W. Verbeke, K. Delcour, J. Courtin C. A critical look at prebiotics within the dietary fiber concept. *Annu Rev Food Sci Technol* 2016;7:167–90.
- [35] FDA. Review of the scientific evidence on the physiological effects of certain non-digestible carbohydrates 2018:<https://www.fda.gov/food/food-labeling-nutrition/r>.
- [36] Sciences B of N. List of dietary fibres reviewed and accepted by health Canada's food directorate 2017:<https://www.canada.ca/en/health-canada/services/pu>.

- [37] Delzenne N, Olivares MN, A., Beaumont M, Kjølbaek L, Meinert T, et al. Nutritional interest of dietary fiber and prebiotics in obesity : Lessons from the MyNewGut consortium 2019. doi:10.1016/j.clnu.2019.03.002.
- [38] Dai, F. Chau C. Classification and regulatory perspectives of dietary fiber. *J Food Drug Anal* 2017;25:37–42.
- [39] Matos, A. Chambilla E. Importancia de la Fibra Dietética , sus Propiedades Funcionales en la Alimentación Humana y en la Industria Alimentaria. *Cienc Y Tecnol Aliment* 2010;1:4–17.
- [40] Threapleton, D. Greenwood, D. Evans, C. Cleghorn, C. Nykjaer, C. Woodhead C et A. Dietary fibre intake and risk of cardiovascular disease: Systematic review and meta-analysis. *BMJ* 2013;347:Article f6879.
- [41] Elleuch, M. Bedigian, D. Roiseux, O. Besbes, S. Blecker, C. Attia H. Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. *Food Chem* 2011;124:411–21.
- [42] Zheng, Y. Li Y. Physicochemical and functional properties of coconut (Cocos nucifera L) cake dietary fibres: Effects of cellulase hydrolysis, acid treatment and particle size distribution. *Food Chem* 2018;257:135–42.
- [43] Bhise, S. Kaur A. Synergistic effect of polyols and fibres on baking, sensory and textural quality of bread with improved shelf life. *Int J Curr Microbiol Appl Sci* 2017;6(11):1–12.
- [44] Chu J, Zhao H, Lu, Z. Lu F, Bie XZ, C. Improved physicochemical and functional properties of dietary fiber from millet bran fermented by *Bacillus natto*. *Food Chem* 2019;294:79–86. doi:10.1016/j.foodchem.2019.05.035.
- [45] Ma, M. Mu T. Modification of deoiled cumin dietary fiber with laccase and cellulose under high hydrostatic pressure. *Carbohydr Polym* 2016;136:87–94.
- [46] Córdoba A. Caracterización de Propiedades Relacionadas con la Textura de Suspensiones de Fibras Alimentarias. [Tesis de Doctorado]. Univ Politécnica Val Dep Tecnol Aliment 2005:205.
- [47] Preving G. ¿Qué es la glucemia postprandial?

2018:<https://www.preving.com/glucemia-postprandial/>.

- [48] Elleuch M, Bedigian D, Roiseux O, Besbes S, Blecker C. Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing : Characterisation , technological functionality and commercial applications : A review. *Food Chem* 2011;124:411–21. doi:10.1016/j.foodchem.2010.06.077.
- [49] Zúñiga, S. Peña, Á. y Chiffelle I. Caracterización de Fibra Dietaria en Orujo y Capacidad Antioxidante en vino, hollejo y semilla de uva. 2005.
- [50] Cruz M. Caracterización fisicoquímica, fisiológica y funcional de residuos fibrosos de cáscara de maracuyá (*Pasiflora edulis*). 2002.
- [51] Sánchez B. Caracterización Fisicoquímica y funcional de la fibra Dietética del Fruto del Níspero y de Cáscara de Mango Obo. 2005.
- [52] Raghavendra, S. Ramachandra, S. Rastogi N, Raghavarao, K. Kumar, S. and Tharanathan R. Grinding characteristics and hydration properties of coconut residue: A source of dietary fiber. *J Food Eng* 2006;72 (3):281–6.
- [53] García Á, Vargas, M. López, H. Molina, J. Restrepo, A. Ángel D, García, M. Alarcón H, Vargas, J. López A. Caracterización de la Funcionalidad Tecnológica de una Fuente Rica en Fibra Dietaria Obtenida a partir de Cáscara de Plátano. *Fac Nac Agron* 2013;66.
- [54] Larrauri J. Procesos para la Obtención de Productos en Polvo con Altos Contenidos en Fibra Dietética. *Rev Aliment* 1994;19:25–30.
- [55] Ferguson, R. and Fox K. Dietary Citrus Fibers' in *Trans. ASME Citrus. Eng Conf*, 1978;24:Winterhaven, FL.
- [56] Larrauri J. New approaches in the preparation of high dietary fibre powders from fruit. *Trends Food Sci Technol* 1999;10:6–11.
- [57] Dhingra, D. Michael, M. Rajput, H. Patil R. Dietary fibre in foods: a review. *J Food Sci Technol* 2012;49 (3):255–66.
- [58] Pérez, F. Vílchez C. Dietary fiber: New definitions, functional properties and health benefits. *ALAN - Arch Latinoam Nutr* 2017;67 (2).

- [59] López J, Fernández J-, Pérez J, Viuda M. Chemical, Physico-chemical, Technological, Antibacterial and antioxidant properties of dietary fiber powder obtained from yellow passion fruit (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa*) co-products. *Food Res Int* 2013;51:756–63. doi:10.1016/j.foodres.2013.01.055.
- [60] Yaich, H. Garna, H. Besbe, H. Paquot, M. Blecker, C. Attia H. Chemical composition and functional properties of *Ulva lactuca* seaweed collected in Tunisia. *Food Chem* 2011;128 (4):895–901.
- [61] Moraes, C. Jablonski, A. De Oliveira, A. Rech, R. Flores S. Dietary fiber from orange byproducts as a potential fat replacer. *LWT-Food Sci Tech* 2013;53 (1):9–14.
- [62] Ma, M. Mu T. Effects of extraction methods and particle size distribution on the structural, physicochemical, and functional properties of dietary fiber from deoiled cumin. *Food Chem* 2016;194:237–46.
- [63] Villarroel, M. Acevedo, C. Yañez, E. Biolley E. Propiedades funcionales de la fibra del musgo *Sphagnum magellanicum* y su utilización en la formulación en productos de panadería. *Arch Latinoam Nutr* 2003;53 (4):1–14.
- [64] Mateu X. La fibra en la alimentación Farmacia Hospitalaria. Barcelona. Gráficas Celler SA 2004:19.
- [65] Prosky, L. Asp, N. Scheweizer, T. DeVries, J. Furda I. Determination of insoluble and soluble, and total dietary fibre in foods and food products: Interlaboratory study. *J Assoc Off Anal Chem* 1988;71:1017–23.
- [66] Englyst, H. Quigley, M. Hudson G. Determination of dietary fiber as non-starch polysaccharides with gas–liquid chromatographic or spectrophotometric measurement of constituent sugars. *Analyst* 1994;119:1497–509.
- [67] Soest, P. Van J. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II. Determination of plant cell-wall constituents. *J Assoc Off Anal Chem* 1963;48:829–35.
- [68] Lee, S. Prosky, L. DeVries J. Determination of total, soluble, and insoluble dietary fiber in foods: Enzymatic-gravimetric method, MES-TRIS buffer: Collaborative study. *J Assoc Off Anal Chem* 1992;75:395–416.
- [69] McCleary, B. De Vries, J. Rader, I. Cohen, G. Prosky L et al. Determination of total

dietary fiber (CODEX definition) by enzymatic-gravimetric method and liquid chromatography: Collaborative study. *J AOAC Int* 2010;93:221–33.

- [70] Prosky, L. Asp, G. Scheweizer, T. De Vries J et A. Determination of insoluble and soluble dietary fiber in foods and food products: collaborative study. *J Assoc Anal Chem Int* 1992;75:360–7.
- [71] Gordon, D. Okuma K. Determination of total dietary fiber in selected foods containing resistant maltodextrin by enzymatic-gravimetric method and liquid chromatography: Collaborative study. *J AOAC Int* 2002;85:435–44.
- [72] McCleary, B. Monaghan D. Measurement of resistant starch. *J AOAC Int* 2002;85:665–75.
- [73] Ohkuma, K. Matsuda, I. Katta, Y. Tsuji K. New method for determining total dietary fiber by liquid chromatography. *J AOAC Int* 2000;83:1013–9.
- [74] Quemener, J. Thibault P. Determination of inulin and oligofructose in food products and integration in the AOAC method for the measurement of total dietary fibre. *Leb Und Technol* 1994;27:125–32.
- [75] Craig, S. Holden, J. Khaled M. Determination of polydextrose as dietary fiber in foods. *J AOAC Int* 2000;83:1006–12.
- [76] Goñi, I. García, E. Mañas, E. Saura F. Analysis of resistant starch: a method for foods and food products. *Food Chem* 1996;56:445–9.
- [77] Goñi, I. Díaz, M. Pérez, J. Saura F. Towards an updated methodology for measurement of dietary fiber, including associated polyphenols, in food and beverages. *Food Res Int* 2009;42:840–6.
- [78] Gupta R, Gigras P, Mohapatra H, Goswami V, Chauhan B. Microbial  $\alpha$ -amylases: A biotechnological perspective. *Process Biochem* 2003;38:1599–616. doi:10.1016/S0032-9592(03)00053-0.
- [79] Alagarsamy S, Larroche C, Pandey A. Microbiology and Industrial Biotechnology of Food-Grade Proteases : A Microbiology and Industrial Biotechnology of Food-Grade Proteases : A Perspective 2006.

- [80] NTC 5986. SALVADO, GERMEN Y OTRAS HARINAS DE TRIGO PARA CONSUMO HUMANO. 050 Prod Molin 2013.
- [81] Box G, Draper N. Response surfaces, mixtures, and ridge analyses. Wiley-Interscience; 2007.
- [82] Canizales, L. Rojas, F. Pizarro, C. Caicedo, N. y Villegas F. SuperPro Designer®, User-Oriented Software Used for Analyzing the Techno-Economic Feasibility of Electrical Energy Generation from Sugarcane Vinasse in Colombia. Processes 2020;8:1180.
- [83] Al F et. Fiber concentrates from Apple pomace and citrus peel as potential fiber sources for food enrichment. Food Chem 2005;9:10–7.
- [84] N. R. Manejo de residuos en la agroindustria Cafetera. Cenicafe n.d.:<http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/201>.
- [85] FAO. Citrus Fruit Fresh and Processed Statistical Bulletin 2016. Rome: 2016.
- [86] PROCAÑA. Asociación Colombiana de Productores y Proveedores de Caña de Azúcar 2020:<https://procana.org/site/>.
- [87] TECNOSOLUCIONES. Economía de desechos y subproductos en Colombia 2019:<https://tecnosolucionescr.net/blog/75-economia-de->.
- [88] Ramírez V. Revalorización de residuos en la cadena de valor de las industrias frutícolas en Manizales 2011:<https://www.researchgate.net/publication/281526329>.
- [89] Rodriguez N. Manejo de residuos en la agroindustria Cafetera. Cenicafe n.d.:<http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/201>.
- [90] Financial crime There's a market conundrum developing that casts a shadow over risk taking: Bank of America technical analyst 2021:<https://www.marketwatch.com/>.
- [91] Gutierrez, E. Medina, G. Roman, M. Florez, O. Martinez O. Obtención y Cuantificación de fibra dietaria a partir de residuos de algunas frutas comunes en Colombia. Redalcy, Vitae, Univ Antioquia 2002.
- [92] Cañas, Z. Restrepo, D. Cortes M. Revisión : Productos Vegetales como Fuente de Fibra Dietaria en la Industria de Alimentos 2011;64:6023–35.

- [93] López J, Fernández J, Pérez J, Viuda M. Chemical , physico-chemical , technological , antibacterial and antioxidant properties of dietary fiber powder obtained from yellow passion fruit ( *Passiflora edulis* var . *fl avicarpa* ) co-products. *FRIN* 2013;51:756–63. doi:10.1016/j.foodres.2013.01.055.
- [94] Júnior AMB and MRM. Yellow passionfruit: General characteristics and by-products usage. *Food Nutr Dep Fac Food Eng* n.d.:<http://alimentos-autoctonos.fabro.com.mx/yellow-pa>.
- [95] Cazarin, C. Da Silva, J. Colomeu, T. Zollner L. Antioxidant capacity and chemical composition of passion fruit peel (*Passiflora edulis*). *Tecnol Aliment* 2014;44:9.
- [96] Vígano, J. Brumer, Z. Campos, P. Da Silva, J. Junior, M. Reyes, F. Martines J. Pressurized liquids extraction as an alternative process to readily obtain bioactive compounds from passion fruit rinds. *Food Bioprod Process* 2016;100 PARTE:38–900.
- [97] Oliveira, D. Angonese, M. Gomes, C. Ferreira S. Valorization of passion fruit (*Passiflora edulis* sp.) by-products: Sustainable recovery and biological activities. *J Supercrit Fluids* 2016;111:55–62.
- [98] A KY. High methoxyl pectin from the soluble dietary fiber of passion fruit peel forms weak gel without the requirement of sugar addition. *ELSERVIER* 2020;246.
- [99] Moura FA de. Metabolic properties of partially hydrolyzed pectin from passion fruit peel. *Bioact Carbohydrates Diet Fibre* 2021;25.
- [100] Monteiro J, Lima E, Morais D, Galeno L. NIH Public Access 2013.
- [101] Casarotti, S. Borgonovi, T. Batista, C. Penna A. Guava, orange and passion fruit by-products: Characterization and its impacts on kinetics of acidification and properties of probiotic fermented products. *EL SERVIER* 2018;98:69–76.
- [102] Chau, C. Huang Y. Comparison of the chemical composition and physicochemical properties of different fibers prepared from the peel of *Citrus sinensis* L. Cv. Liucheng. *J Agric Food Chem* 2003;51:2615–8.
- [103] Teixeira FL, Sampaio., Moura F et A. Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre Biological properties of apple pomace , orange bagasse and passion fruit peel as

alternative sources of dietary fibre. *Bioact Carbohydrates Diet Fibre* 2015;6:1–6. doi:10.1016/j.bcdf.2015.04.001.

- [104] López J, Fernández J, Pérez J, Viuda M. Chemical, Physico-chemical, Technological, Antibacterial and antioxidant properties of dietary fiber powder obtained from yellow passion fruit (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa*) co-products. *Food Res Int* 2013;51:756–63. doi:10.1016/j.foodres.2013.01.055.
- [105] Castillo M. Fibra dietaria en subproductos de mango , maracuyá , guayaba y palmito 2017.
- [106] Matsuura F. Estudo do albedo de maracujá e de seu aproveitamento em barra decereais. (Tese de doutorado inédito).Universidade Estadual de Campinas. São Paulo, Brasil. 2005.
- [107] Gerschenson N. Pectins obtained by ultrasound from agroindustrial by-products. *Food Hydrocoll* 2021;118.
- [108] Garcia, M. V., Milani, M. S. & R. Production optimization of passion fruit peel flour and its incorporation into dietary food. *Food Sci Technol Int* 2019.
- [109] Barrales, F. Rezende, C. Martínez J. Supercritical CO<sub>2</sub> extraction of passion fruit (*Passiflora edulis* sp.) seed oil assisted by ultrasound. *J Supercrit Fluids* 2015;104:183–92.
- [110] Malacrida C. Yellow Passion Fruit Seed Oil (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*): Physical and Chemical Characteristics. *Brazilian Arch Biol Technol* 2012;55:127–34.
- [111] Viganó, J. Coutinho, J. Souza, D. Baroni, N, Godoy, H, Macedo, J. Martinez J. Exploring the selectivity of supercritical CO<sub>2</sub> to obtain nonpolar fractions of passion fruit bagasse extracts. *J Supercrit Fluids* 2016;110:1–10.
- [112] Matsui, Y. Sugiyama, K. Kamei, M. Takahashi, T. Suzuki, T. Katagata, Y. Ito T. Extract of Passion Fruit (*Passiflora edulis*) Seed Containing High Amounts of Piceatannol Inhibits Melanogenesis and Promotes Collagen Synthesis. *Agric Food Chem* 2010;58, 20,:11112–11118.
- [113] Misuzaki, A. Nishi, K. Nishiwaki, H. Ishida, M. Tamamoto, T. Sugahara T. Suppressive effect of ethanol extract from passion fruit seeds on IgE production. *J*

Funct Foods 2017;32:176–84.

- [114] Chau, C, Huang Y. Characterization of passion fruit seed fibres—a potential fibre source. Food Chem 2004;85:189–94.
- [115] AGROINDUSTRIAL C. Alternativas de aprovechamiento del Maracuyá 2018:<https://issuu.com/citeagroindustrialica/docs/bo-18>.
- [116] EL, TIEMPO. Colombia Viene Creciendo En Reciclaje. REDACCIÓN VIDA 2019:<https://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/que-p>.
- [117] DANE. Cuenta ambiental y económica de flujos de materiales - residuos sólidos. Boletín Técnico 2020.
- [118] MinAgricultura. Cadena del PASIFLORAS , INDICADORES E INSTRUMENTOS 2020:<https://sioc.minagricultura.gov.co/Pasifloras/Docu>.
- [119] DNP. Rellenos sanitarios de 321 municipios colapsarán en cinco años , advierte el DNP 2016:<https://www.dnp.gov.co/Paginas/-Rellenos-sanitario>.
- [120] Monterrosa H. Colombia podría aprovechar 40% de las toneladas de residuos que genera anualmente 2019:<https://www.larepublica.co/responsabilidad-social/>.
- [121] DNP. Informe Nacional de Aprovechamiento 2016:<http://www.andi.com.co/Uploads/22.%20Informa%20de%>.
- [122] Universidad Nacional de Colombia SP. De residuos del maracuyá obtienes compuestos que prevendrían el cáncer 2018:<https://www.palmira.unal.edu.co/index.php/noticias>.
- [123] OMS. ¿Residuos de plaguicidas en los alimentos? <https://www.who.int/features/qa/87/es/> 2016.
- [124] Molina, J. Martínez H, Andrade M. Potencial Agroindustrial del Epicarpio de Maracuyá como Ingrediente Alimenticio Activo. Inf Tecnológica 2019;30 (2):245–56.
- [125] Albuquerque, M. Levit, R. Beres, C. Bedanni, R. Isay SG. Tropical fruit by-products water extracts as sources of soluble fibres and phenolic compounds with potential antioxidant, anti-inflammatory, and functional properties. J Funct Foods 2019;52:724–33.

- [126] Romero, M. Osorio, P. Bello, L. Tovar, J. Benardino A. Fiber Concentrate from orange (*Citrus Sinensis* L.) bagase: Characterization and application as bakery product ingredient. *PubMed* 2011;12.
- [127] Martínez R, Torres P, Meneses M, Figueroa J, Pérez J, Viuda M. Chemical , technological and in vitro antioxidant properties of cocoa ( *Theobroma cacao* L .) co-products. *FRIN* 2012;49:39–45. doi:10.1016/j.foodres.2012.08.005.
- [128] Molina, J. Martinez, H. Andrade M. Potencial Agroindustria del Epicarpio de Maracuya como Ingrediente Alimenticio Activo. *Inf Tecnol* 2019;30.
- [129] Martínez R, Torres P, Meneses M, Figueroa J, Pérez J, Viuda M. Chemical , technological and in vitro antioxidant properties of mango , guava , pineapple and passion fruit dietary fibre concentrate. *Food Chem* 2012;135:1520–6. doi:10.1016/j.foodchem.2012.05.057.
- [130] Flórez, O. Roman, O. Martínez, O. Gutierrez, L. y Medina G. Optimización de un preparado Sólido de Fibra Dietaria a partir de diferentes residuos de Frutas. *Rev La Fac Química Farm* 2006;13:10–5.
- [131] Grossi GV. DETERMINACIÓN DE FIBRA DIETÉTICA TOTAL , SOLUBLE E INSOLUBLE EN HONGOS COMESTIBLES DE CULTIVO *Pleurotus ostreatus* 2015.
- [132] Thu, T. Webb, H. Malherbe F. Optimization of pectin extraction from fruit peels by response surface method: Conventional versus microwave-assisted heating. *Food Hydrocoll* 2021;113.
- [133] Cho, Y. Hwang J. Modeling the yield and intrinsic viscosity of pectin in acidic solubilization of apple pomace. *J Food Eng* 2000;44:85–9.
- [134] Ming, X. Changbao, L. Jiemin, L. Yinru, H. Yu, S. Yayuan, T. Jinfeng, S. Li, L. Jun D. Optimization of Extraction Technology of High Methoxyl Pectin from Passion Fruit Peel by Ultrasound Assisted with Citric Acid Extraction and Its Physicochemical Properties. *Agro-Food Sci Technol Res Institute, Guangxi Acad Agric Sci* 2018.
- [135] Zaid, R. Mishra, P. Noredyani, s. Tabassum S. Proximate characteristics and statistical optimization of ultrasound-assisted extraction of high-methoxyl-pectin from *Hylocereus polyrhizus* peels. *Food Bioprod Process* 2020;123:134–49.

- [136] Maran, P. Sivakumar, V. Thirugnanasambandhama, K.Sridharb R. Microwave assisted extraction of pectin from waste Citrullus lanatus fruit rinds. Carbohydr Polym 2014;101:786–91.
- [137] Canteria, M. Moreno, L. Scheer A. Pectina: da Matéria-Prima ao Produto Final. Polimeros 2012;22:149–57.
- [138] Bouaziz, A. Masmoudi M. Optimization of Insoluble and Soluble Fibres Extraction from Agave americana L. Using Response Surface Methodology. E-Journal Chem 2014.
- [139] Masmoudi, M. Besbes, S. Chaabouni, M. Robert, C. Paquot, M. Blecker, C. Attia H. Optimization of pectin extraction from lemon by-product with acidified date juice using response surface methodology. Carbohydr Polym 2008;74:185–92.
- [140] Rural M de A y D. CADENA DE PASIFLORAS , Indicadores e Instrumentos. 2020.
- [141] FONTAGRO. Residuos del proycto “Modelo de Plataforma para el aprovechamiento integral, adición de valor y competitividad de frutales comerciales andinos.” 2013.
- [142] Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico. Resolución CRA 720 de 2015. 2015.
- [143] Casas, D. Luz, A. Bustamante, F. Gonzales L. Process development and simulation of pectin extraction from orange peels. Food Bioprod Process 2015;96:86–98.
- [144] Acevedo, V. Ramirez D. ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DE LA PECTINA, A PARTIR DE LA CÁSCARA DE LA NARANJA (Citrus sinensis). 2011.

## 9. ANEXOS

### CAPITULO 4

#### COEFICIENTES DE VARIACIÓN

**Tabla 40** Coeficientes de variación de concentrado de resultados de concentrado de fibra dietaría soluble (FDS), insoluble (FDI) y total (FDT) a partir del pre tratamiento del albedo de maracuyá, usando como solvente agua.

Ensayo	T_Ext [°C]	T_sec [°C]	Solvente Agua					
			FDS (%)	Coef. De variación (%)	FDI (%)	Coef. De variación (%)	FDT (%)	Coef. De variación (%)
1	60	60	15.66%± 0.03	0.19	62.23%±0. 15	0.25	77.89%± 1.50 e-3	0.20
2	30	60	2.04% ± 0.17	8.56	83.33%±0. 34	0.41	85.37%± 2.70e-3	0.31
3	30	40	8.54% ± 0.05	0.55	62.34%±0. 04	0.06	70.88%± 6.24e-4	0.08
4	60	40	1.74% ± 0.02	1.16	80.16%±0. 07	0.09	81.90%± 9e-4	0.11

**Tabla 41** Coeficientes de variación de concentrado de resultados de concentrado de fibra dietaría soluble (FDS), insoluble (FDI) y total (FDT) a partir del pre tratamiento del albedo de maracuyá, usando como solvente etanol.

Ensayo	CRO (g de aceite/g de fibra)	Coef. De variación (%)	CRA (g de agua retenida/ g de fibra)	Coef. De variación (%)	% de humedad final	Coef. De variación (%)

1	<b>1.34 ± 0.030</b>	2.29	18.7 ±0.15	0.81	0.67 ±0.011	1.70
2	<b>1.7± 0.02</b>	1.17	9.2 ±0.2	2.17	1.49± 0.02	1.34
3	<b>1.2± 0.1</b>	8.33	15.3± 0.1	0.65	0.95 ± 0.025	2.65
4	<b>1.5± 0.25</b>	9.35	8.4±0.2	2.38	0.81 ± 0.0152	1.87

**Tabla 42** Coeficiente de variación de los resultados de las Propiedades tecnológicas de los concentrados de fibra dietaría. Solvente Agua

<b>Ensayo</b>	CRO (g de aceite/g de fibra)	Coef. De variación (%)	CRA (g de agua retenida/ g de fibra)	Coef. De variación (%)	% de humedad final	Coef. De variación (%)
1	<b>1.34 ± 0.03</b>	2.29	18.70 ±0.15	0.81	0.67 ±0.011	1.70
2	<b>1.70± 0.02</b>	1.17	9.20±0.20	2.17	1.49± 0.02	1.34
3	<b>1.20± 0.10</b>	8.33	15.30± 0.10	0.65	0.95 ± 0.03	2.65
4	<b>1.50± 0.25</b>	9.35	8.40±0.20	2.38	0.81 ± 0.03	1.87

**Tabla 43** Coeficiente de variación de los resultados de las Propiedades tecnológicas de los concentrados de fibra dietaría. Solvente Etanol

<b>Ensayo</b>	CRO (g de aceite/g de fibra)	Coef. De variación (%)	CRA (g de agua retenida/ g de fibra)	Coef. De variación (%)	% de humedad final	Coef. De variación (%)
1	<b>1.10±0.30</b>	4.22	11.50 ±0.11	0.99	0.64±0.02	3.13
2	<b>2.20±0.20</b>	9.09	8,20±0.14	1.68	0.36±0.02	5.55
3	<b>1.80±0.20</b>	5.26	14,30±0.14	0.97	1.10±0.21	8.33

4	<b>2,50±0.07</b>	3.14	9.70±0.15	1.56	0.69± 0.04	5.06
---	------------------	------	-----------	------	------------	------