



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

## **EVALUACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y FUNCIONAL DE UN DEXTRANO DE ORIGEN MICROBIANO**

**David Esteban Torres Montañez**

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

**Magíster en Ciencia y Tecnología de Alimentos**

Directora:

Doctora Olga Patricia Cobos de Rangel

Codirectora:

Doctora Sonia Amparo Ospina Sánchez

Línea de Investigación:

Diseño y Desarrollo de Productos Alimenticios

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias

Bogotá, Colombia

2025

## Dedicación

A Olga Cobos,

Tu pasión por la enseñanza ha sido una guía en mi vida, orientándome hacia el camino que hoy recorro con pasión y compromiso. Desde mi formación profesional hasta mi desarrollo como maestro, has sido fundamental.

Recuerdo con especial cariño cada uno de los momentos en los que tu confianza y apoyo me impulsaron a seguir adelante.

Más que una docente, te considero una maestra, una guía que me ha enseñado no solo conocimientos, sino también valores y principios que me acompañarán siempre.

Este proyecto de maestría, que representa el cierre de un ciclo en tu trayectoria como docente, es un homenaje a tu entrega y dedicación. Gracias por compartir tu sabiduría y experiencia con todos nosotros, especialmente en este último proyecto que marca el final de una etapa.

Gracias por tu entrega, tu sabiduría y tu ejemplo.

Tu pasión por la enseñanza fue como un faro que iluminó mi camino, guiándome hacia la vocación que hoy me llena de orgullo. Gracias por ser mi brújula e inspiración.

## Agradecimientos

Agradezco enormemente a todas las personas que me crucé en el camino en este proceso, por darme la fuerza y el apoyo para llevar a cabo y culminar este trabajo, el cual reúne no solo mi esfuerzo, sino también el de todas las personas interesadas en la ciencia y el desarrollo.

A mi pareja, Mitzi, por acompañarme en todo momento en el que sentí desfallecer, por animarme a salir adelante y apoyarme emocionalmente en los momentos que sentí cansancio.

A mi hermano Nicolás, quien me dio su apoyo a totalidad en el desarrollo de mi maestría, quien me otorgó no solo palabras de apoyo, sino también desde su sabiduría me ayudó a salir adelante. A mis padres y a mi abuela por su apoyo incondicional en los momentos en donde requerí su guía. Doy gracias por su apoyo desde el comienzo hasta en final en este proceso.

De manera especial agradezco a la Docente Olga Cobos, mentora, tutora, guía y maestra, quien, con su apoyo e interés durante estos últimos 10 años, ha permitido que me forme en búsqueda de la excelencia no solo académica, sino como persona.

A la Doctora Sonia Ospina, quien depositó su confianza en mí para llevar a cabo este proyecto de investigación. Al Doctor Luis Fernando Ospina, por sus paciente enseñanza y su apoyo constante en el bioterio.

A las personas quienes desinteresadamente apoyaron en el ensayo biológico.

De antemano a la Universidad Nacional de Colombia, por permitirme formarme de manera académica y profesional.

## CONTENIDO

<i>Resumen</i> .....	1
<i>Abstract</i> .....	3
<i>Introducción</i> .....	5
<i>Objetivos</i> .....	7
Objetivo general.....	7
Objetivos específicos .....	7
<i>Capítulo 1: Marco de referencia</i> .....	8
1.1 Marco conceptual.....	8
Aspectos Generales de la Fibra .....	8
Clasificación De La Fibra Total .....	9
Propiedades Fisicoquímicas De La Fibra.....	10
La fibra como alimento funcional .....	13
Aplicación de la fibra funcional en el desarrollo de productos alimenticios .....	20
Normatividad alrededor de la fibra total .....	22
Recomendación De Ingesta.....	24
Consumo en Colombia.....	25
Antecedentes .....	28
<i>Capítulo 2: Metodología</i> .....	31
2.1 Metodología General .....	31
2.2 Materiales y Métodos.....	32
Materiales .....	32
Métodos.....	32
<i>Capítulo 3: Resultados y Análisis</i> .....	46
3.1 Caracterización fisicoquímica del dextrano.....	46
Capacidad de hinchamiento y retención de agua. ....	48

Índice de dispersabilidad.....	51
Capacidad de retención de aceite .....	52
3.2 Evaluación del comportamiento del dextrano en matrices alimentarias líquidas .....	53
Efecto del dextrano sobre el pH en néctar de fruta. ....	53
Efecto del dextrano sobre la viscosidad en néctares de fruta. ....	56
3.3 Evaluación del comportamiento del dextrano en matrices alimentarias sólidas .....	66
Galleta de sal: .....	70
Galleta de Avena .....	73
Colación .....	77
Muffin .....	80
Ponqué.....	87
3.4 Efecto del dextrano en la velocidad de tránsito intestinal .....	92
Ensayo biológico en roedores .....	103
<i>Capítulo 4. Conclusiones.....</i>	<i>112</i>
<i>Capítulo 5. Recomendaciones .....</i>	<i>114</i>
<i>Bibliografía.....</i>	<i>116</i>
<i>Anexos.....</i>	<i>126</i>
Anexo 1. Metodologías de la caracterización fisicoquímica del dextrano .....	126
Anexo 2. Instrumento para análisis sensorial de Alimentos.....	129
Anexo 3. Consideraciones éticas .....	133
Anexo 4. Consentimiento Informado.....	136
Anexo 5. Formato de Anamnesis Nutricional .....	137
Anexo 6. Formato de valoración médica.....	140
Anexo 7. Ficha Técnica del Colorante.....	141
Anexo 8. Parámetros reológicos estimados a partir del modelo lo de ley de potencia..	143

Anexo 9. Seguimiento fotográfico del protocolo experimental con roedores .....	145
Anexo 10. Seguimiento fotográfico de la evaluación de tránsito total de roedores .....	147

## LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Tipos de fibra dietética según su grado de fermentación</i> .....	9
<i>Tabla 2. Tipos de fibra según su solubilidad en agua</i> .....	10
<i>Tabla 3. Tipos de alimentos funcionales</i> .....	14
<i>Tabla 4. Recomendaciones de ingesta de fibra para la población colombiana</i> .....	24
<i>Tabla 5. Prevalencia y frecuencia de consumo de alimentos fuentes de fibra dietaria en Colombia</i> .....	27
<i>Tabla 6. Composición química del dextrano</i> .....	30
<i>Tabla 7. Cronograma de experimentación, modelo humano</i> .....	39
<i>Tabla 8. Cronograma de experimentación, modelo animal</i> .....	43
<i>Tabla 9. Fotografías de los diferentes procesos de caracterización fisicoquímica del dextrano</i> .....	46
<i>Tabla 10. Capacidad de hinchamiento, índice de dispersabilidad, capacidad de retención de agua y capacidad de retención de aceite del dextrano a 20°C</i> .....	50
<i>Tabla 11. Formulación Néctares de Fruta</i> .....	54
<i>Tabla 12. Evolución del pH de los néctares de fresa y maracuyá.</i> .....	55
<i>Tabla 13. Apariencia física del néctar de fruta ácida los días 0, 1 y 2</i> .....	57
<i>Tabla 14. Apariencia física del néctar poco ácido los días 0, 1 y 2</i> .....	58
<i>Tabla 15. Comportamiento reológico de néctares de maracuyá y fresa</i> .....	60
<i>Tabla 16. Formulación de productos horneados</i> .....	67
<i>Tabla 17. Apariencia física de productos de panadería horneados</i> .....	68
<i>Tabla 18. Atributos de humedad, textura y color de la galleta de sal control y con incorporación de dextrano</i> .....	71
<i>Tabla 19. Resultados de evaluación sensorial de la galleta de sal</i> .....	72
<i>Tabla 20. Atributos de humedad, textura y color de la galleta de avena control y con incorporación de dextrano</i> .....	75
<i>Tabla 21. Resultados de la evaluación sensorial de la galleta de avena</i> .....	76
<i>Tabla 22. Atributos de humedad, textura y color de colación control y con incorporación de dextrano</i> .....	78
<i>Tabla 23. Resultados de la evaluación sensorial de la colación</i> .....	79

<i>Tabla 24. Características de textura del muffin patrón y con inclusión de dextrano .....</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 25. Características de color del muffin control y con inclusión de dextrano .....</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 26. Resultados de la evaluación sensorial del muffin .....</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 27. Características de textura del ponqué patrón y con inclusión de dextrano .....</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 28. Características de color del ponqué control y con inclusión de dextrano .....</i>	<i>90</i>
<i>Tabla 29. Resultados de la evaluación sensorial del ponqué .....</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 30. Características antropométricas de los participantes del ensayo biológico .....</i>	<i>93</i>
<i>Tabla 31. Ingesta de energía, macronutrientes y fibra dietaria de los participantes del ensayo biológico; estimada por análisis químico indirecto .....</i>	<i>94</i>
<i>Tabla 32. Formulación de galleta de avena con y sin inclusión de dextrano .....</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 33. Aporte de energía, macronutrientes y fibra de las galletas a suministrar .....</i>	<i>97</i>
<i>Tabla 34. Registro fotográfico de la muestra empleada en el ensayo biológico .....</i>	<i>98</i>
<i>Tabla 35. Tiempo de tránsito intestinal en población adulta sana .....</i>	<i>100</i>
<i>Tabla 36. Resultados del ensayo preliminar #1 de tránsito intestinal .....</i>	<i>104</i>
<i>Tabla 37. Resultados ensayo preliminar #2: Determinación de vehículo a utilizar .....</i>	<i>106</i>
<i>Tabla 38. Resultados ensayo biológico, porcentaje de tránsito intestinal en roedores .....</i>	<i>107</i>
<i>Tabla 39. Tiempo de tránsito intestinal total en roedores. ....</i>	<i>109</i>

## **LISTA DE ILUSTRACIONES**

<i>Ilustración 1. Evolución del pH en néctar de fresa .....</i>	<i>55</i>
<i>Ilustración 2. Evolución del pH en Néctar de maracuyá .....</i>	<i>56</i>
<i>Ilustración 3. Comparación entre porciones consumidas y porciones sugeridas por grupo de alimentos .....</i>	<i>95</i>
<i>Ilustración 4. Diagrama de cajas y bigotes, tiempo de tránsito intestinal total en roedores .....</i>	<i>109</i>

## Resumen

La fibra es un compuesto que presenta propiedades benéficas para la salud de quienes lo ingieren en cantidades adecuadas, destacándose especialmente por su papel en la prevención y/o en el manejo de enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT) y en enfermedades a nivel intestinal; de ahí su relevancia de incluir en la alimentación diaria alimentos que la contengan. Dentro del estudio de las propiedades fisiológicas y bioquímicas de los compuestos de fibra adquiere importancia para su inclusión en alimentos de consumo habitual que no solo contribuyan a su mayor aporte de fibra, sino que, adicionalmente, sean sensorialmente aceptables por los consumidores. El enfoque de este proyecto de investigación fue caracterizar un exopolisacárido tipo dextrano producido por un microorganismo en ambientes controlados, analizando sus características fisicoquímicas, para evaluar su comportamiento en una matriz alimentaria y sus características funcionales relacionadas con el efecto biológico sobre el tiempo de tránsito intestinal. En la caracterización fisicoquímica, se evaluó la capacidad de retención de agua, aceite, y la dispersabilidad en agua, leche entera, leche deslactosada y mezclas de agua con leche entera, encontrando una alta afinidad en medio acuosos poco oleosos y baja afinidad por las matrices lácteas. En la evaluación del comportamiento en matrices líquidas, el fluido obtenido se caracterizó como no newtoniano, presentando un aumento en la viscosidad aparente a medida que incrementaba su concentración. En matrices sólidas, el comportamiento se determinó mediante análisis instrumental y sensorial y, se estableció que el cereal tipo galleta, en este caso galleta de avena, era el mejor vehículo para el dextrano en concentraciones de hasta el 15%. Para evaluar su efecto biológico, se llevaron a cabo tres

ensayos de evaluación de tránsito intestinal: dos en roedores y uno en seres humanos. En el primero, en roedores, no se observaron diferencias significativas al aplicar 50 mg/kg, 100 mg/kg y 200 mg/kg de dextrano en comparación con el control o el patrón de inulina de 200 mg/kg; sin embargo, se evidenció una tendencia de incremento en la velocidad del tránsito intestinal conforme aumentaba la concentración del polímero. En el segundo ensayo también en roedores, se evidenció diferencia significativa entre el control, de solución salina, y los tratamientos con patrón de inulina y con adición del polímero en concentración de 200 mg/kg. En el tercero, el ensayo biológico con una población adulta sana, se suministró galleta de avena con adición del 15% de polímero, se observó un aumento en la velocidad del tránsito intestinal, resultado que presentó diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ).

Palabras clave: Fibra soluble, biopolímero, dextrano, alimento funcional

## Abstract

**English Title:** Physicochemical and functional evaluation of a dextran of microbial origin

Fiber is a compound that exhibits beneficial properties for the health of those who ingest it in adequate quantities, especially for its role in the prevention and/or management of chronic non-communicable diseases (NCDs) and intestinal diseases; hence, the importance of including foods containing it in the daily diet. Within the study of the physiological and biochemical properties of fiber compounds, it is important to include them in commonly consumed foods that not only contribute to their increased fiber content but are also sensorially acceptable to consumers. The focus of this research project was to characterize a dextran-type exopolysaccharide produced by a microorganism in controlled environments, analyzing its physicochemical characteristics, to evaluate its behavior in a food matrix and its functional characteristics related to the biological effect on intestinal transit time. In the physicochemical characterization, the water and oil retention capacity and dispersibility in water, whole milk, lactose-free milk, and water-whole milk mixtures were evaluated. A high affinity in low-oil aqueous media and a low affinity for dairy matrices were found. In the evaluation of its behavior in liquid matrices, the fluid obtained was characterized as non-Newtonian, presenting an increase in apparent viscosity with increasing concentration. In solid matrices, the behavior was determined by instrumental and sensory analysis, and it was established that biscuit-type cereal, in this case oatmeal biscuit, was the best vehicle for dextran at concentrations up to 15%. To evaluate its biological effect, three intestinal transit evaluation tests were carried out: two in rodents

and one in humans. In the first, in rodents, no significant differences were observed when applying 50 mg/kg, 100 mg/kg and 200 mg/kg of dextran compared to the control or the 200 mg/kg inulin pattern; however, a trend of increased intestinal transit speed was evident as the polymer concentration increased. In the second test, also in rodents, a significant difference was evident between the control, saline solution, and the treatments with inulin pattern and with the addition of the polymer at a concentration of 200 mg/kg. In the third, the biological test with a healthy adult population, oatmeal cookies with the addition of 15% polymer were supplied, an increase in intestinal transit speed was observed, a result that presented a statistically significant difference ( $p < 0.05$ ).

Keywords: Soluble fiber, biopolymer, dextran, functional food

## Introducción

En los últimos años se ha desarrollado un gran interés hacia la investigación y caracterización de nuevas fuentes de fibra dietaria orientadas hacia el conocimiento de sus propiedades fisicoquímicas, funcionales, fisiológicas, las cuales permiten conocer su comportamiento no solo como ingrediente funcional al ser adicionado a matrices alimentarias, sino también el rol que ejerce alrededor de la salud. Aunque en diferentes escenarios se ha sugerido eliminar la denominación de los términos solubles e insolubles, es bien claro que la afinidad por el agua es determinante en propiedades como hidratación expresada en la capacidad de absorción de agua, capacidad de retención de agua y capacidad de hinchamiento que aportan información relevante tanto para su aplicación tecnológica en el desarrollo de productos, como funcional y de salud, las cuales dependen también en gran medida del grado de solubilidad de sus partículas.

Dentro de los efectos fisiológicos de la fibra dietaria está el asociado con el funcionamiento gastrointestinal que se traduce en un incremento en el volumen y peso de la materia fecal y en la velocidad de tránsito intestinal probablemente producido por un estímulo mecánico que genera un aumento en el peristaltismo intestinal y por lo tanto en la normalización del tiempo de tránsito intestinal; respuesta que es individual y en la que el tipo y fuente de fibra determinara su estructura química y la intensidad de este efecto en el organismo.

El compuesto a estudio es un biopolímero producido a partir de una enzima dextranasa, en donde a partir de la hidrólisis de la sacarosa polimeriza subunidades de glucosa en un polímero del tipo dextrano. Se encuentra constituido en un 86.2% de fibra

soluble que a través de ensayos biológicos ha demostrado no solo presentar grado variable de fermentación, sino efectos fisiológicos benéficos sobre la respuesta glucémica y el perfil lipídico; en el presente estudio se plantea desarrollar un alimento con alto contenido en fibra y evaluar el efecto sobre la velocidad de tiempo de tránsito intestinal.

## Objetivos

### Objetivo general

Evaluar el comportamiento fisicoquímico de un dextrano producido por biosíntesis microbiana en matrices alimentarias y su efecto sobre el tiempo de tránsito intestinal “in vitro” e “in vivo”.

### Objetivos específicos

- Caracterización fisicoquímica del dextrano en matrices alimentarias
- Evaluación del comportamiento del dextrano en el desarrollo de productos de panadería
- Determinación, mediante ensayo biológico, del efecto del dextrano sobre el tránsito intestinal

## Capítulo 1: Marco de referencia

### 1.1 Marco conceptual

#### *Aspectos Generales de la Fibra*

La definición de fibra ha cambiado con el paso de los años, siendo la más antigua dada en 1953 por Hipsley como “la porción no digerible de la pared celular de una planta” (Edson & Alexis, 2020). Hacia el año de 1972, Trowell diferencia entre fibra dietaria y fibra cruda, teniendo principal diferencia en efecto protector en salud atribuible a la primera de estas (Alanís-García et al., 2021).

Una década después, Hellendorn (1981) debate la definición establecida por Trowell, incluyendo así , no únicamente los polisacáridos no digeribles e insolubles, sino que incorpora a la definición los compuestos solubles en agua que no son digeribles como gomas y mucílagos. Posteriormente la Asociación Americana de Químicos de Cereales define la fibra dietaria desde 2001 como “las partes comestibles de las plantas o carbohidratos análogos que son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado humano con fermentación parcial o completa en el intestino grueso” (American Assosiation of Cereal Chemist, 2001).

En 2005 el Instituto de Medicina de Estados Unidos propone la definición de *fibra total*, la cual es el conjunto de la fibra dietética y la fibra funcional, siendo definidas respectivamente así: “suma de carbohidratos no digeribles y lignina que son intrínsecos y están presentes intactos en los vegetales” y “la suma de los carbohidratos no digeribles aislados, que tienen efectos fisiológicos beneficiosos en los humanos” (Institute of Medicine, 2005). Actualmente se continua con este lineamiento.

### ***Clasificación De La Fibra Total***

La fibra total se puede clasificar según dos de sus propiedades, según su fermentabilidad y según su solubilidad, categorizándolas así en fibras fermentables y no fermentables y, fibras insolubles y solubles.

**Fibras Fermentables Y No Fermentables.** Esta clasificación se caracteriza por la capacidad de la fibra de llegar directamente al intestino grueso sin cambios en su estructura, donde, las bacterias intestinales la procesan con apoyo de sus enzimas dependiendo del tipo de fibra y su naturaleza. Es este proceso, se transforma en hexosas, pentosas y alcoholes que funcionan de sustrato a las colonias de bacterias que las degradan a hidrógeno, metano, ácido láctico, ácidos grasos de cadena corta y dióxido de carbono (Institute of Medicine, 2005). En la tabla 1 se consigna el grado de fermentación de los distintos tipos de fibras.

Tabla 1. Tipos de fibra dietética según su grado de fermentación

<b>Grado de fermentación</b>	<b>Tipo de Fibra</b>	<b>Ejemplos</b>
<b>&lt; 10%</b>	Fibras no fermentables	Lignina
<b>10 – 70%</b>	Fibras parcialmente fermentables	Celulosa, almidón resistente, mucílagos
<b>&gt; 70%</b>	Fibras fermentables	Pectinas, gomas, inulina, mucílagos, betaglucanos, FOS

*Nota.* Adaptado de (Zurdo-Seijas, 2015, p. 15)

La fermentación de la fibra inicia desde la válvula ileocecal a partir de los sustratos rápidamente fermentables y conforme se avanza hacia el colon distal se continua con los sustratos de lenta fermentación.

**Fibras Insolubles y Fibras Solubles.** La afinidad con el agua de los distintos tipos de fibra depende directamente de sus grupos hidroxilo, carboxilo y su estructura tridimensional. Las fibras insolubles por un lado tienen baja capacidad de formar soluciones viscosas ya que no tienen una estructura capaz de retener agua, mientras que la fibra soluble al interactuar con el agua forma un retículo donde la fibra queda atrapada generando soluciones de alta viscosidad (Alanís-García et al., 2021; Surichaqui Piuca, 2020). En la tabla 2 se presenta la respectiva clasificación.

Tabla 2. Tipos de fibra según su solubilidad en agua

Soluble	Insoluble
Pectinas, gomas, mucílagos, hemicelulosas, polisacáridos procedentes de algas, almidón resistente, betaglucanos, polidextrosa, oligosacáridos no digeribles, inulina	Celulosa, hemicelulosa, lignina

*Nota.* Adaptado de (Zurdo-Seijas, 2015, p. 14)

### ***Propiedades Físicoquímicas De La Fibra***

Las propiedades fisicoquímicas son: capacidad de hidratación, capacidad de adsorción de moléculas orgánicas (como aceite, glucosa, sales biliares), capacidad de intercambio catiónico y, fermentabilidad (Alanís-García et al., 2021; Chu et al., 2019; Chumo Chávez & Rodríguez Gia, 2016; Ibrahim & Menkovska, 2022). Estas propiedades determinan en gran parte los efectos fisiológicos y bioquímicos de esta.

**Capacidad De Hidratación.** La fibra con afinidad al agua es capaz de formar un retículo de alta viscosidad, el cual realiza el atrapamiento de diferentes sustancias en su interior, entre las cuales destacan azúcares y grasas, y a su vez evitando el contacto con sales

biliares, generando una modificación en el metabolismo de lípidos, disminución de lipoproteínas formadoras de placas, reducción del colesterol y disminución de glucosa postprandial. En diversas investigaciones se ha reportado que la capacidad de hidratación se asocia con el potencial anticarcinógeno dado el potencial de atrapar sustancias tóxicas que ingresan al organismo y a su vez favorece su eliminación a través de las heces (Vilcanqui Pérez & Vilchez Perales, 2017). Esta propiedad se afecta por el tamaño de partícula, pH y la fuerza iónica. Suele ser expresada en capacidad de absorción de agua, capacidad de retención de agua y capacidad de hinchamiento, propiedades físicas que suministran información de sus aplicaciones tecnológicas, funcionales y nutricionales; por ejemplo, en productos horneados, otorga un efecto de frescura y suavidad en productos horneados (Chumo Chávez & Rodríguez Gia, 2016; Vilcanqui Pérez & Vilchez Perales, 2017).

**Capacidad De Adsorción De Moléculas Orgánicas.** Algunos compuestos de la fibra tal como las sustancias pécticas, tienen la capacidad de formar puentes de hidrógeno, los ácidos urónicos y compuestos fenólicos presentes en la fibra y confieren la capacidad de unirse químicamente a moléculas orgánicas a través interacciones hidrofóbicas (Mongeau & Brooks, 2016), permitiendo la adherencia en la superficie de colesterol y sales biliares en el organismo (Ibrahim & Menkovska, 2022; Vilcanqui Pérez & Vilchez Perales, 2017). En la elaboración de productos alimenticios, se relaciona con la capacidad de estabilizar y formar emulsiones que interaccionan de manera favorable en medios con alto contenido de grasas. Esta propiedad se puede expresar según la capacidad de retención de aceite, teniendo una mayor capacidad de adsorción las fibras insolubles frente a las solubles (Chumo Chávez & Rodríguez Gia, 2016).

**Capacidad de Intercambio Catiónico.** Esta propiedad está ligada a la presencia de ácidos urónicos en forma no esterificada, y se relaciona con la capacidad de la fibra dietaria para captar iones del medio, buscando lograr un equilibrio electrostático. Este equilibrio depende de la cantidad de sitios de unión disponibles para los iones en el entorno donde se encuentra suspendida la fibra (Cui et al., 2019; Mongeau & Brooks, 2016). Existen estudios que indican que esta característica de la fibra dietaria puede provocar deficiencias de minerales como hierro, calcio y zinc en individuos que consumen dietas altas en fibra. Sin embargo, el consumo de minerales en las dietas norteamericanas excede considerablemente el potencial de captación de iones de la fibra sin presentar deficiencias en su población en general, por lo que algunos autores expresan que no es necesario preocuparse por este aspecto (Mongeau & Brooks, 2016); aunque si eventualmente puede ser necesario su monitoreo, en manejo nutricional a nivel individual con dietas altas en fibra, en niños para limitar el riesgo en nutrientes críticos.

**Fermentabilidad.** La mayoría de las fibras permanecen sin alteraciones hasta llegar al intestino grueso, en donde dependiendo de su fuente, tendrán un grado de fermentabilidad diferente (Tabla 1), el cual puede variar según componentes específicos de la matriz, adaptación bacteriana, fuentes de nitrógeno y tiempo de tránsito intestinal (Mongeau & Brooks, 2016). Alimentos con alto contenido de pectinas (como cáscaras de frutas y tejidos de algunos vegetales), tubérculos y plátanos con alto contenido de almidón resistente, tienen una fermentación completa, y se asocian a un mayor incremento de volumen fecal dada a su lenta fermentación (Vilcanqui Pérez & Vilchez Perales, 2017). La fermentación produce en el organismo ácidos grasos de cadena corta (AGCC) tales como el butirato, propionato y

acetato, los cuales aportan al colonocito de 1 a 2.5 kcal/g (Alanís-García et al., 2021), y además se encuentran involucrados en la promoción e inhibición de hormonas responsables de la estimulación de saciedad y apetito, las cuales serán retomadas más adelante (Vilcanqui Pérez & Vilchez Perales, 2017; Zurdo-Seijas, 2015).

### ***La fibra como alimento funcional***

Antes de hablar de la fibra y su papel en la elaboración de alimentos funcionales, es necesario definir el término de “alimento funcional”. Este se define como aquel producto alimenticio que aporta, además de su valor nutritivo, efectos añadidos y benéficos en salud y reduce el riesgo de contraer ciertas enfermedades (Beltrán de Heredia, 2016; Chumo Chávez & Rodríguez Gia, 2016). Estos alimentos pueden ser naturales, o alimentos a los cuales se ha modificado algún componente en forma de adición o eliminación para mejorar biodisponibilidad del compuesto funcional. El objetivo de los alimentos funcionales va encaminado a mejorar la salud de la población enfocándose en: Regulación de metabolismo, defensa ante el estrés oxidativo, mejora del sistema cardiovascular y, ejerce importantes efectos sobre el tracto gastrointestinal (Beltrán de Heredia, 2016). Spence (2006) propone que el desarrollo de alimentos funcionales se encuentra limitado a la imaginación del grupo de trabajo que interviene en la formulación y elaboración del producto. En la tabla 3 se relaciona la clasificación de alimentos funcionales según diversos autores.

Ahora bien, retomando la temática de la fibra y su efecto como ingrediente funcional, diversas investigaciones han demostrado efectos variables de la fibra en relación con la salud en modelo animal y humano. Estudios en animales han mostrado efectos biológicos del

Tabla 3. Tipos de alimentos funcionales

<b>Tipo de alimento funcional</b>	<b>Descripción</b>	<b>Ejemplo</b>
<b>Productos fortificados</b>	Incrementar el contenido existente de nutrientes	Jugos fortificados con vitaminas, harina de trigo fortificada
<b>Productos enriquecidos</b>	Adición de nutrientes que no son nativos del alimento	Adición de prebióticos o probióticos
<b>Productos Modificados</b>	Reemplazo de componentes existentes por componentes benéficos	Uso de alto contenido de fibra como sustitutos de grasas
<b>Productos mejorados</b>	Cambios desde la producción del producto que cambia la composición final	Huevos con alto contenido de omega 3, maíz con alto contenido de lisina

*Nota:* Adaptado de (Chiriví Barrera & Perdomo Reyes, 2009; Guiné et al., 2020; Spence, 2006)

aporte de fibra dietaria y funcional. Por ejemplo, Jung Kim y colaboradores (2007) observaron el efecto del consumo de arroz blanco, arroz integral, arroz negro, y mezclas en el perfil lipídico, velocidad de tránsito intestinal e histopatología de arteria aorta en ratas, encontrándose que el consumo con mayor contenido de fibra (arroz negro y arroz integral) y antioxidantes ocasionaron un menor tiempo de tránsito intestinal, además de poseer propiedades anti aterogénicas disminuyendo lípidos en plasma y disminuyendo grosor de la pared aortica; por otro lado Jung Kim y colaboradores (2012) evaluaron el efecto del arroz blanco (muestra control), adlay, trigo sarraceno y cebada glutinosa en ratas obesas, encontrado que el grupo que consumió cebada glutinosa, la cual presentaba mayor contenido de fibra soluble, obtuvo una mayor velocidad de tránsito intestinal, así como materia fecal con mayor peso y una ganancia en peso del animal menor que los otros grupos; Ha y colaboradores (2012) experimentaron con ratas Sprague-Dawley el efecto del almidón resistente del arroz en su velocidad de tránsito intestinal, dividiendo en dos grupos de

estudio, el grupo control uno consumió arroz blanco cocido mientras que el experimental consumió arroz retrogradado por medio de 3 recalentamientos, se obtuvo que el peso tanto del animal del grupo experimental como de su hígado, concentración de colesterol en sangre y su velocidad de tránsito intestinal al finalizar el experimento fue menor frente al grupo control, mientras que el peso de su materia fecal fue mayor; Xu y colaboradores (2012) destacaron el efecto de consumo de semilla de lino parcialmente desgrasada en cuanto su efecto laxativo en la velocidad de tránsito intestinal, donde se obtuvo que a mayor contenido de fibra, menor estancia gástrica e intestinal, y mayor sería el peso de la deposición de la rata.

Entre los estudios realizados en el ser humano se encuentran los que asocian la relación de ingesta de fibra y saciedad, basados en la liberación del péptido similar al glucagón 1 (GLP – 1) al llegar los nutrientes con la fibra al intestino delgado proximal, el cual disminuye el apetito junto a la secreción de glucagón, mejora la sensibilidad a la insulina y retrasa el vaciamiento gástrico, afectando de manera positiva en el caso del control de peso y obesidad (Gan et al., 2021; Ibrahim & Menkovska, 2022; O’Grady et al., 2019). Adicionalmente, debido a sus propiedades fisicoquímicas asociadas a la formación de una red viscosa, el acceso de las enzimas digestivas se dificulta, lo que evita la absorción de azúcares. Aunado a esto, la capacidad de la fibra para adherir aceite a su superficie y el intercambio catiónico que se genera le permiten atrapar colesterol, sales biliares y algunos iones en su estructura. Esto reduce la absorción de estos compuestos por el organismo, regulando así los niveles de colesterol en sangre. Como resultado, se minimiza el riesgo de eventos cardiovasculares y diabetes, tal como se expresa en los estudios realizados con ratas

presentados previamente. (Ibrahim & Menkovska, 2022; Vilcanqui Pérez & Vilchez Perales, 2017).

La fermentación de la fibra a nivel del intestino grueso por parte del microbiota intestinal permite la formación de ácidos grasos de cadena corta (AGCC), los cuales proveen de energía al huésped, además de ejercer un papel inmunorregulador y de señalización intestinal-cerebral. Los compuestos que se producen principalmente son acetato, propionato y butirato. El butirato y propionato se reconocen por ser compuestos inhibidores de histona-desacetilasas, los cuales se encargan de ejecutar efectos antiinflamatorios e inmunes a través la supresión de las respuestas proinflamatorias de los macrófagos y la diferenciación de las células dendríticas de las células madre de la médula ósea, así como la regulación de la expresión de citoquinas en las células T y la generación de células T reguladoras (Abreu y Abreu et al., 2021; Cui et al., 2019; Ibrahim & Menkovska, 2022; O'Grady et al., 2019; M. Wang et al., 2019). Otros efectos del sistema inmune ocurren vía señalización del receptor acoplado a la proteína G, en donde se incrementa la generación de células T reguladoras, interleucina (IL) 10 e IL-18, a partir de las células epiteliales del intestino, lo cual atenúa la respuesta inflamatoria del sistema mucoso del intestino promoviendo a su vez la integridad de barrera (O'Grady et al., 2019). Estudios como el realizado por Birkeland y colaboradores (2020), comparó el efecto de fructanos tipo inulina en la composición de la materia fecal en personas con condición de diabetes mellitus tipo 2, en donde se encontró que una intervención de seis semanas con una inclusión de 16 gramos de fibra funcional en la dieta genera un incremento de los niveles fecales de bifidobacterias, ácidos grasos de cadena corta, ácido acético y propiónico, mientras que el butírico se mantenía estable en el tiempo; Kiewiet y colaboradores (2021), realizó la inclusión de 8 gramos de inulina en la alimentación de

adultos mayores (55 a 80 años de edad) en forma de polvo disuelto en té durante un tiempo de 63 días, y se realizó evaluación de materia fecal desde el día 7 antes a la intervención hasta el día 217, es decir 154 días después de la intervención, en donde se encontró que los participantes que consumieron el producto, presentaron una mayor población en bacterias del género *Bifidobacterium*, sin embargo, no se presentó un incremento en AGCC. De esta misma manera, en diferentes estudios se encontró que la inclusión de diferentes fibras funcional en la alimentación genera un cambio del microbioma, dando un incremento del género *Bifidobacterium* (Healey et al., 2018; Reimer et al., 2020; van der Beek et al., 2018).

El efecto del consumo de la fibra en la velocidad de tránsito intestinal también ha sido una propiedad funcional bastante estudiada en los últimos tiempos. Diferentes estudios de metaanálisis han sido realizados en los últimos años, encontrándose que la ingesta de estos carbohidratos no digeribles puede generar cambios en la consistencia de la deposición, siendo esta evaluada con escala de Bristol; la frecuencia de las deposiciones se vio incrementada con el consumo de fructanos tanto en población adulta sana como en población con estreñimiento crónico (de Vries et al., 2019; Nagy et al., 2022; van der Schoot et al., 2023), de los cuales, Van der Schoot y colaboradores (2023), observaron que el tiempo de tránsito intestinal evaluado por medio de gammagrafía, y con intervenciones de duración superior a cuatro semanas generaba un cambio de tránsito intestinal de -18.4 horas ( $p=0.006$ ) con un intervalo de confianza entre -31.5 a -5.4 horas.

Frente a estudios de corta duración, Scarpellini y colaboradores (2018) evaluaron el efecto del consumo de una única muestra de fibras funcionales en una población adulta sana, encontrando que al suministrar una única muestra con incorporación igual o menor a 10 gramos de fibra dietaria no genera cambios importantes en el vaciamiento gástrico en el

tiempo de tránsito intestinal. Por otro lado, da Silva y colaboradores (2022), evaluaron el consumo de dosis únicas de 20 gramos de fructooligosacáricos y goma guar parcialmente hidrolizada en adultos sanos, encontrando que se ocasionaba un incremento en la velocidad de vaciamiento gástrico e intestinal sin afectar niveles de saciedad u hormonas intestinales.

En estudios prolongados llevados a cabo en adultos sanos, con duración mayor a una semana, se evidenció que el número de movimientos del intestino por día tuvo incremento con una eficacia del 60% con la adición de 10 gramos de fibra por día mientras que al incrementar la dosis a 18 gramos la eficacia incrementó a 90% (de Vries et al., 2019). Riso y colaboradores (2023) evaluaron el efecto de 16.2 gramos de polidextrosa en un periodo de intervención de 4 semanas en adultos sanos, evaluando el tiempo de tránsito colónico por medio de gammagrafía con medio de contraste, concluyendo una disminución en el tiempo de tránsito de 4 horas. Stachowska y su equipo de trabajo (2022), realizaron un estudio en población adulta sana y sedentaria, quienes presentaban 0.28 movimientos intestinales previa a la intervención de 13.9 y 9.99 gramos de fibra; posterior a ingesta de 14 días incrementaron a 0.872 movimientos por semana. Sin embargo, el consumo de fibra soluble no es únicamente para el incremento del tránsito intestinal, dado su capacidad de retención de agua, su capacidad de fermentación y formación de ácidos grasos de cadena corta, se facilita la absorción de sodio a nivel intestinal, permite ser un potencial tratamiento en enfermedades como la diarrea (Qi & Tester, 2019). Lo anterior nos muestra que la suplementación de fibra puede ser una opción viable para las personas quienes padecen de estreñimiento crónico ya que, dada la capacidad de retención de agua de la fibra, se incrementa el volumen fecal, la propulsión intestinal y por lo anterior se ocasiona un incremento en el tránsito intestinal. El incremento del tamaño del bolo por la presencia de

fibra es ocasionado por la retención de líquido y el aumento de la densidad bacteriana dada la capacidad de fermentación de la fibra (Abreu y Abreu et al., 2021; Mysonhimer & Holscher, 2022). Además, el consumo habitual de fibra total se asocia a la disminución de aparición de cáncer colorrectal, hígado y de páncreas, ya que, se puede reducir la exposición intestinal a carcinogénicos, diluyendo sus niveles en heces y con la disminución del tránsito intestinal (Abreu y Abreu et al., 2021; Cui et al., 2019; Fu et al., 2022). Retomando la producción de AGCC a nivel intestinal puede generar un microambiente la cual posee efectos supresores de tumores (Cui et al., 2019). Este efecto no se asocia únicamente al cáncer, sino a enfermedades intestinales inflamatorias, las cuales llevan a incremento de la permeabilidad intestinal y translocación de endotoxinas (Abreu y Abreu et al., 2021; Cui et al., 2019; Gill et al., 2021; O'Grady et al., 2019).

Los estudios tanto en animales como en humanos asociados al tránsito intestinal actualmente hacen uso de tecnologías con imágenes y medios de contraste para observar el movimiento paso a paso en el tracto gastrointestinal; evidenciándose estudios en humanos como el de Müller y colaboradores (2020), da Silva y colaboradores (2022), sin embargo, por lo altos costos que estos estudios representan, los estudios enfocados a evaluar la motilidad han disminuido de manera significativa en los últimos años. El uso de colorantes de grado alimenticio en los productos a suministrar es una estrategia viable para minimizar los costos del proceso dado los bajos efectos secundarios asociados a su consumo. Un estudio reciente que hace uso de esta metodología es el de Asnicar y colaboradores (2021), en el cual se hace uso de colorante azul brillante en un muffin, evaluando de manera efectiva el tiempo de tránsito total en población humana sana, el cual entre sus conclusiones resalta los beneficios en cuanto a costo/beneficio de metodologías de menor costo, con resultados

replicables para evaluar la función del tracto gastrointestinal de la población a gran escala en investigaciones relacionadas en dieta – microbioma y salud.

### ***Aplicación de la fibra funcional en el desarrollo de productos alimenticios***

Ahora bien, actualmente en el desarrollo de productos funcionales con inclusión de fibra se ha encontrado diversos campos de aplicación y de gran variedad, siendo orientados hacia alimentos con adición de fibra listos para el consumo humano, así como para desarrollo de películas protectoras de alimentos entre otros usos. Entre los diferentes usos de aplicación en otros campos, Mahboobed y colaboradores (2019) realizaron un proceso de conjugación de curcuminas y dextranos por medio de reacción de inserción de radicales libres, donde el producto final poseía un buen poder antioxidante y antimicrobiano, superior al de la curcumina por si sola, además de poseer potencial uso en aplicación como compuesto antitumoral a nivel de células gástricas; los autores indican que en la industria de alimentos es un producto viable para prolongar vida útil de alimentos dado que es un compuesto soluble (fácil incorporación) eficiente, de bajo costo, y estable. En el campo específico de alimentos en los últimos años se han desarrollado bebidas listas para servir como jugos de amla o grosella espinosa india fortificada con fibra residual del procesamiento del mismo fruto, elaborando un producto con adición del 0,5% de fibra funcional, buena aceptabilidad y con una estimación de vida útil de 45 días (Surya et al., 2020); té soluble listo para servir reducido en azúcares y con un contenido de fibra de 0,6 gramos por porción con una buena aceptabilidad por un grupo de panelistas no entrenados y una vida útil de un mes (Pal et al., 2020); o bebidas simbióticas como en el desarrollo de una bebida funcional a base de agua de coco (Segura-Badilla et al., 2020), en la cual se realizó un producto con mezcla de inulina

y *Lactobacillus rhamnosus* SP1, producto con una buena aceptación general por parte del grupo evaluador no entrenado (Aceptación general de  $3,7 \pm 0,4$ ) y con una vida útil de 14 días siendo principalmente afectado por los cambios sensoriales en el almacenamiento, el contenido de UFC en el tiempo final de almacenamiento fue de  $82 \times 10^8$  UFC al final del almacenamiento, sin embargo no se realizó prueba en vivo. Para productos sólidos, usualmente se hace incorporación de fibra en productos de panadería, como los ya mencionados en los antecedentes, o como en el proceso de investigación llevado a cabo por Annel y colaboradores (2022), en el cual se trabajó con el microorganismo *Weissella cibaria* tanto padre como mutada, para producir riboflavina y dextranos en el proceso de fermentación en una masa de pan de molde, para poder generar un incremento tanto de vitaminas como de fibra en el producto terminado. En este proceso se confirma hipótesis permitiendo incorporar este microorganismo para el desarrollo de alimentos funcionales. En el caso de aplicación como film o película protectora de alimentos, Lazic y colaboradores (2020) añadieron partículas de plata a una matriz de dextrano protectora de alimentos la cual tenía propiedades de barrera con supresión del paso de oxígeno, antibacterial por lo menos durante tres semanas y biodegradable, siendo un potencial empaque que puede entrar en contacto con el alimento y prolongar su vida útil. Otras aplicaciones encontradas en la literatura son la inclusión de fibra en las matrices alimentarias de usual consumo para facilitar e incrementar su consumo en la población, Queiroz y colaboradores (2022) realizaron una cocrystalización de sacarosa – fibra soluble (maltodextrina resistente), el cual fue un producto con inclusión del 30% de fibra, viable para reducción de azúcar en productos de confitería, productos de panadería y bebidas en polvo para reconstituir en frío o caliente.

En resumen, un consumo habitual de fibra total ha demostrado tener un impacto positivo en la salud de las personas que le consumen. Entre estos beneficios se destaca *grosso modo* la mejora de la microbiota intestinal, disminución de la glucosa en sangre, disminución de la probabilidad de obesidad y enfermedad cardiovascular, reducción del riesgo de algunos tipos de cáncer, incremento del volumen fecal, promoción del peristaltismo gástrico, disminución del tránsito intestinal, entre otros (Gan et al., 2021; Ibrahim & Menkovska, 2022).

### ***Normatividad alrededor de la fibra total***

La Organización Mundial de la Salud, en conjunto con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura definieron en el Codex Alimentario desde el año 2004 a la fibra dietaria: “naturalmente en los alimentos, no digerible, compuesta por polímeros de carbohidratos con un grado de polimerización (DP por sus siglas en inglés) no menor a 3, polímeros de carbohidratos ( $DP \geq 3$ ) obtenidos de alimentos crudos por medios físicos, enzimáticos o químicos, y polímeros de carbohidratos sintéticos ( $DP \geq 3$ ); los cuales no sean digeridos o absorbidos por el intestino delgado”. Adicionalmente debe tener alguna de las siguientes propiedades: incrementar el volumen fecal, estimular la fermentación colónica, reducir los niveles de colesterol total y/o de su fracción LDL y, reducción de glucosa post-prandial y/o niveles de insulina (FAO & WHO, 2004).

Estados Unidos adopta la definición a partir del Codex Alimentario en 2009, siendo la fibra dietaria los carbohidratos no digeribles y la lignina intrínseca e intacta en plantas; y los carbohidratos no digeribles añadidos ya sean aislados o sintéticos que han sido determinados por la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA por sus siglas en

inglés) por sus efectos fisiológicos. Frente a las declaraciones nutricionales que pueden contener los alimentos con alto contenido de fibra, el cual se asocia directamente al porcentaje de aporte de fibra de los alimentos por porción, se clasifican así: 10 al 19% del valor diario de fibra por porción considerados alimentos “buena fuente”, mayor al 20% “altos” o “excelente fuente” de fibra (Food Labeling: Revision of the Nutrition and Supplement Facts Labels, 2014).

Europa, a partir de la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA por sus siglas en inglés), también acoge la definición de fibra del Codex alimentario. Propone que los alimentos en los cuales se puede realizar declaración nutricional de “fuente de fibra” deben estar constituido al menos 3g/100 g de alimento o 1.5g/100 kcal de alimento; de igual manera para tener la declaración de “producto alto en fibra” debe incluir al menos 6g/100 g o 3 g/100 kcal (European Food Safety Authority, 2010).

En Colombia, la Resolución 810 de 2021, *“por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos de etiquetado nutricional y frontal que deben cumplir los alimentos envasados para el consumo humano”*, define la fibra dietaria como los carbohidratos comestibles no que no se digieren ni se absorben en el intestino delgado y que se encuentran naturalmente en los alimentos en la forma que se consumen, así como carbohidratos obtenidos de materia prima alimentaria por medios físicos o químicos y carbohidratos sintéticos. En cuanto a las declaraciones nutricionales esta norma indica que, para que un alimento con fibra declare que es “buena fuente de fibra” debe incluir 3 gramos por cada 100 gramos o mililitro de alimento, o 10% del valor diario (2.8 gramos), de igual manera para “excelente fuente de fibra” debe incluir 6 gramos por cada 100 gramos o

mililitro de alimento, o 20% del valor diario (5.6 gramos) (Ministerio de salud y proteccion social, 2021).

### ***Recomendación De Ingesta***

En la Resolución 3803 de 2016, expedida por el Ministerio de Salud y Protección Social, documento “*por la cual se establecen las Recomendaciones de Ingesta de Energía y Nutrientes – RIEN para la población colombiana*”, se establecen las recomendación de ingesta adecuada de fibra total para la población colombiana, para los diferentes grupos de edad a partir del primer año de vida (Resolución 3803, 2016). En la tabla 4 se encuentra el resumen de recomendación de ingesta adecuada de fibra dietaria, cuyo valor surgió dada la evidencia que sugería que los efectos benéficos asociados a su consumo se encuentran fuertemente ligados al monto de alimentos ingeridos, independientemente del peso o la edad del individuo, cuya base corresponde a 14 gramos de fibra por cada 1000 kcal (Institute of Medicine, 2005; Resolución 3803, 2016). Los efectos benéficos de su consumo se encuentran asociados a la disminución en la aparición de enfermedades crónicas no transmisibles, tales como diabetes mellitus tipo 2, hipertensión arterial, sobrepeso y obesidad, las cuales se encuentran principalmente asociadas a la aparición de enfermedades cardiovasculares e inciden de forma directa en las causas de mortalidad de Colombia (Ministerio de Salud y Protección Social, 2016)

Tabla 4. Recomendaciones de ingesta de fibra para la población colombiana

<b>Grupo de edad</b>	<b>Ingesta adecuada (g/día)</b>	
	<b>Hombre</b>	<b>Mujer</b>
<b>0 – 6 meses</b>	ND	ND
<b>7 – 12 meses</b>	ND	ND
<b>1 – 3 años</b>	19	19

Grupo de edad	Ingesta adecuada (g/día)	
	Hombre	Mujer
4 – 8 años	25	25
9 – 13 años	31	26
14 – 18 años	38	26
19 – 30 años	38	25
31 – 50 años	38	25
51 – 70 años	30	21
Mayor de 70 años	30	21
Gestante ≤ 18 años	-	28
Gestante 19 – 50 años	-	28
Lactancia ≤ 18 años	-	29
Lactancia 19 – 50 años	-	29

*Nota:* ND: No determinado. Tomado y adaptado de la Resolución 3803 de 2016 (Resolución 3803, 2016)

### ***Consumo en Colombia***

En la Encuesta Nacional de Situación Nutricional en Colombia (ENSIN) 2015, se estableció la prevalencia, que se refiere al porcentaje de personas que han consumido algún alimento fuente de fibra; y la frecuencia, que indica la cantidad de veces que se consumió este alimento en el día. En la tabla 5 se resume la prevalencia de consumo y la frecuencia de consumo diario de los diferentes alimentos fuentes de fibra reportados por la Encuesta – ENSIN 2015. En este contexto, se destaca que los alimentos incluidos en los grupos de frutas, verduras y leguminosas muestran una prevalencia de consumo superior al 66.4%, siendo las verduras cocidas las que menos se consumen y las leguminosas las que más. Sin embargo, la frecuencia de consumo de estos alimentos es menor a una vez al día, lo que sugiere que, en promedio, se consumen aproximadamente cada día de por medio. Esta situación puede implicar un bajo consumo de fibra dietaria en todos los grupos etarios, con los niños de 0 a 4 años y las gestantes siendo los menos afectados en términos de consumo de alimentos

fuelle de fibra. (Instituto Colombiano de Bienestar Familiar & Instituto Nacional de Salud, 2019). En menor medida, se reporta el consumo de cereales integrales en las distintas regiones de Colombia, donde se observó un promedio de consumo equivalente a tres veces al mes, lo que se traduce en aproximadamente 0.1 veces al día para todos los grupos estudiados. Además, se destaca que el consumo de cereales integrales tiende a ser mayor a medida que aumenta la edad de la persona.

Lo anterior resalta una cifra preocupante respecto a la ingesta de alimentos fuente de fibra en la población colombiana. A pesar de que la prevalencia de consumo de frutas, verduras y leguminosas es relativamente alta, la frecuencia de dicho consumo es alarmantemente baja, promediando menos de una vez al día. Esto sugiere que muchos individuos no están incorporando estos alimentos en su dieta diaria de manera adecuada, lo que podría conducir a un insuficiente aporte de fibra dietaria. Asimismo, el consumo de cereales integrales es aún más preocupante, con un promedio de solo tres veces al mes. Es interesante notar que, tanto en el caso de los cereales como de los otros grupos de alimentos, el consumo tiende a aumentar con la edad, lo que podría indicar una falta de educación nutricional en los grupos más jóvenes. Lo anterior resalta la necesidad de implementar intervenciones para mejorar la dieta de toda la población, enfocándose en la incorporación de nuevas alternativas de consumo de fibra, tanto dietaria como funcional, con el fin de contribuir a disminuir el riesgo de aparición de diversas enfermedades asociadas a un déficit en el consumo de fibra.

Tabla 5. Prevalencia y frecuencia de consumo de alimentos fuentes de fibra dietaria en Colombia

Grupo de edad	Verduras				Frutas				Alimentos integrales		Leguminosas	
	Crudas		Cocidas		Enteras		Jugo		PC (%)	FC	PC (%)	FC
	PC (%)	FC	PC (%)	FC	PC (%)	FC	PC (%)	FC				
<b>3 - 4 años</b>	64,5	0,4	68,8	0,4	88,3	0,8	91,3	1,2	11,9	0,1	94,8	0,5
<b>5 - 12 años</b>	69,9	0,4	65,3	0,3	85,4	0,6	89,8	1,1	15,4	0,1	94,9	0,4
<b>13 - 17 años</b>	73,2	0,4	59,0	0,3	82,3	0,5	89,2	1,0	23,6	0,1	95,2	0,5
<b>18-64 años</b>	80,3	0,5	72,4	0,4	75,9	0,5	89,3	1,0	24,2	0,1	93,9	0,4
<b>Gestantes</b>	79,7	0,5	66,4	0,4	85,4	0,9	87,3	1,1	20,7	0,1	95,1	0,4
<b>Media</b>	73,5	0,4	66,4	0,4	83,5	0,7	89,4	1,1	19,2	0,1	94,8	0,4

Nota: PC: Prevalencia de consumo, FC Frecuencia de consumo (veces/día). Adaptado de ENSIN 2015 (Instituto Colombiano de Bienestar

Familiar et al., 2019)

### *Antecedentes*

Producto del trabajo de investigación del Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional de Colombia (IBUN), se aisló y caracterizó la cepa denominada *Leuconostoc mesenteroides* cepa IBUN 91.2.98, la cual resaltó dada su alta producción de un glucano extracelular cuya única fuente de sustrato es la sacarosa. Este subproducto del tipo dextrano es producido por una enzima del tipo glucosiltransferasa, del tipo dextransacarasa EC 2.4.1.5, el cual tiene aplicabilidad en diferentes industrias como alimentaria, química y farmacéutica como agente viscosante y emulsificante, mejorador de textura de alimentos, fuente de fibra, prebiótico, inmunomodulador, disminución de colesterol en sangre, antitumoral, antidiabético, antioxidante, sustituto de plasma, transporte de medicamentos, extracción de petróleo, recolección de metales pesados, elaboración de explosivos, acondicionador de suelos, entre otros (Florez Guzman, 2014, p. 17; Flórez Guzmán et al., 2018, p. 14; Naessens et al., 2005, pp. 855–856; Riaz Rajoka et al., 2020, p. 38; Taylan et al., 2019, pp. 436–437).

Este dextrano producido en la Universidad Nacional de Colombia, por su naturaleza se permitía aplicar a diversos ámbitos. Su caracterización inicia en el 2009, en donde se realizan pruebas de comportamiento del dextrano en cuanto a concentración, adición de otros compuestos, temperatura, pH y medio de dispersión con el fin de determinar la matriz en la cual sería más viable su aplicación (Chiriví Barrera & Perdomo Reyes, 2009). Posteriormente se realiza la caracterización física del producto (solubilidad, humedad, estabilidad térmica, entre otros) (Avendaño Ayala, 2010), hasta su caracterización fisicoquímica en forma de fibra, siendo evaluadas propiedades como la dispersabilidad, capacidad de retención de agua, capacidad de retención de aceite, capacidad de hinchamiento

(Escobar Moreno, 2010), en donde se destacó que las matrices con menor humedad son más apropiadas para la adición del dextrano. Un punto crucial entre la incorporación y aplicación del dextrano en humanos se basó en sus ensayos preliminares aplicados en ratones por Chiriví y Perdomo (2009), quienes recopilaron los resultados de pruebas de tránsito intestinal, glucosa sanguínea, colesterol y triglicéridos sanguíneos, y su incorporación en pellets de alimentación animal, ya que estos resultados sirvieron de línea de base para los estudios posteriores realizados por Escobar (2012), Garay Quintero (2017) y Garay Moreno (2017), en donde se evaluó la inclusión en productos de panadería de diversa naturaleza determinando cambios en textura del producto elaborado, y caracterización de las masas en donde se aplicaba, evaluando propiedades físicas, así como el efecto en el organismo de personas sanas al utilizarlo como sustituto como harina o grasa sobre la respuesta glicémica y el perfil lipídico, presentando un menor índice glucémico al realizar sustitución desde el 10% y menores valores de colesterol LDL y total con sustituciones desde el 25% respectivamente. Finalmente, Zambrano (2020) encontró que la inclusión del 2% en kumis permite la viabilidad por 35 días de microorganismos probióticos, y que el consumo de 8 gramos al día del mismo mejora el microbioma colónico.

En 2014, Flórez Guzmán realizó por medio de mapeo peptídico la identificación del gen estructural de la proteína identificada como dextransacarasa DsrD, la cual es la responsable del proceso de la elaboración del dextrano en la cepa *Leuconostoc mesenteroides* IBUN 91.2.98 para posteriormente clonarla y expresarla en *Lactococcus lactis* MG1363 (Flórez Guzmán, 2014). Este biopolímero está conformado por unidades de glucosa unidas por enlaces  $\alpha$  1-6 del tipo dextrana, con un peso molecular de 850 KDa. Se forma por la transferencia de grupos glucosil provenientes de la fermentación de la sacarosa a un aceptor

de glucosa, obteniendo como subproducto fructosa libre (Escobar Moreno, 2012). En la tabla 6 se encuentra la composición química del dextrano. Actualmente se está llevando a cabo el proceso de clonación del gen en *Escherichia coli* con el objetivo de producir cadenas más cortas de dextrano, permitiendo así mejores características en los productos funcionales elaborados a partir del nuevo dextrano.

Tabla 6. Composición química del dextrano

<b>Componente</b>	<b>%</b>	<b>Método de análisis</b>
<b>Agua</b>	9.96	A.O.A.C. 932.12 Gravimetría
<b>Proteína</b>	1.42	A.O.A.C. 920.152 Kjeldahl
<b>Minerales</b>	1.51	A.O.A.C. 940.26
<b>Fibra Dietaria Total (FDT)</b>	86.17	A.O.A.C. 985.29
<b>Fibra Dietaria Insoluble (FDI)</b>	1.37	A.O.A.C. 1991.42
<b>Fibra Dietaria Soluble</b>	84.79	FDT-FDI = FDS

*Nota:* Tomado de (Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional de Colombia, Desarrollo de alimentos funcionales empleando un Biopolímero como fuente de fibra soluble, 2005)

## Capítulo 2: Metodología

### 2.1 Metodología General

Este trabajo se llevó a cabo en tres fases. La primera fue la caracterización fisicoquímica y del comportamiento del dextrano en matrices líquidas y sólidas a través de pruebas como: el índice de dispersabilidad, capacidad de hinchamiento, capacidad de retención de agua y de aceite. Posteriormente se realizó la aplicación en una matriz alimentaria, caracterizando su viscosidad en preparaciones líquidas y atributos de textura en sólidos. Las anteriores pruebas permitieron contrastar la información sobre el tema referenciado en trabajos previos.

La segunda fase, se centró en el desarrollo de un producto excelente fuente de fibra para su empleo en el ensayo biológico en humanos. Con la información obtenida en la primera etapa se procedió a la evaluación de diferentes matrices con base en productos de cereales-galletas y su comportamiento con niveles de adición del dextrano. Por medio de panel sensorial no entrenado, se seleccionó el vehículo más adecuado para estudiar efectos de velocidad de tránsito intestinal en un grupo de personas sanas.

En la tercera fase, se llevaron a cabo dos estudios biológicos en ratas y uno en humanos con el fin de evaluar su efecto en el tránsito intestinal parcial en roedores y total tanto en roedores como en humanos.

## 2.2 Materiales y Métodos

### *Materiales*

#### **Fibra de estudio.**

El compuesto de fibra de soluble a estudio es un polímero natural, desarrollado por el Instituto de Biotecnología – IBUN de la Universidad Nacional de Colombia. Este compuesto se obtiene por vía enzimática a partir de una cepa nativa modificada genéticamente, *Leuconostoc mesenteroides* cepa 91.2.98, y se encuentra catalogada como GRAS (Generally Recognized As Safe). Este compuesto se describe a mayor profundidad en la sección de antecedentes; en la tabla 6 se encuentra la composición química por 100 gramos de dextrano.

#### **Materias primas**

En el desarrollo de las diferentes matrices para evaluar el comportamiento del dextrano, se emplearon materias primas obtenidas en mercados locales: agua potable, leche de ganado vacuno entera, leche de ganado vacuno deslactosada, maracuyá, fresa, aceite de girasol, harina de trigo fortificada multipropósito, avena en hojuelas, avena en polvo, sal, margarina, azúcar morena, huevo, polvo de hornear, esencia de vainilla, entre otras.

### *Métodos*

#### **Caracterización fisicoquímica y del comportamiento del dextrano**

##### ***Índice De Dispersabilidad (DI)***

Con el objetivo de determinar la cantidad de fibra que se dispersa en un medio acuoso, se empleó el método de Leach, Mc Cowen y Schoch modificado por Escobar (2010), utilizando igualmente como medio dispersantes agua, leche de ganado vacuno entera, agua-leche (1:1), descremada (0% de grasa según proveedor), y suero lácteo. Haciendo uso de 0.5 g de dextrano por muestra previamente secados a 60°C por 15 horas, añadirlos a 10 ml de líquido de dispersión para agitar en un vortex a 2500 RPM, para así lograr humedecer el contenido. Posteriormente dejar reposar la dispersión durante 24 horas a 15.0±2.0°C. Luego del reposo someter a centrifugación por 15 minutos a 4800 RPM (Fuerza centrífuga relativa – RCF 2834). El sobrenadante se debe separar evitando agregar sedimento en una bandeja de aluminio para muestras, previamente pesada para realizar proceso de secado en termobalanza Ohaus® MB45 a 80°C hasta alcanzar peso constante, el cual determinará el peso del sobrenadante seco. Se hará uso de la siguiente ecuación para las muestras con agua:

$$DI = \frac{\text{Masa sobrenadante seco (g)}}{\text{Masa de biopolímero inicial adicionado (g)}} \times 100$$

En muestras con leche, se realizará corrección del contenido de sólidos lácteos así:

*DI en matrices líquidas lácteas*

$$= \left( \frac{\text{Masa Sobrenadante Seco (g)}}{(\text{Masa de la leche} * \% \text{sólidos lácteos}) + \text{Masa de biopolímero inicial adicionado (g)}} \right) \times 100$$

Los sólidos lácteos se obtuvieron a partir del proceso de secado de la muestra de leche entera, leche semidescremada y la mezcla de agua-leche (1:1), a 80°C hasta alcanzar peso constante en la termobalanza Ohaus® MB45.

***Capacidad De Hinchamiento***

La evaluación de la capacidad de hinchamiento, expresada como la cantidad de agua que puede absorber un gramo de fibra, fue calculada según el método modificado de Escobar (2010). Para ello, se utilizó un tubo de prueba cuyo peso es conocido con la adición de 0.5 gramos de dextrano sin hidratar (10% de humedad) en 10 ml de agua, al cual se le realizó agitación por 30 segundos cada 5 minutos durante media hora. Durante 24 horas se dio reposo a la dispersión para posteriormente centrifugar durante 15 minutos a 4800 RPM (2834 RCF), retirar el sobrenadante y obtener el peso de sedimento tanto hidratado como seco. El sedimento se obtiene de la separación previa del sobrenadante, colocándolo en una bandeja de aluminio para muestras, previamente pesada para realizar proceso de secado en termobalanza Ohaus® MB45 a 80°C hasta alcanzar peso constante, el cual determinará el peso del sedimento seco.

Se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$CH (\%) = \frac{\text{Masa de Sedimento hidratado (g)}}{\text{Masa de Sedimento seco (g)}} \times 100$$

### ***Capacidad de retención de agua (WHC)***

Para evaluar la capacidad de retención de agua se utilizó el método de Wang Lei y colaboradores (2015), y Wang Kunli y colaboradores (2021) con algunas modificaciones. Primero, a 0.5 g de dextrano, se añaden 10 ml de agua destilada, para posteriormente realizar agitación en vortex a 2500 RPM por 30 segundos cada 5 minutos durante media hora. La dispersión reposó durante 24 horas, para posteriormente ser centrifugada a durante 15

minutos a 4800 RPM (2834 RCF). Se retiró el sobrenadante, y se pesó el sedimento. La capacidad de retención de agua se determina con la siguiente ecuación:

$$WHC (\%) = \frac{Masa\ sedimento\ hidratado\ (g) - Masa\ biopolímero\ inicial(g)}{Masa\ de\ biopolímero\ inicial\ (g)} \times 100$$

### ***Capacidad de Retención de Aceite (OHC)***

Para evaluar la capacidad de retención de aceite se utilizó el método adaptado de diferentes investigadores (Garay Moreno, 2017; Garay Quintero, 2017; Liu et al., 2021; K. Wang et al., 2021). Primero, se añaden 10 ml de aceite a 0.5 g de muestra de dextrano en un tubo falcon, posteriormente se realiza agitación por medio de un vórtex a 2500 RPM durante 30 segundos cada 5 minutos durante media hora. Posteriormente se centrifuga a 4800 RPM (2834 RCF) durante 10 minutos, se retira el sobrenadante, y se pesa el sedimento. La capacidad de retención de aceite se determina con la siguiente ecuación:

$$OHC (\%) = \frac{Masa\ de\ sedimento\ (g) - Masa\ de\ biopolímero\ inicial(g)}{Masa\ de\ biopolímero\ inicial\ (g)} \times 100$$

### **Evaluación de matrices líquidas**

Para elegir la matriz alimentaria adecuada para trabajo, teniendo en cuenta investigaciones previas, para alimentos líquidos se realizó la caracterización de dos néctares de fruta ácida para evaluar el comportamiento del dextrano en líquidos, así como en diferentes productos de panadería (galleta de sal, galleta de avena, colación, muffin y

ponqué), evaluando el contenido máximo el cual puede incluirse sin afectar la calidad sensorial del producto.

En productos líquidos se evaluó comportamiento del pH con el potenciómetro HANA HI 2121 en los días 0 1 y 2 para néctar de maracuyá y fresa con incorporación de dextrano al 0, 1, 2, 3, 4, 5 y 6%; así como la viscosidad con el equipo HAAKE Viscotester 550, haciendo uso de la sonda MV-DIN para la evaluación de comportamiento de flujo de los néctares con adición de polímero al 0, 2, 4 y 6% en los días 0, 1 y 2, a las temperaturas de 11,5°C, 26,5°C y 51,5°C. Todas las muestras se almacenaron a temperatura de refrigeración (4°C) entre cada una de las mediciones para ambos casos. Las muestras que fueron sometidas a evaluación de viscosidad fueron descartadas posterior a análisis dada aplicación de temperaturas de 51.5°C

### **Desarrollo de producto alto en fibra**

Para la elaboración de matrices sólidas, se desarrollaron productos de panadería tipo Galletas y muffins a los cuales se les realizó una incorporación de 5, 10 y 15% del dextrano, y se evaluaron cambios asociados a la adición del polímero por medio de pruebas de análisis instrumental de textura y color; y pruebas sensoriales a panelistas no entrenados.

Para las pruebas de textura, se hizo uso del Texturómetro TX Plus (Stable Micro Systems, UK), con el cual se realizaron pruebas de perfil de análisis de textura (TPA por sus siglas en inglés) con una sonda P/75 (plato de compresión de 75 mm de diámetro) en dos ciclos de compresión simple con duración de 5 segundos, velocidad de 5 mm/segundo hasta una deformación del 50% y, pruebas de fracturabilidad o de ‘snap’ con una sonda HDP/3PB

(Sonda de flexión en 3 puntos) con la cual se realizó una prueba de compresión a una velocidad de 3 mm/seg donde el pico más alto es la fuerza requerida para romper el producto de panadería. Cada una de estas pruebas se realizó teniendo en cuenta la naturaleza del producto de panadería elaborado. Los parámetros de textura registrado por TPA fueron dureza, adhesividad, elasticidad, cohesividad, gomosidad, masticabilidad y resiliencia, mientras que en las pruebas de fracturabilidad se registró dureza.

Para las pruebas de color, se hizo uso del colorímetro Colorquest®XE (HunterLab), por medio de un recuadro de diafragma de 8 mm de diámetro con vidrio óptico. Se realizó evaluación de color de la superficie de los productos horneados, obteniendo la luminosidad – L\*, la cual determina la variación del color desde negro (0) y blanco (100); coordenada cromática a\* la cual varía desde verde (-) a rojo (+) y, b\* la cual varia de azul (-) a amarillo (+) (Filgueiras Rebelo de Matos et al., 2021). Se realizó la medición del color en la superficie de los productos por triplicado. Los datos obtenidos fueron procesados para la diferencia total de color ( $\Delta E^*$ ) con la siguiente ecuación:

$$\Delta E^* = \sqrt{((\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2)}$$

Siendo definidos  $\Delta L^*$  como el cambio de la luminosidad entre la muestra control y la muestra con inclusión del dextrano,  $\Delta a^*$  como el cambio de la coordenada cromática rojo – verde entre la muestra control y la muestra con inclusión del dextrano, y  $\Delta b^*$  como el cambio de la coordenada cromática azul – amarillo entre la muestra control y la muestra con inclusión del dextrano. Los valores de  $\Delta E^*$  son clasificados según Cui et al (2004), quien fue citado por Moreno et al. en cinco niveles de cambio según la percepción del ojo humano: I cuando la variación es de 0 – 1.5 el cambio de color se cataloga como no apreciable, II

cuando la variación es de 1.5 – 3 el cambio de color se cataloga como apenas apreciable, III cuando la variación es de 3 – 6 el cambio de color se cataloga como apreciable, IV cuando la variación es de 6 – 12 el cambio de color es muy notable y, V cuando el cambio de color es mayor a 12, el cambio de color es total.

### **Análisis sensorial**

Se realizó análisis sensorial de atributos físicos de los productos, así como la preferencia de los estos por parte de un panel no entrenado (n=100) con la finalidad de correlacionar los datos con los obtenidos en el análisis instrumental. Se realizó una prueba de análisis sensorial descriptiva, empleando una escala graduada para los productos de panadería. Las muestras codificadas fueron evaluadas por cada panelista quien registro su evaluación en el formato previamente diseñado. (Anexo 2). Se aplicó a panelistas no entrenados con rangos de edad entre 18 – 40 años.

De manera individual se evaluaron cinco productos de panadería (galleta de sal, galleta de avena, colación, muffin, ponqué), los cuales se codificaron y entregaron en orden aleatorio a los diferentes panelistas para minimizar el sesgo al momento de aplicación de la prueba. Para el análisis estadístico se empleó la tabla de frecuencias, herramienta estadística que organiza la información sobre la distribución de los datos mostrando las categorías de una variable. Se calculó frecuencia relativa

### **Ensayos biológicos. Evaluación de Tránsito Intestinal**

A partir de las consideraciones éticas (Ver anexo 3) y aprobación por parte de los comités de ética respectivos, se desarrolla el estudio del tránsito intestinal tanto para humanos como para roedores.

***Evaluación de tiempo de tránsito intestinal en humanos.***

La propuesta para evaluación de tránsito intestinal en humanos sanos fue aprobada por el comité de ética de la Facultad de medicina de la Universidad Nacional de Colombia – B.FM.1.002-CE-186-24. Este estudio fue llevado a cabo según la resolución 8430 de 1993, las buenas prácticas de laboratorio y el sistema institucional de gestión ambiental.

Para la selección de los participantes, los criterios de inclusión tenidos en cuenta fueron ausencia de patologías de base como hipertensión, diabetes mellitus, enfermedades del trato gastrointestinal, enfermedad renal, no consumo de medicamentos, suplementos o complementos dietéticos de manera regular, índice de masa corporal (IMC) entre 18,5 y 24,9 kg/m<sup>2</sup>, no consumo habitual de alcohol o cigarrillo, no realización de actividad física de forma vigorosa, con consumo de dieta normal, adecuada a sus necesidades nutricionales. A los participantes (n=25) se les realizó una sesión informativa, en donde les informó el cronograma a seguir (Tabla 7), y se les suministró el consentimiento informado (Anexo 4) donde definieron su intención de participar o no al ensayo biológico. Quienes realizaron la firma del consentimiento informado, procedieron a valoración nutricional (Anexo 5) y médica (Anexo 6) con el objetivo de evaluar el cumplimiento de los criterios de inclusión y exclusión previamente definidos establecer su inclusión como participantes del estudio.

Tabla 7. Cronograma de experimentación, modelo humano

---

<b>Semana</b>	<b>Procedimiento</b>
---------------	----------------------

---

-2	Búsqueda de participantes, firma de consentimiento, valoración médica y valoración nutricional
0	Evaluación de tiempo de tránsito intestinal total con producto sin inclusión del dextrano
1	Periodo de lavado
2	Evaluación de tiempo de tránsito intestinal total con producto con inclusión del dextrano

Fuente: Elaboración propia

Para la valoración antropométrica se realizó la toma de peso por medio de báscula digital (sensibilidad de 0,1 kg y capacidad máxima de 150 kg), toma de talla a través de un tallímetro fijo (sensibilidad de 0,1 cm); determinación de grasa corporal a través de bioimpedancia, toma de perímetro abdominal a través de cinta métrica según técnica aprobada por la OMS (Ardila & Hernández, 2006), cálculo de índice de masa corporal a través de la razón entre el peso en kilogramos y el cuadrado de la talla en metros. Los valores de referencia se categorizaron según lo establecido en la Resolución 2465 de 2016 (Ministerio de Salud y Protección Social, 2016). En la anamnesis, definida como exploración clínica de cada individuo, se realizó a partir de una encuesta validada en ensayos previos (Escobar Moreno, 2012; Garay Moreno, 2017; Garay Quintero, 2017), la cual se encuentra conformada por datos personales, consumo de sustancias potencialmente nocivas, actividad física, antecedentes personales y familiares, global recordatorio 24 horas y frecuencia de consumo de alimentos. El global recordatorio 24 horas sirvió de base para estimar la ingesta de energía y nutrientes a través de análisis químico indirecto haciendo uso de la Tabla de Composición de Alimentos Colombianos (TCAC 2018) (Instituto Colombiano de Bienestar Familiar, 2018). A partir de la frecuencia de consumo se identificó el número de porciones consumidas por los participantes en cada grupo de alimentos vigentes para Colombia y su periodicidad de ingesta. Adicionalmente se establecieron las recomendaciones de energía y

nutrientes para el grupo estudio con el fin de establecer su adecuación (Instituto colombiano de Bienestar Familiar ICBF & Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura FAO, 2020). Posterior a la valoración nutricional, se realizó la evaluación médica del estado de salud para su inclusión en el grupo de participantes.

Posterior a la elección de participantes que cumplieron con los criterios de inclusión, y por medio de ensayo clínico aleatorizado simple ciego, se suministró la muestra sin inclusión del dextrano, y posterior al tiempo de lavado, se suministraron las muestras con inclusión del dextrano. La muestra se determinó a partir de la caracterización y desarrollo de producto y se seleccionó aquella que permitió la mayor inclusión del dextrano y las mejores características sensoriales frente al producto control, que para este caso fue galleta de avena con incorporación del 15% del dextrano. En la 1era prueba de evaluación del tiempo de tránsito intestinal total se añadió al producto control (sin adición del dextrano) un monto de 0,5 gramos de colorante azul (Ver anexo 7) para consumo humano (0.7% p/p), momento en el cual inició la contabilización del tiempo de tránsito, proceso monitoreado en el laboratorio, y finalizó al momento en que exista la primera coloración azul en la materia fecal del participante, proceso el cual fue monitoreado por cada participante a través de fotografía de la muestra de materia fecal coloreada (Asnicar et al., 2021). Para la determinación siguiente se llevó a cabo el mismo procedimiento, ofreciendo una galleta de avena de 66 g de peso con adición del dextrano. Se ofreció 120 ml de infusión.

Para el análisis estadístico de los datos, se realizó prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad de los datos. Si los datos eran normales, se sometieron a prueba de Chauvenet con el objetivo de descartar datos atípicos, análisis de varianza (ANOVA) y comparación pareada por medio de prueba de t de varianzas iguales o desiguales. Los datos

que se encontraron en una distribución normal se sometieron a prueba de Mann-Whitney U. El análisis estadístico de los datos se desarrolló a través del paquete estadístico de XLSTAT en el programa Microsoft® Excel 365.

### ***Evaluación del Tránsito Intestinal en Roedores.***

La propuesta para evaluación de tránsito intestinal en humanos sanos fue aprobada por el comité de ética de la Facultad de ciencias de la Universidad Nacional de Colombia – CEI-FC 2024-A08P5. Este estudio fue llevado a cabo según la resolución 8430 de 1993, las buenas prácticas de laboratorio y el sistema institucional de gestión ambiental.

Para evaluar el tránsito intestinal en roedores, se llevaron a cabo dos ensayos biológicos diferentes, el primero evaluó el porcentaje de avance una hora después de suministrados los diferentes tratamientos mientras que el segundo ensayo evaluó el tiempo total en realizar la deposición por parte del ratón, los cuales se explican a detalle a continuación.

Para la evaluación de porcentaje de tránsito parcial y total, se hizo uso de ratones CD1 masculinos y femeninos (n=70 hembras 12 machos) provistos por el Bioterio de la Facultad de Ciencias, Departamento de Farmacia de la Universidad Nacional de Colombia de 8 semanas de edad. Los animales durante su desarrollo se encontraban a temperatura y humedad controlada en ciclos de 12 horas de día-noche, así como de alimento y agua *ad libitum*, el cual se suspendió con ayuno de 12 horas previas a los procesos de experimentación. Este estudio fue llevado a cabo según la resolución 8430 de 1993, las buenas prácticas de laboratorio y el sistema institucional de gestión ambiental.

En la tabla 8 se muestra el cronograma del experimento seguido durante el proceso experimental. Para evaluar tránsito intestinal parcial se realizaron 2 pruebas preliminares con el objetivo de determinar el patrón y el blanco en los roedores, así como el tiempo de espera previa al sacrificio del roedor.

Tabla 8. Cronograma de experimentación, modelo animal

<b>Semana</b>	<b>Procedimiento</b>
<b>-2</b>	Destete y aclimatación de los roedores
<b>0</b>	Prueba preliminar 1: Evaluación de porcentaje de avance de tránsito intestinal
<b>1</b>	Prueba preliminar 2: Determinación de vehículo apropiado para suministrar tratamientos
<b>2</b>	Evaluación de porcentaje de avance de dextrano en roedores
<b>3</b>	Destete y aclimatación de roedores
<b>5</b>	Evaluación de tránsito intestinal total en roedores

Fuente: Elaboración propia

### **Evaluación del porcentaje de avance del tránsito intestinal**

Se empleó la metodología de Xu y colaboradores (2012), con las siguientes modificaciones: se estableció un ayuno de alimento de 12 horas antes de cualquier intervención y se retiró el agua al inicio del proceso experimental. Como sustancia patrón y vehículo, se utilizó carboximetilcelulosa (CMC) suspendida al 1% en agua. La sustancia control consistió en inulina suspendida en CMC al 1%, en una concentración de 200 mg/kg de roedor, volumen que se administró a través de sonda orogástrica. Los grupos de experimentación recibieron el dextrano en concentraciones de 50, 100 y 200 mg/kg, también suspendidos en CMC al 1%. Se pesaron los roedores antes de la administración de los diferentes tratamientos, los cuales se suministraron a través de sonda orogástrica por gavaje, permitiendo un tiempo de reposo de 30 minutos. Posteriormente, se administró el marcador

de carbón activado al 1% (%p/p), igualmente suspendido en CMC al 1%, y se permitió un tiempo de 60 minutos antes de realizar el sacrificio del animal por dislocación cervical. Finalmente, se llevó a cabo la evisceración del roedor, extrayendo el intestino delgado en su totalidad y realizando un corte desde el píloro hasta la válvula ileocecal. El tránsito intestinal se expresó como el porcentaje de avance según la siguiente ecuación (Adewoye et al., 2011):

$$\% \text{ Avance de Tránsito Intestinal} = \frac{\text{Distancia recorrida por el colorante}}{\text{Longitud total del intestino delgado}} \times 100$$

Se llevaron a cabo dos pruebas preliminares: la primera tuvo como objetivo evaluar las concentraciones de dextrano a utilizar, limitándose a 100 mg/kg y 200 mg/kg de dextrano. La segunda prueba se realizó para determinar si el vehículo utilizado generaba dispersión en los datos experimentales. Finalmente, se llevó a cabo la prueba de experimentación utilizando las tres concentraciones mencionadas anteriormente, junto con el vehículo de CMC al 1%.

La disposición del cadáver se realizó teniendo en cuenta los protocolos de bioseguridad institucionales del Bioterio de la Facultad de Ciencias, departamento de Farmacia de la Universidad Nacional de Colombia.

### **Evaluación del tiempo de tránsito intestinal total**

La metodología utilizada, se basó en los documentos de Ha y colaboradores (2012), Kim y colaboradores (2007), Kim y colaboradores (2012) y Wang y colaboradores (2022) modificada de la siguiente manera: Se estableció un ayuno de alimento de 12 horas antes de cualquier intervención y se retiró el acceso al agua al inicio del proceso experimental. Se hizo uso de suero fisiológico como sustancia patrón, con el objetivo de no generar ningún

cambio fisiológico en el animal. Como sustancia control se utilizó inulina en concentración de 200 mg/kg suspendida en agua, mientras que el tratamiento a utilizar fue un dextrano suspendido en agua a 200 mg/kg. Se pesaron los roedores (n=24) antes de la administración de los diferentes tratamientos, los cuales se suministraron a través de sonda orogástrica por gavaje, permitiendo un tiempo de reposo de 30 minutos. Posteriormente, se administró el marcador de rojo fenol al 2% (%p/p), suspendido en CMC al 1%, y se separaron los roedores en jaulas individuales sobre hojas blancas para permitir la observación de su deposición, con el fin de observar el momento en que esta se tornara de color rojo, revisando las jaulas cada 5 minutos. Para el cálculo del tiempo de tránsito intestinal total, se registró la hora en la que se produjo el paso del colorante y se anotó la hora de la deposición del roedor. Estos datos se utilizaron para calcular el tiempo en minutos transcurrido hasta la deposición.

Para el análisis estadístico de los datos, se realizó prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad de los datos. Si los datos eran normales, se sometieron a prueba de Chauvenet con el objetivo de descartar datos atípicos, análisis de varianza (ANOVA) y comparación pareada por medio de prueba de t de varianzas iguales o desiguales. Los datos que se encontraron en una distribución normal se sometieron a prueba de Mann-Whitney U. El análisis estadístico de los datos se desarrolló a través del paquete estadístico de XLSTAT en el programa Microsoft® Excel 365.

### Capítulo 3: Resultados y Análisis

#### 3.1 Caracterización fisicoquímica del dextrano

Al realizar la incorporación del dextrano en un medio acuoso con una concentración del 5%, se observa un proceso de dispersión lenta, (Tabla 9, A), requiriendo de un tiempo de dispersión de hasta 24 horas para evaluar los parámetros que a continuación se describen. Para lograr una disminución en el tiempo de dispersión del dextrano, en estudios previos se reporta que la aplicación de calor más agitación mecánica puede disminuirlo (Chiriví Barrera & Perdomo Reyes, 2009; Escobar Moreno, 2010), sin embargo, no se realizó este proceso en este estudio de caracterización. Previo a los procesos de centrifugación, se observa que el dextrano logró una dispersión completa en agua, sin embargo, posterior a este, el sedimento se caracteriza por quedar aglutinado el fondo del tubo falcón y, de textura más viscosa que el sobrenadante (Tabla 9, B, C)

Tabla 9. Fotografías de los diferentes procesos de caracterización fisicoquímica del dextrano

<i>Comportamiento del polímero en diferentes matrices</i>	
<i>Mezcla del dextrano y agua</i>	 <p>(A)</p>

*Comportamiento del polímero en diferentes matrices*

*Capacidad de hinchamiento en agua*



(B)

*Prueba de dispersión: Agua*



(C)

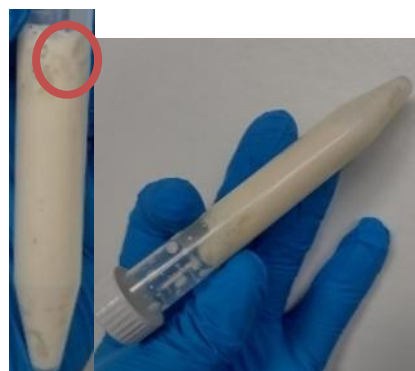
Previo a separar sobrenadante

*Prueba de dispersión: Leche*



(D)

Sin reposo



(E)

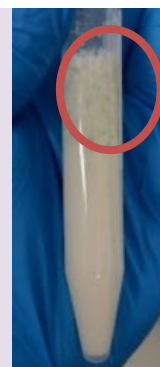
Reposo de 24 horas

*Prueba de dispersión: Leche descremada*



(F)

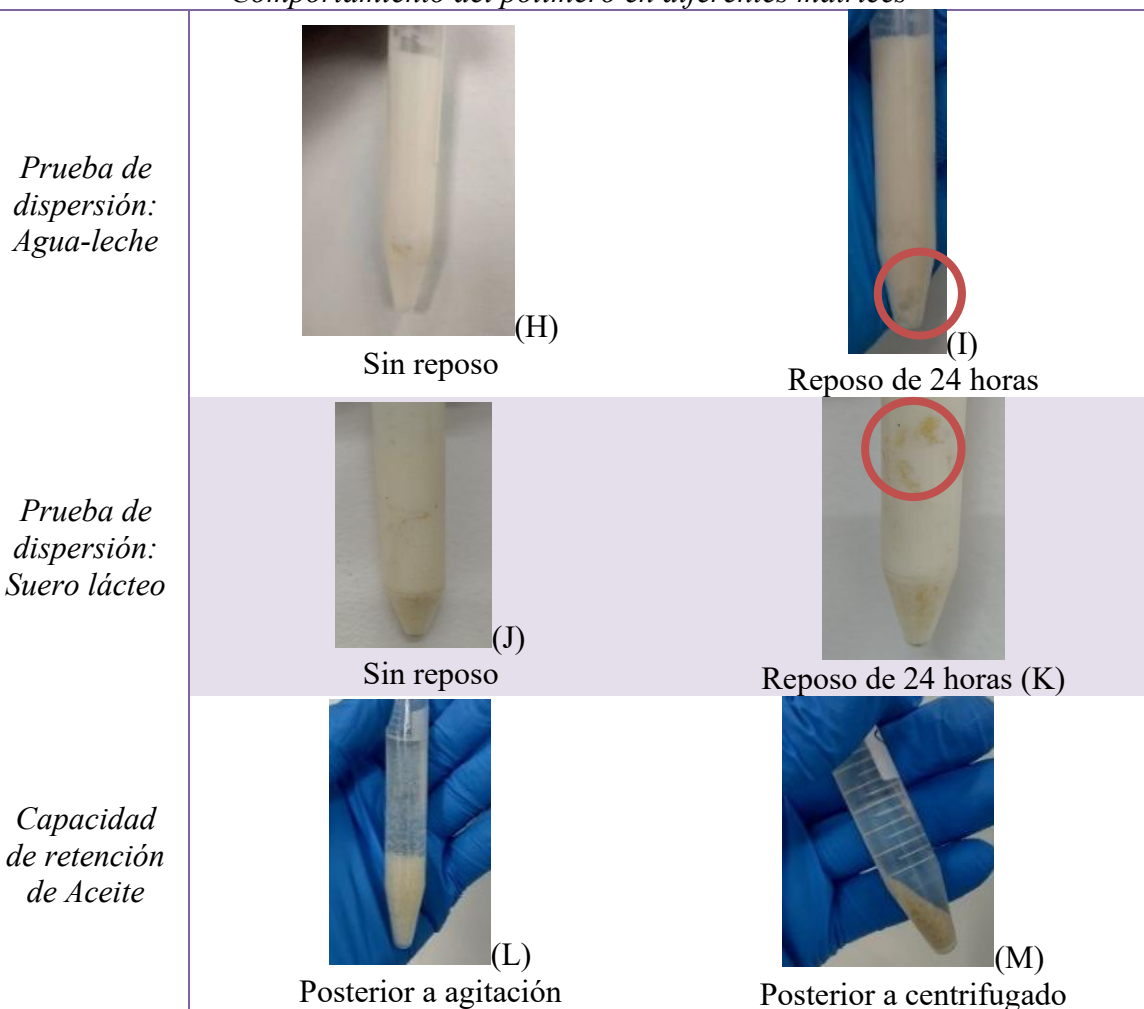
Sin reposo



(G)

Reposo de 24 horas

*Comportamiento del polímero en diferentes matrices*

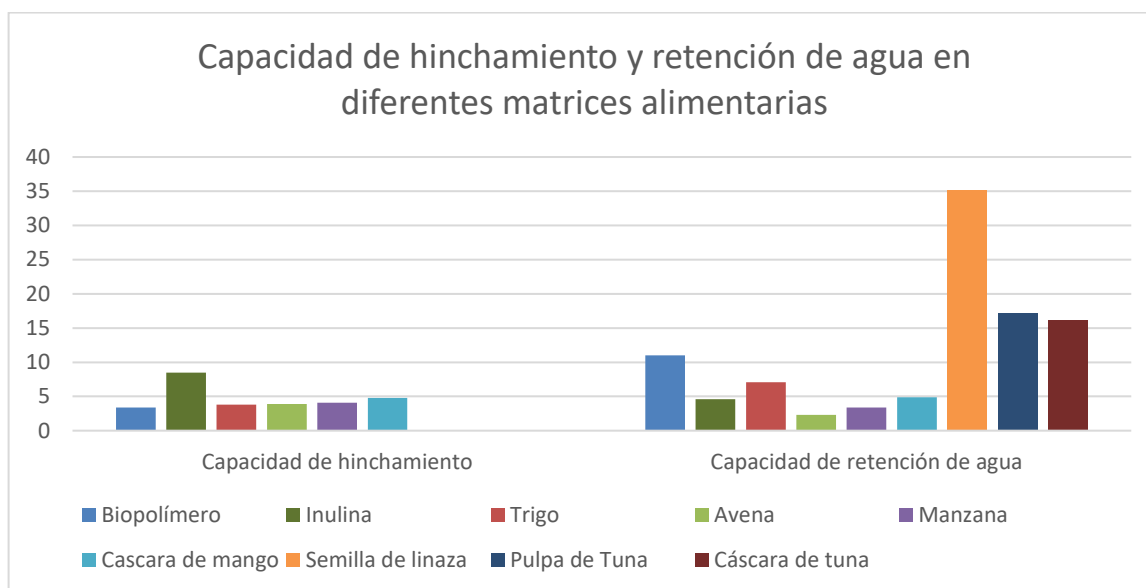


Fuente: Elaboración propia

***Capacidad de hinchamiento y retención de agua.***

Teniendo en cuenta que la definición de estas propiedades se basa en la habilidad del compuesto a evaluar de captar o atrapar agua, se realizó únicamente la evaluación en este medio. Este parámetro es afín con la capacidad de hidratación, en la cual se evalúa la capacidad de retener agua durante la aplicación de presión osmótica o centrifugación (Rivas Muñoz, 2024). En la tabla 9 (B), se observa el sedimento posterior a realizar la centrifugación del dextrano disperso en agua, el cual posee la capacidad de captar y retener agua (WHC) de

3.4 veces su peso y de hinchar su estructura (CH) hasta 11 veces (Tabla 10). Valores de WHC en compuestos purificados como la inulina se han obtenido en estudios previos logrando captar y retener 4,6 su masa, valores menores a las del dextrano; por otro lado resultados similares se han obtenido en fibra de trigo (3.8), avena (3.9), manzana (4.1) (Roman & Valencia, 2006), cáscara de mango (4,8) (Hincapié et al., 2014); Merma (2013) reporta en su tesis que valores de capacidad de retención de agua entre 10 – 12% son altos para este parámetro, siendo más viables para productos secos como galletas y cereales para el desayuno, en lugar de tortas o rellenos de pastel. La CH resultó ser más variable según la fuente y el tamaño de partícula, la inulina incrementó su tamaño 8.6 veces (Escobar, 2010), en fibra de trigo aumentó 7.1 veces su tamaño, 2.3 veces en fibra de avena, 3.4 veces en fibra de manzana (Roman & Valencia, 2006), 4.9 veces en fibra de mango (Hincapié et al., 2014), 35.2 veces en fibra obtenida a partir de semillas de linaza (Merma Rio, 2013), 5.8 veces en cáscara de cacao, 3.7 veces en cascarilla de cacao, 3.0 veces en pulpa de café, 16.8 veces en cáscara de tuna, 17.2 veces en pulpa de tuna (Abarca et al., 2010). Los resultados obtenidos permiten inferir que el dextrano presenta una alta capacidad de hinchamiento con relación a los estudios reportados.



Se observa que, al compararlo con estudios previos (Escobar Moreno, 2010), existe una mayor capacidad por parte del dextrano de captar agua en su estructura e hinchar, lo cual puede estar relacionado con la modificación en los procesos de extracción del dextrano que se han desarrollado a lo largo de la última década. De manera similar, Valencia y Román (2006), concluyen posterior al proceso de caracterización de tres concentrados de fibra dietaria; trigo, avena y manzana, que el método de extracción y la composición química de la fibra puede afectar la capacidad de hinchamiento. Rivas (2024) indica que, dependiendo del tipo de extracción, los valores de capacidad de hinchamiento y retención de agua se pueden ver afectados, denotando que la extracción con fluidos supercríticos en condiciones no extremas permite una mejora en estos parámetros.

Tabla 10. Capacidad de hinchamiento, índice de dispersabilidad, capacidad de retención de agua y capacidad de retención de aceite del dextrano a 20°C

Matriz	CH(%)	DI (%)	WHC(%)	OHC(%)
Agua	1098.8±74.6	58.9±3.3	339.8±29.5	-
Leche entera	-	43.1±5.6	-	-

<i>Matriz</i>	<i>CH(%)</i>	<i>DI (%)</i>	<i>WHC(%)</i>	<i>OHC(%)</i>
<i>Leche descremada</i>	-	45.6±1.2	-	-
<i>Suero lácteo</i>	-	9.9±0.7	-	-
<i>Agua - Leche</i>	-	66.1±2.4	-	-
<i>Aceite</i>	-	-	-	157.2±6.9

Fuente: Elaboración propia

### ***Índice de dispersabilidad***

El índice de dispersabilidad (DI) indica la tendencia de la sustancia a agregarse/agruparse o formar una suspensión estable. Generalmente, las propiedades de hidratación están fuertemente influenciadas por su tamaño de partícula, que a su vez también influye en su comportamiento de estabilidad e interacción con otros ingredientes en la formulación. Además, puede afectar sus características organolépticas en general, principalmente la textura, que influyen en el cuerpo de la bebida y su sensación en boca.

El índice de dispersabilidad establece, por lo tanto, el contenido de dextrano que queda inmerso en el sobrenadante posterior al proceso de centrifugación. Se empleó una concentración del polímero al 5% en las diferentes matrices, en donde se muestra una dispersión incompleta con formación de partículas suspendidas de manera marcada al momento de la incorporación en matrices a base de agua (Tabla 9 A) y leche (Tabla 9 D), comparable con los resultados obtenidos en estudios previos por Chiriví y colaboradora (2009), por lo anterior, se dio un tiempo 24 horas, con el objetivo de evaluar el comportamiento de este, observándose una dispersión completa y sin grumos para el caso del agua (Tabla 9 C), y una dispersión incompleta con formación de pequeños grumos

apelmazados en las matrices que contenían leche y suero lácteo (Tabla 9 D - K), que además se requirió la aplicación de una fuerza externa para poder observar flujo de estas mezclas.

Los resultados obtenidos de dispersabilidad para las distintas muestras permiten observar que el mayor valor obtenido de dispersabilidad lo presenta el agua-leche y agua siendo del 66 % y 58% respectivamente, mientras que en matrices de leche entera (43%), leche descremada (45%) y suero lácteo (10%) disminuye la dispersión del dextrano en el medio. Lo anterior permite evidenciar la complejidad de la dispersión coloidal, dado que, al contener, entre otros compuestos, sales minerales, proteína y grasa se limita la penetración del medio y del mismo modo la interacción con el dextrano, afirmación que se contrasta con la mezcla de agua-leche, incrementando significativamente el índice de dispersabilidad de la mezcla por la dilución de la leche, sin importar la incorporación del del biopolímero.

Estos resultados, al contrastarlos con los obtenidos por Escobar Moreno (2010), destaca diferencias importantes en la dispersabilidad en todos los medios, dado que el dextrano presentó cambios en su proceso de obtención con el transcurso del tiempo. Estos resultados globales permiten sugerir que, en el proceso de adición del dextrano en matrices complejas como la leche, muy probablemente se debe incluir un proceso preliminar de dispersión en agua.

### ***Capacidad de retención de aceite***

En el caso del comportamiento del polímero con aceite, se genera una suspensión de partículas en el medio, las cuales posteriormente fueron sedimentadas por medio de centrífuga para evaluar la capacidad de retención. La apariencia física posterior a la agitación

denota los gránulos del dextrano lubricados y con aspecto terroso en suspensión, los cuales posterior a la centrifugación, se sedimentaron y permitieron su fácil separación (Tabla 9 L-M). El aceite que el dextrano es capaz de retener es de 1,5 veces su masa. Lo anterior permite resaltar sus características hidrofóbicas, lo cual concuerda con el comportamiento del polímero obtenidos en estudios previos del polímero en agua y aceite (Chiriví Barrera & Perdomo Reyes, 2009; Escobar Moreno, 2010). Otros estudios reportan valores variables frente a la capacidad de retención de aceite según la fuente de fibra utilizada, en semilla de linaza 0.62% (Merma Rio, 2013), 1.92% para cáscara de mango (Hincapié et al., 2014), 1.2 veces en cáscara de cacao, 1.2 veces en cascarilla de cacao, 0.7 veces en pulpa de café, 1.2 veces en cáscara de tuna, 1.1 veces en pulpa de tuna (Abarca et al., 2010). Braulio (2013) reporta que la capacidad de adsorción de grasa de la fibra dietética para frutas y vegetales oscila de 0 a 2%, y en cereales de 2 – 4%.

### **3.2 Evaluación del comportamiento del dextrano en matrices alimentarias líquidas**

#### ***Efecto del dextrano sobre el pH en néctar de fruta.***

Para la elaboración de néctares de fruta, los cuales se definen como “*producto sin fermentar elaborado con jugo o pulpa de fruta concentrados o no, clarificados o no, adicionado con agua, aditivos permitidos, con o sin adición de azúcares...*” (Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia, 2013); el mínimo de pulpa a añadir es de 15% para maracuyá y 25 % para fresa. En la tabla 11, se presentan los ingredientes y el porcentaje de cada uno de ellos empleado en cada formulación.

Tabla 11. Formulación Néctares de Fruta

	<b>Néctar de fruta ácida</b>	<b>Néctar de fruta poco ácida</b>
<b>Agua</b>	80%	74%
<b>Fresa</b>	0%	26%
<b>Maracuyá</b>	20%	0%

Fuente: Elaboración propia

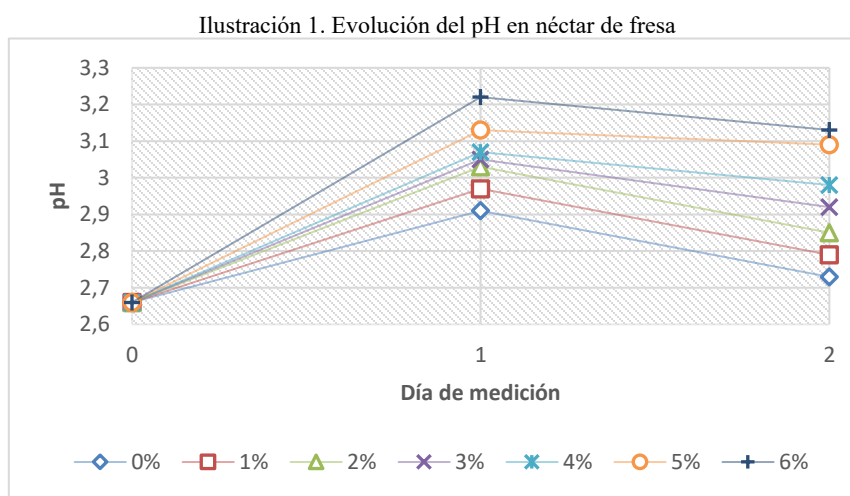
Para la prueba se estableció como muestra control la bebida recién elaborada, sin la adición del polímero. Se elaboraron dispersiones de 1, 2, 3, 4, 5 y 6% de dextrano. Tabla 12.

En estudios previos preliminares (Chiriví Barrera & Perdomo Reyes, 2009) se observó que el pH de la matriz líquida ejerce efecto sobre la dispersión del dextrano, comportamiento que se ratifica con estos resultados donde en el día 1, se visualiza que el dextrano ejerce una atenuación en el potencial de hidrógeno de la bebida identificado en los valores reportados en la tabla 12 y en las ilustraciones 1 y 2; sin embargo, para el día dos de almacenamiento, se presenta una ligera acidificación del jugo por procesos naturales de fermentación enzimática durante su almacenamiento en refrigeración a 4°C (Yadav & Chakravarty, 2013), el cual es más notorio al tener una menor inclusión de dextrano en su composición. El dextrano presenta un efecto amortiguador en conjunto con los polisacáridos presentes en la matriz alimentaria; observándose un pico en el día 1 asociado a los procesos de hidratación e hinchamiento que tiene una duración de alrededor 24 horas, comportamiento presente en el néctar sin incorporación, pero dado en menor medida, por los compuestos de fibra liberados posterior al proceso mecánico en la elaboración del néctar.

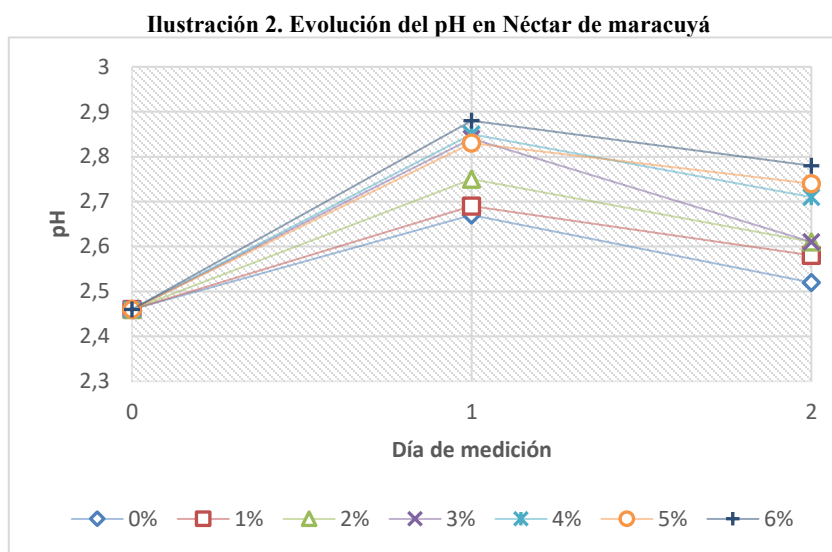
Tabla 12. Evolución del pH de los néctares de fresa y maracuyá.

%biop	Néctar de fresa						Néctar de maracuyá					
	Día 0		Día 1		Día 2		Día 0		Día 1		Día 2	
	pH	T (°C)	pH	T (°C)	pH	T (°C)	pH	T (°C)	pH	T (°C)	pH	T (°C)
0%	2,66	19,3	2,91	18,8	2,73	18,9	2,46	20,7	2,67	18,3	2,52	18,5
1%	2,66	19,3	2,97	18,5	2,79	18,3	2,46	20,7	2,69	17,6	2,58	17,3
2%	2,66	19,3	3,03	18,6	2,85	18,4	2,46	20,7	2,75	17,5	2,61	17,5
3%	2,66	19,3	3,05	19,6	2,92	19,1	2,46	20,7	2,84	17,7	2,61	17,2
4%	2,66	19,3	3,07	19,1	2,98	18,5	2,46	20,7	2,85	17,8	2,71	18,2
5%	2,66	19,3	3,13	19,2	3,09	18,5	2,46	20,7	2,83	18,1	2,74	18,8
6%	2,66	19,3	3,22	19,2	3,13	19,3	2,46	20,7	2,88	18,6	2,78	19,0

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

### ***Efecto del dextrano sobre la viscosidad en néctares de fruta.***

En la tabla 13 y 14 se compila el material fotográfico del comportamiento del polímero en néctar ácido y poco ácido respectivamente. En este proceso de caracterización se destaca la hidratación completa en néctar ácido hasta el 2% e incompleta en néctar de poca acidez, evidenciándose aglomeraciones de polímero desde el 1% en adelante. Desde esta incorporación se denota un incremento en la viscosidad frente al néctar de fruta al realizar la adición del dextrano. Al permitir el reposo de la muestra 24 horas en refrigeración, se da una completa dispersión del polímero en ambos tipos de muestras, dado que se da un proceso de hidratación efectiva de la fibra soluble, resultados similares a los obtenidos por Chiriví y Perdomo al realizar la hidratación del dextrano en agua durante 24 horas (2009, p. 39).

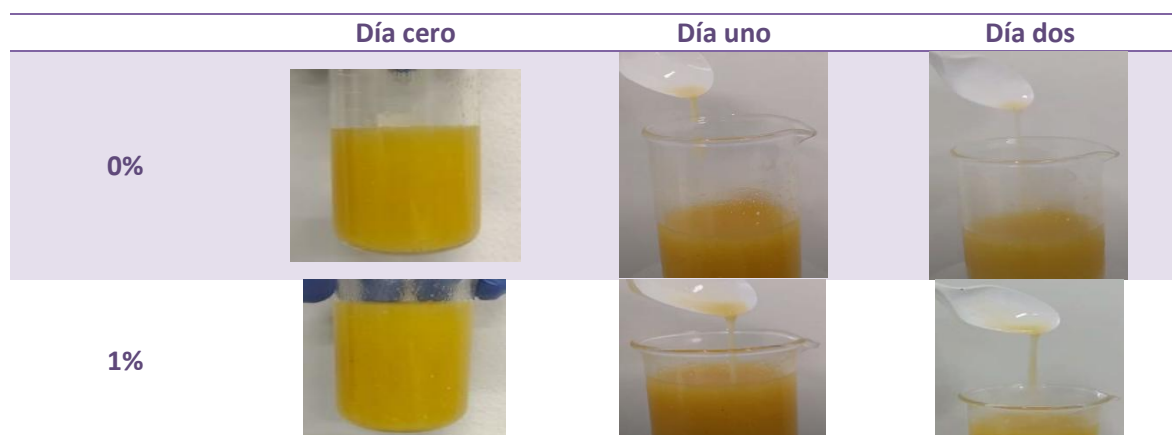
Para la evaluación del comportamiento reológico se realizó la determinación instrumental (viscosímetro) el día 0 que correspondió al néctar de fruta fresca, recién

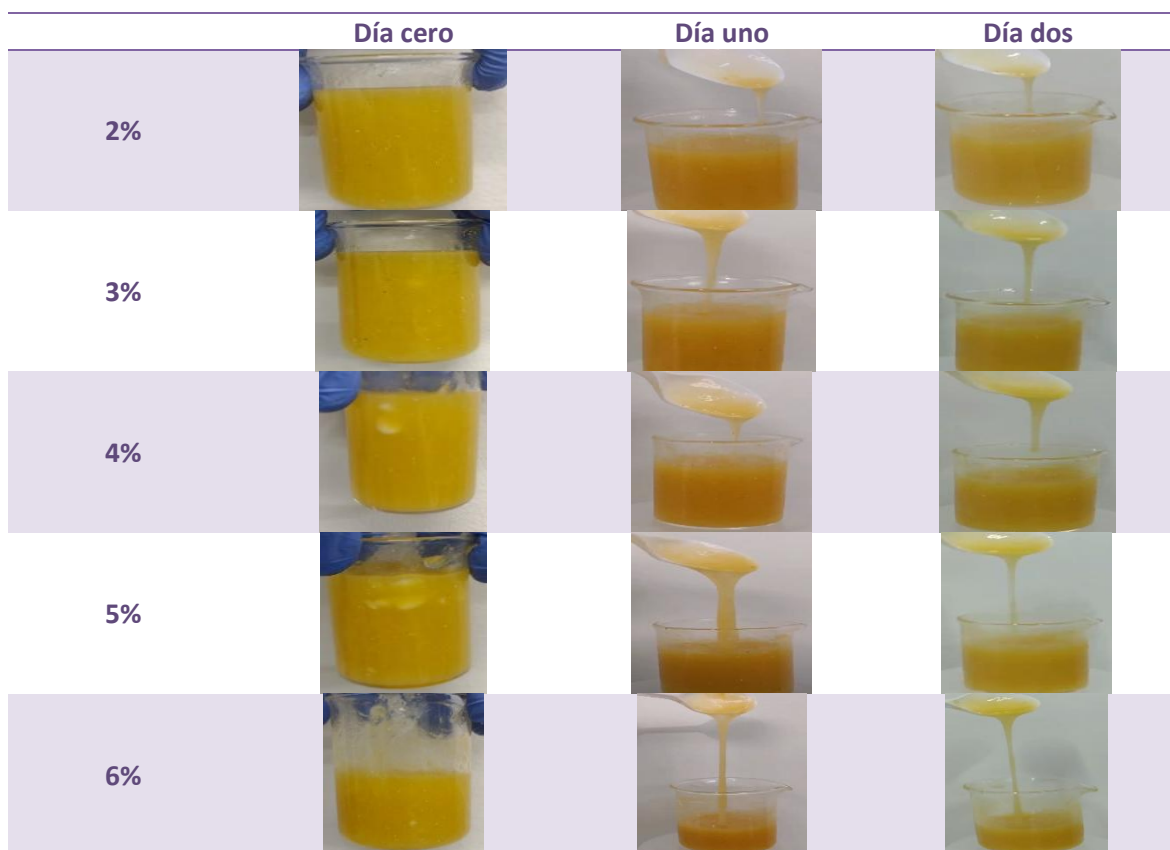
elaborado, a las 24 horas y a las 48 horas de elaboración. Los datos obtenidos permiten identificar un comportamiento no newtoniano del fluido: Para la obtención de la curva se hace uso de la ley de potencia ajustada al modelo reológico, el cual ha sido utilizado de manera amplia para describir el comportamiento de flujo de purés y jugos de fruta (Figueroa-Flórez et al., 2017; Mechato & Velásquez-Barreto, 2023; Panchi Guanoluisa, 2013). La ecuación es:

$$\tau = \kappa\gamma^n$$

Donde  $\tau$  el esfuerzo cortante (Pa),  $\kappa$  el coeficiente de consistencia,  $\gamma$  la velocidad de deformación ( $\text{seg}^{-1}$ ), y  $n$  el índice de comportamiento al flujo. En un modelo donde  $n = \kappa = 1$  se tiene un fluido con comportamiento newtoniano; mientras que cuando se presenta un valor de  $n > 1$ , el alimento tiene un comportamiento de fluido dilatante mientras que cuando  $n < 1$  este presentará un comportamiento pseudoplástico. Por otro lado, el valor de  $\kappa$  representa numéricamente la consistencia del fluido, por ende, a mayor valor, más viscosa será la bebida.

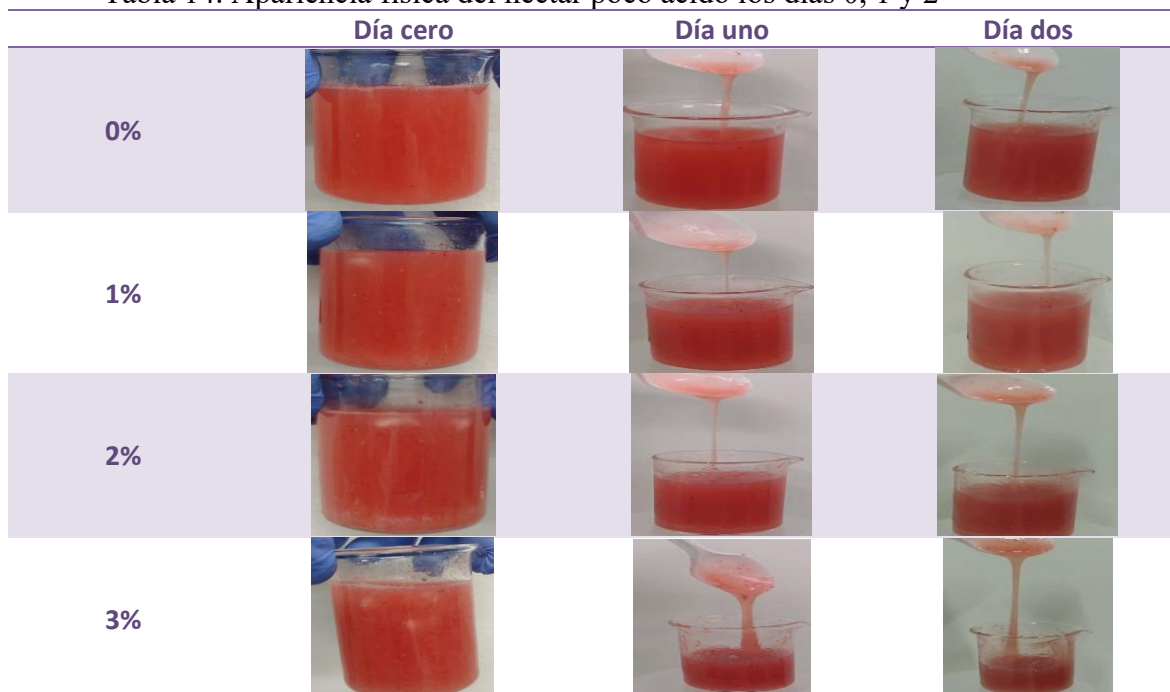
Tabla 13. Apariencia física del néctar de fruta ácida los días 0, 1 y 2

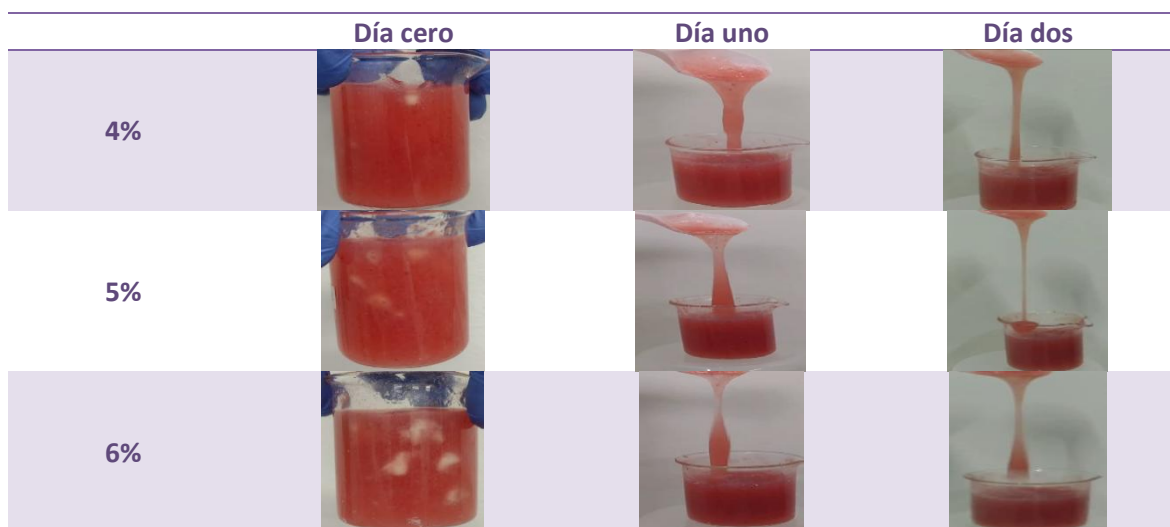




Fuente: Elaboración propia

Tabla 14. Apariencia física del néctar poco ácido los días 0, 1 y 2





Fuente: Elaboración propia

Lo anterior concuerda con los resultados obtenidos en los néctares de fruta con inclusión de dextrano, dado que los valores de  $n$  se asocian con un comportamiento pseudoplástico y el índice de consistencia incrementó conforme a la concentración de dextrano.

Tabla 15. Comportamiento reológico de néctares de maracuyá y fresa

%  
biop

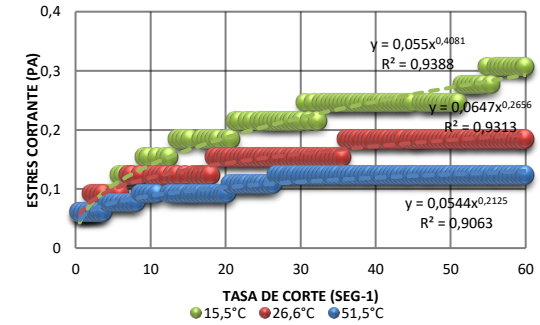
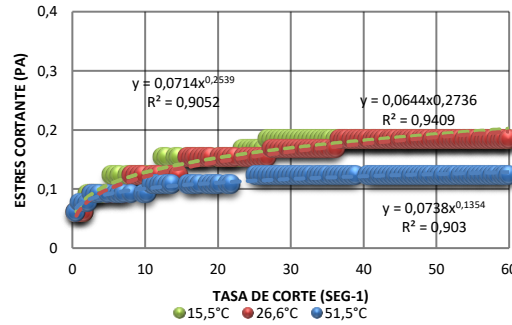
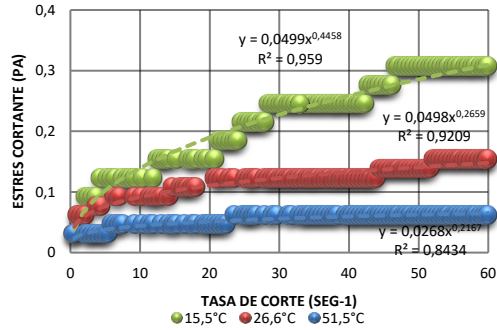
Día 0

Día 1

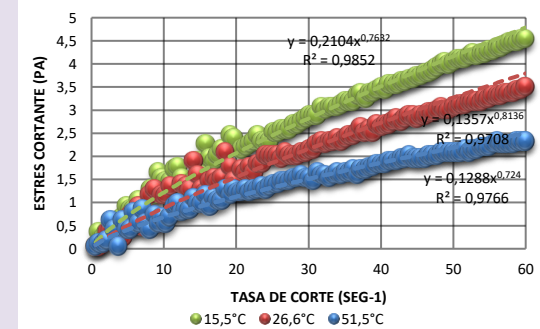
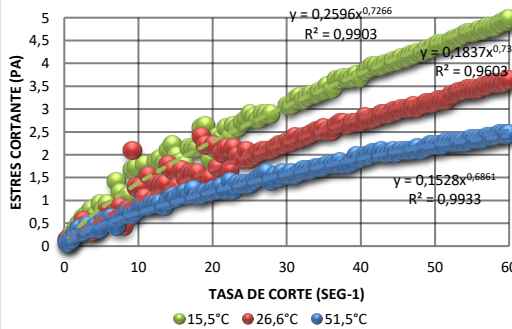
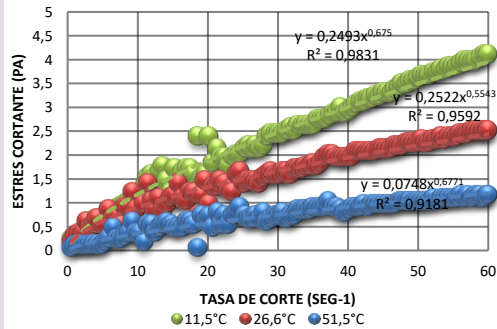
Día 2

Néctar de maracuyá

0%

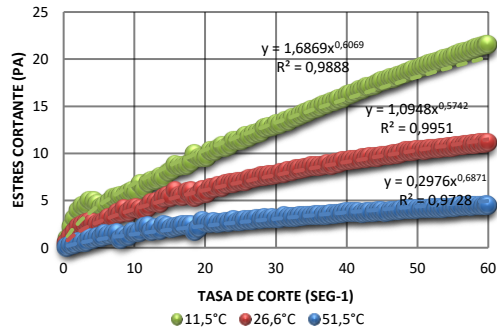


2%

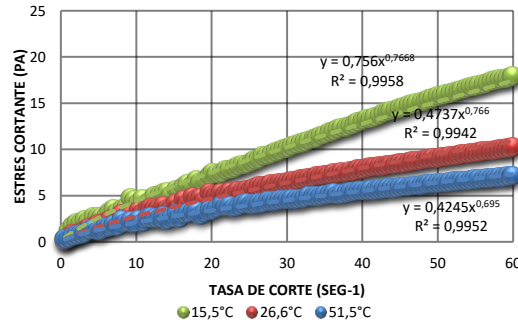


%  
biop  
4%

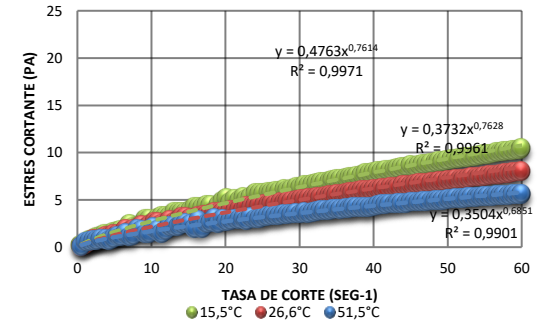
*Día 0*



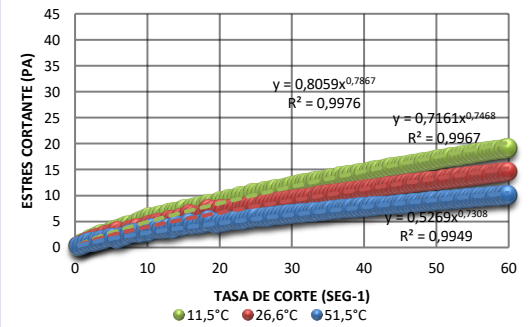
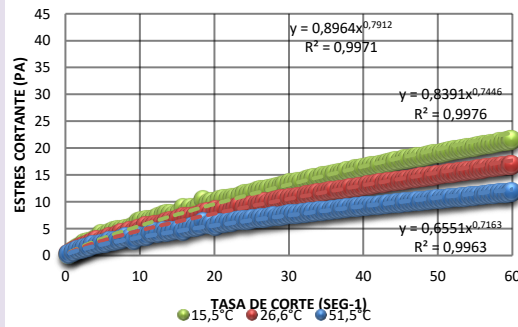
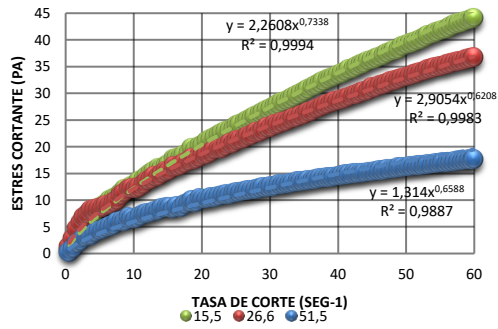
*Día 1*



*Día 2*



6%



%  
biop

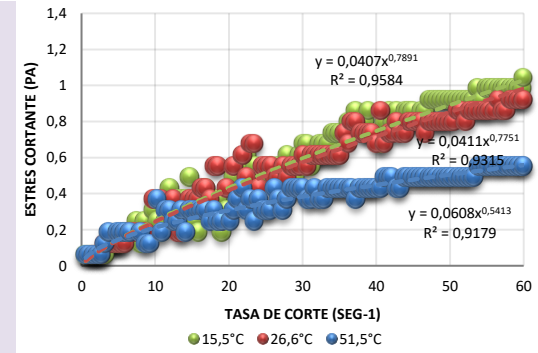
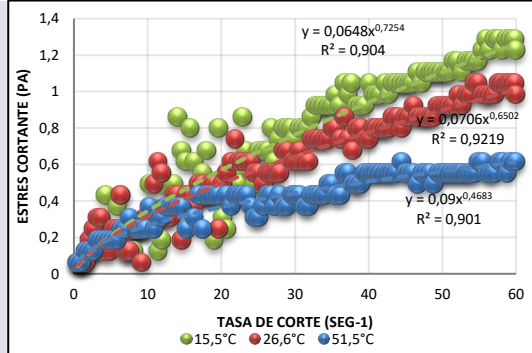
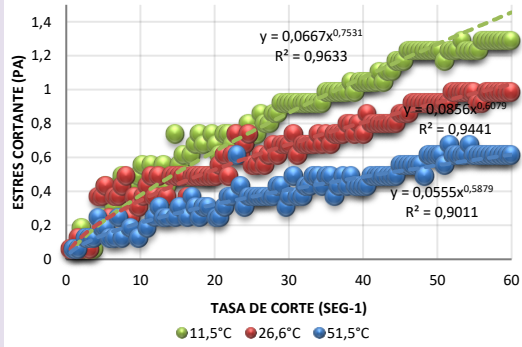
Día 0

Día 1

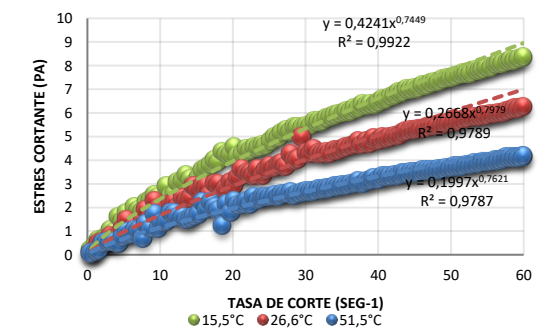
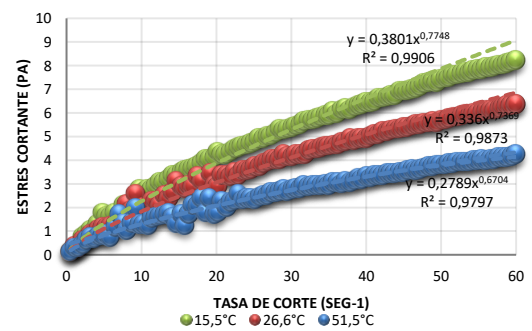
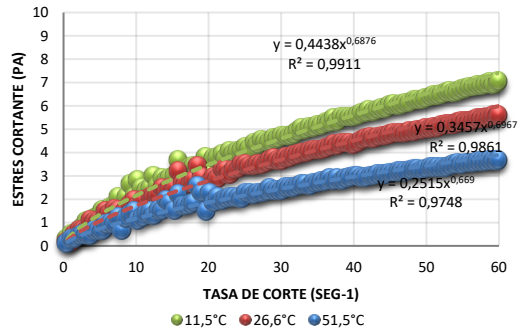
Día 2

Néctar de fresa

0%

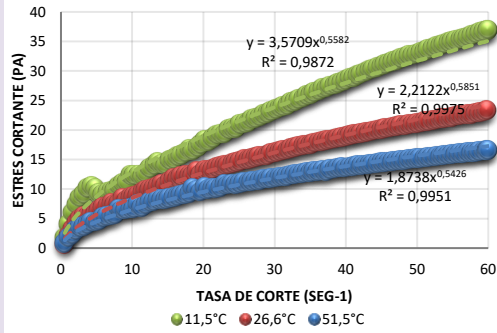


2%

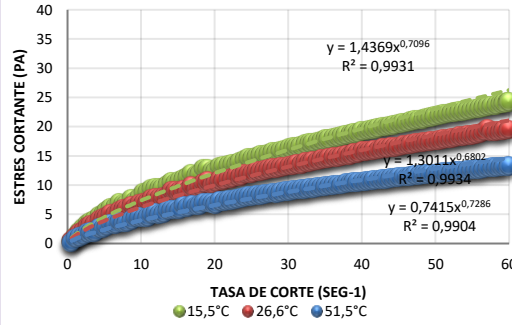


%  
biop  
4%

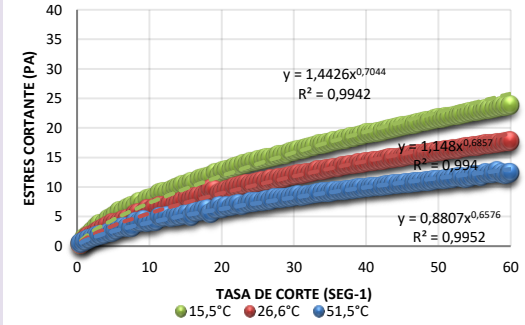
*Día 0*



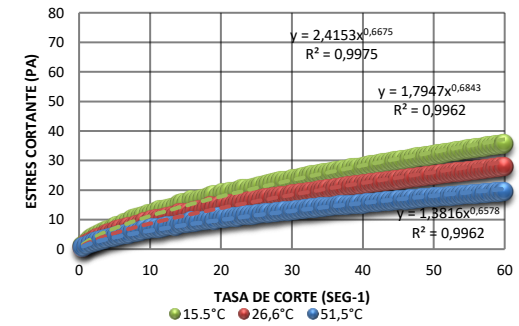
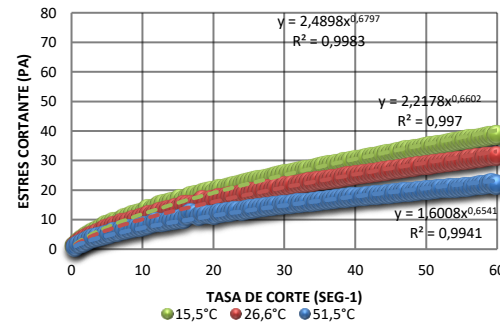
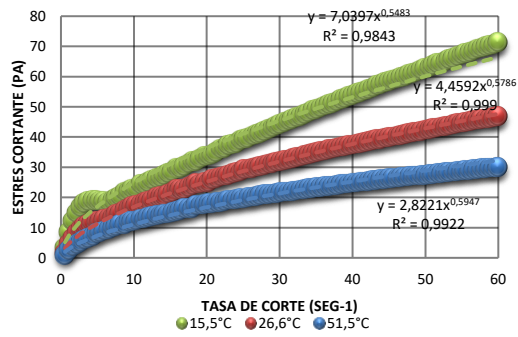
*Día 1*



*Día 2*



6%



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 15 se puede observar gráficamente los parámetros reológicas estimados a partir de la ley de la potencia (Anexo 8). Para ambas bebidas, néctar de fresa y maracuyá se evidencia un índice de comportamiento de flujo ( $n$ ) de fluido pseudoplástico al observar la relación del estrés cortante a medida que incrementa la tasa de corte. En todos los casos existe una disminución del estrés de corte, así como del índice de consistencia  $\kappa$  dependiendo de la temperatura aplicada y el tiempo de elaboración de la bebida, siendo la primera asociada con el aumento de repulsión de las partículas suspendidas, el incremento de las distancias moleculares y la reducción de fuerzas intermoleculares lo cual lleva a una menor resistencia al flujo y por ende una menor viscosidad aparente (Figuroa-Flórez et al., 2017; Mechato & Velásquez-Barreto, 2023); mientras que la segunda se relaciona principalmente a que al no realizarse inactivación enzimática, los procesos naturales del fruto influyen en el deterioro y en la acidificación del producto elaborado, ocasionando la disminución de la viscosidad (Walkling-Ribeiro et al., 2010). Es resumen, el dextrano ejerce un incremento en los parámetros de viscosidad del néctar al cual se incorpore; se evidencia además que existe una tendencia a la disminución de la viscosidad de la bebida de fruta, resultados que concuerdan con lo obtenido por diferentes investigadores en evaluaciones de jugos y pulpas de fruta a través del tiempo los cuales se discutirán a continuación.

Existe mayor cantidad de estudios relacionados al cambio de viscosidad Vs temperatura de las diferentes bebidas elaboradas. Algunos artículos reportan el efecto de la temperatura en las propiedades reológicas, observándose que, a menor temperatura, mayor va a ser la viscosidad del producto obtenido, y a mayor temperatura, menor va a ser el estrés de corte de este (Alvarado Ortiz et al., 2018; Cadena Masabanda, 2015; Manayay & Ibarz, 2010; Martinez Hilario & Novoa Revelo, 2018; Ninamango Guevara et al., 2016; Paquet et

al., 2014; Ruiz et al., 2010). Mechato y Siche (2020) reportan que el comportamiento de flujo de zumos puros de maracuyá, se presenta un comportamiento cercano a ser fluidos newtonianos, de igual modo, indican que el índice de consistencia  $k$  decrece con el incremento de la temperatura dado que se favorece la solubilidad de la fibra en la bebida de fruta reduciendo la viscosidad de los fluidos. De manera similar, Salinas Jimenez (2021) evaluó el comportamiento de zumos de fruta ácidas y poco ácidas (naranja, limón, manzana), siendo la disminución de temperatura y el incremento de fibra los parámetros que ocasionaron un aumento en el parámetro del esfuerzo cortante inicial y en el índice de consistencia  $k$ ; adicionalmente a medida que incrementó la concentración de la fibra y la temperatura disminuyó, el índice de comportamiento de flujo  $n$  disminuyó, dada la interacción de las partículas de los diferentes zumos de frutas con el polímero de fibra, creando nuevas estructuras internas que forman un flujo más complejo.

Ahora bien, en menor proporción se reportan estudios que evalúan el efecto del tiempo en la viscosidad de productos elaborados a partir de frutas; entre los cuales se destaca principalmente la comparación de éste parámetro y su efecto con tratamiento ya sea térmico o no térmico para la inactivación enzimática frente a un control, con el objetivo de evaluar la calidad del producto final; por ejemplo, Aguirre y colaboradores (2017) evidencia una disminución significativa en 21 días de almacenamiento en purés de diferentes frutas tropicales almacenados en refrigeración y temperatura ambiente; Li et al. (2021) muestran que un jugo sometido a altas presiones hidrostáticas en comparación a uno no sometido a este proceso presenta una mayor estabilidad en sus parámetros reológicos, sin embargo, existe diferencia significativa en su índice de consistencia en un lapso de 90 días de almacenamiento; Walkling-Ribeiro et al. (2010) denotan en su investigación el efecto de

campos eléctricos pulsados para mantener la integridad de jugos de fruta en comparación a un jugo pasteurizado, presentando este último un descenso en la viscosidad aparente en un lapso de 0 a 28 días de almacenamiento; por último Akçay & Alkan (2023) evaluaron el efecto de 3 hidrocoloides diferentes (goma guar, goma xantan, y almidón), en jugo de naranja, durazno y manzana y su cambio en viscosidad de 0 a 90 días, evidenciando un cambio significativo para las tres bebidas a través del tiempo. La tendencia a la disminución a la viscosidad a través del tiempo se asocia al proceso de estabilidad completa de la dispersión, dado que el dextrano pasa a ser parte de los parámetros del néctar y en el transcurso de 2 días logra su incorporación completa. Siendo así, se podría inferir que el dextrano tiene un efecto estabilizante de la viscosidad, frente a la temperatura y el tiempo de elaboración del néctar de fruta.

### **3.3 Evaluación del comportamiento del dextrano en matrices alimentarias sólidas**

Se realizaron 5 productos horneados de panadería con la finalidad de ser empleados como matriz alimentaria para la inclusión del dextrano. En la tabla 16 se consignan las formulaciones utilizadas para la formulación patrón, a la cual se le realizó la incorporación del 5, 10 y 15% del dextrano, los cuales se sometieron a pruebas de textura y de evaluación sensorial para identificar los cambios físicos ocasionados por la inclusión de la fibra soluble.

En la tabla 17, se pueden apreciar las diferentes características físicas de las masas, así como los cambios generados a partir de la inclusión del dextrano tanto en la masa húmeda (amasado), como en la masa seca (proceso de horneado). En la preparación de las masas, se

observaron texturas variables desde firmes y ligeramente elásticas en el caso de las galletas hasta de ligeramente viscosas para el caso del ponqué y muffin.

Tabla 16. Formulación de productos horneados





























	<i>Galleta de sal (%)</i>	<i>Galleta de avena (%)</i>	<i>Colación (%)</i>	<i>Muffin (%)</i>	<i>Ponqué (%)</i>
<i>Harina de trigo</i>	64.1	14.8	9.0	31.0	33.3
<i>Harina de avena</i>	-	14.8	-	-	-
<i>Hojuelas de avena</i>	-	19.7	-	-	-
<i>Fécula de maíz</i>	-	-	45.0	-	-
<i>Azúcar morena</i>	-	22.2	-	20.7	16.7
<i>Azúcar pulverizada</i>	-	-	16.2	-	-
<i>Agua</i>	19.2	-	-	-	-
<i>Huevo</i>	-	12.3	6.7	10.3	33.3
<i>Leche</i>	-	-	-	18.6	-
<i>Margarina</i>	-	7.4	11.2	-	-
<i>Aceite</i>	16.0	7.4	11.2	18.6	16.7
<i>Vainilla</i>	-	0.5	0.4	0.4	0.03
<i>Polvo de hornear</i>	0.2	1.0	-	0.4	0.03
<i>Sal</i>	0.5	-	0.2	-	-


































Fuente: Elaboración propia

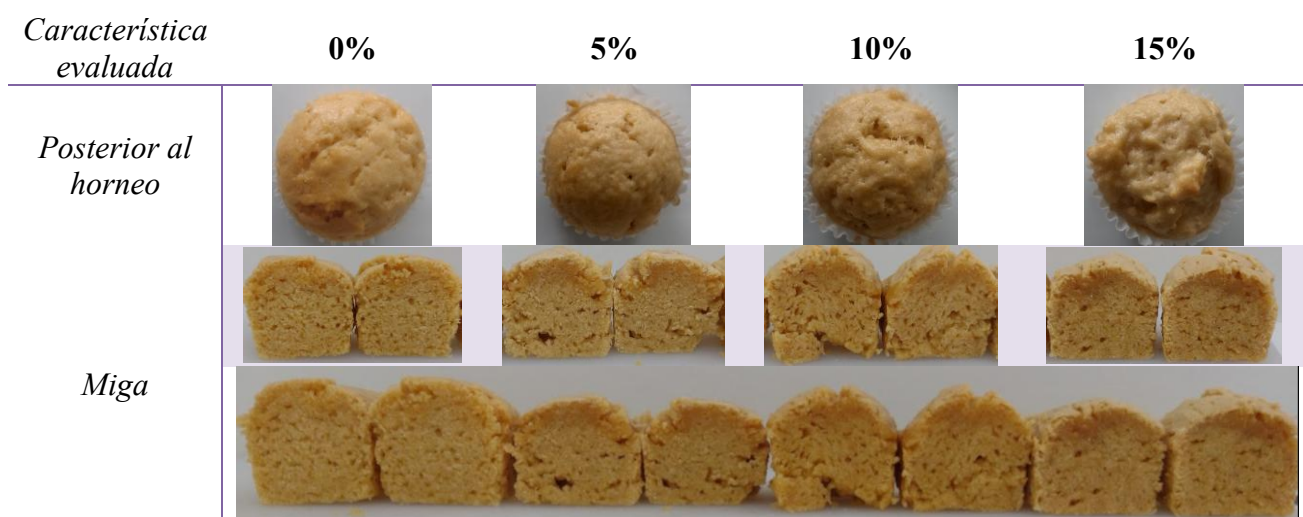
Este comportamiento se produce por la interacción de los ingredientes secos incluyendo el dextrano, los ingredientes líquidos presentes y la acción mecánica aplicada, proceso que incide directamente en parámetros como la tenacidad de la masa y el grado de deformación y que ejerce el dextrano, en comparación con la muestra de control (Nirmala Prasadi & Joye, 2023; Peressini & Sensidoni, 2009). Trabajos previos con este dextrano indican un incremento en la viscosidad de la matriz donde se añade, dada la capacidad del polímero de formar redes tridimensionales según su concentración, tiempo y temperatura;

razón por la cual se requiere una evaluación individual para cada formulación dada la interacción de cada uno de los ingredientes con el dextrano (Chiriví Barrera & Perdomo Reyes, 2009; Escobar Moreno, 2012; Garay Quintero, 2017).

Tabla 17. Apariencia física de productos de panadería horneados

<i>Característica evaluada</i>	<b>0%</b>	<b>5%</b>	<b>10%</b>	<b>15%</b>
<i>Galleta de sal</i>				
<i>Masa</i>				
<i>Previo a horneo</i>				
<i>Posterior a horneo</i>				
<i>Galleta de Avena</i>				
<i>Masa</i>				
<i>Previo a horneo</i>				
<i>Posterior a horneo</i>				
<i>Colación</i>				
<i>Masa</i>				

<i>Característica evaluada</i>	0%	5%	10%	15%
<i>Previo a horneo</i>				
<i>Posterior a horneo</i>				
<i>Muffin</i>				
<i>Masa</i>				
<i>Previo a horneo</i>				
<i>Posterior a horneo</i>				
<i>Miga</i>				
				
<i>Ponqué</i>				
<i>Masa</i>				
<i>Previo al horneo</i>				



Fuente: Elaboración propia

Cada producto horneado sin y con adición de polímero presento características muy particulares según la formulación. Se evaluaron los Atributos de humedad, textura y color a través de análisis instrumental. Adicionalmente, se llevaron a cabo 100 encuestas a una población adulta compuesta por 34 hombres y 65 mujeres, con una edad promedio de  $20.6 \pm 3.2$  años, con el objetivo de contrastar los resultados obtenidos del análisis instrumental. La información recolectada se utilizó para elaborar tablas de frecuencias relativas, facilitando así el análisis de los datos.

### ***Galleta de sal:***

No se observa una diferencia significativa en la humedad de las diferentes muestras posterior al horneado ( $p > 0.05$ ) en ninguna de las muestras evaluadas. Con relación a la textura, se cuantifico la fuerza que se requiere para romper la galleta, observándose que a mayor contenido del dextrano se requería una mayor fuerza para lograr el quiebre del producto, sin embargo, no hubo diferencias significativas entre las muestras ( $p > 0.05$ ). Los panelistas sensoriales destacaron cambios perceptibles en los atributos de consistencia, obteniendo la aparición del atributo “masudo” a mayor contenido de dextrano. Lo anterior se asocia a la

capacidad del dextrano de formar geles y captar mayor contenido de agua, ocasionando una masa menos aireada y más apelmazada (Peressini & Sensidoni, 2009; Sereti et al., 2023). En cuanto al atributo de crocancia de la galleta en la prueba de análisis sensorial se relacionó con el incremento de la fuerza requerida para romper la galleta, resultados similares a los obtenidos por Rodríguez y colaboradores (2022), quienes indican que al realizar la adición de fibras solubles a galletas genera una disminución de energía de disipación dada por la menor deformación plástica que la galleta tiene, generando la necesidad de una aplicación de fuerza mayor para poder romper el producto.

Tabla 18. Atributos de humedad, textura y color de la galleta de sal control y con incorporación de dextrano

% Dextrano	Humedad (%)	Dureza (gf)	L*	a*	b*	Diferencia total de color
<b>Control</b>	4.17±0,39 <sup>a</sup>	2914.0±1712.5 <sup>a</sup>	68.1±1.4 <sup>a</sup>	5.5±0.4 <sup>a</sup>	23.8±0.2 <sup>a</sup>	0,00
<b>5%</b>	4.07±0,15 <sup>a</sup>	2831.8±624.6 <sup>a</sup>	70.5±1.7 <sup>a</sup>	4.9±0.4 <sup>a</sup>	23.2±0.7 <sup>a</sup>	2,49
<b>10%</b>	3.98±0,20 <sup>a</sup>	4203.8±510.4 <sup>a</sup>	70.4±1.6 <sup>a</sup>	4.9±0.1 <sup>a</sup>	22.8±0.7 <sup>a</sup>	2,54
<b>15%</b>	4.19±0,08 <sup>a</sup>	4255.6±529.6 <sup>a</sup>	71.0±0.6 <sup>a</sup>	4.7±0.2 <sup>a</sup>	23.0±0.7 <sup>a</sup>	3,07

Fuente: Elaboración propia

El comportamiento del color de la superficie de la galleta posterior al horneado no presenta diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) en los parámetros de luminosidad ( $L^*$ ) ni en las coordenadas cromáticas rojo-verde ( $a^*$ ), amarillo-azul ( $b^*$ ), croma o matiz. Sin embargo, al evaluar la diferencia total de color ( $\Delta E^*$ ) es apenas apreciable en incorporación del 5 y 10% del dextrano y apreciable al 15%, denotando las diferencias percibidas por los panelistas del producto control frente al producto con incorporación del dextrano. El panel sensorial que evaluó el producto refiere que la galleta es principalmente de tonalidades claras o de alta luminosidad, similar a lo obtenido en el análisis instrumental. Estudios con incorporación de fibra soluble en matrices de galletería han obtenido cambios similares en los parámetros de luminosidad asociados a la mejora de la dispersión de la luz en la superficie de la galleta

(Sereti et al., 2023), además Peressini & Sensidoni (2009) reportan cambios perceptibles de color en los productos con incorporación de inulina desde el 5% de adición.

Tabla 19. Resultados de evaluación sensorial de la galleta de sal



Fuente: Elaboración propia

En cuanto a los atributos sensoriales de aroma y sabor, los panelistas destacaron un producto con aroma no característico y de sabor insípido, atributos desfavorables que prevalecieron desde la muestra control, indicando que la preparación presenta una baja calificación de sus atributos. La superficie de la galleta tiende a cambiar de ser lisa a abultada y agrietada entre mayor contenido de polímero contiene, mientras que la miga paso de ser

uniforme a compacta, afectando de forma negativa la percepción sensorial del panel. Estudios previos (Qasem et al., 2017) muestran como la aceptación general de un producto con incorporación de fibra soluble disminuye de forma directa frente a la incorporación del polímero. En consecuencia, la aceptación general del producto elaborado es superior en la muestra sin inclusión de polímero, mostrando que este producto no es recomendado para consumo habitual.

La aceptación se ve influenciada principalmente por los parámetros de consistencia y crocancia, los cuales afectan tanto la calificación de la textura a nivel de panelistas como el valor del producto a nivel instrumental. En la Tabla 19, se observa que, a medida que aumenta la concentración de polímero, también se incrementa la percepción de dureza, resultando en un producto más gomoso; este cambio ha llevado a una disminución en la crocancia, atributos que no son característicos de una galleta de sal tradicional. Como resultado, un 55% de los panelistas evaluados prefirió la muestra control sobre los productos que contenían el dextrano, sin establecer diferencias entre las adiciones del dextrano.

### ***Galleta de Avena***

Posterior al horneado, se observa una diferencia significativa entre la humedad de las muestras ( $p < 0.05$ ), siendo las muestras con mayor contenido de dextrano las que mayor humedad reportaron. Se destaca que, al ser una galleta de avena, adicional al dextrano, se encuentran los betaglucanos de la avena como fuente de fibra soluble lo que se asocia con la capacidad de absorción y retención de agua que tienen estos dos tipos de fibra, los cuales minimizan las pérdidas de humedad durante el proceso de horneado (Duta & Culetu, 2015;

Negu et al., 2020). Así mismo, se evaluó la fuerza que se requiere para romper la galleta, encontrándose que a mayor contenido de fibra se requería una mayor fuerza para lograr el quiebre del producto, teniendo diferencias significativas entre las muestras ( $p < 0.05$ ). Resultados similares se obtuvieron por Bornare & Ajaz Khan (2015), donde se hizo uso de una matriz con harina de trigo enriquecida con hojuelas de avena obteniendo un producto con una mayor dureza a mayor contenido de hojuelas de avena; resultado que contrasta con los obtenidos, Duta & Culetu (2015) quienes reportan en su estudio que se obtuvo disminución en la fuerza requerida para romper el la masa seca horneada, esto debido a que, en la formulación estudio, se empleó únicamente fibra de avena; en el presente trabajo la preparación elaborada de galleta de avena con el biopolímero se empleó harina y hojuelas de avena, generando una competencia por el agua de la matriz pudiendo ocasionar el incremento en la fuerza requerida para partir la galleta. Así mismo los panelistas en la prueba sensorial percibieron una disminución en la suavidad de la galleta a mayor contenido de polímero y avena, a su vez que la apreciación del atributo 'masudo'. De igual manera que con la galleta de sal, existe una relación directa entre la concentración del dextrano con sus propiedades plásticas dadas por su capacidad de absorber agua y formar redes, que incide en el aspecto general y en su textura produciendo una masa menos aireada y más apelmazada a mayor contenido de este (Peressini & Sensidoni, 2009; Sereti et al., 2023).

Tabla 20. Atributos de humedad, textura y color de la galleta de avena control y con incorporación de dextrano

% Dextrano	Humedad (%)	Dureza (gf)	L*	a*	b*	Diferencia total de color
<b>Control</b>	3,41±0,20 <sup>a</sup>	3531.8±253.1 <sup>a</sup>	62.7±0.3 <sup>a</sup>	8.9±0.3 <sup>a</sup>	30.0±1.0 <sup>a</sup>	0,00
<b>5%</b>	3,67±0,18 <sup>a</sup>	4432.6±586.5 <sup>ab</sup>	63.5±0,4 <sup>b</sup>	8.2±0.5 <sup>a</sup>	28.7±0.7 <sup>a</sup>	1,72
<b>10%</b>	4,3±0,36 <sup>b</sup>	4823.7±462.1 <sup>bc</sup>	63.5±0,0 <sup>b</sup>	8.5±0.2 <sup>a</sup>	28.9±0.4 <sup>a</sup>	1,49
<b>15%</b>	4,82±0,69 <sup>b</sup>	5714.5±759.2 <sup>c</sup>	63.5±0,2 <sup>b</sup>	9.2±0.7 <sup>a</sup>	29.4±1.0 <sup>a</sup>	1,09

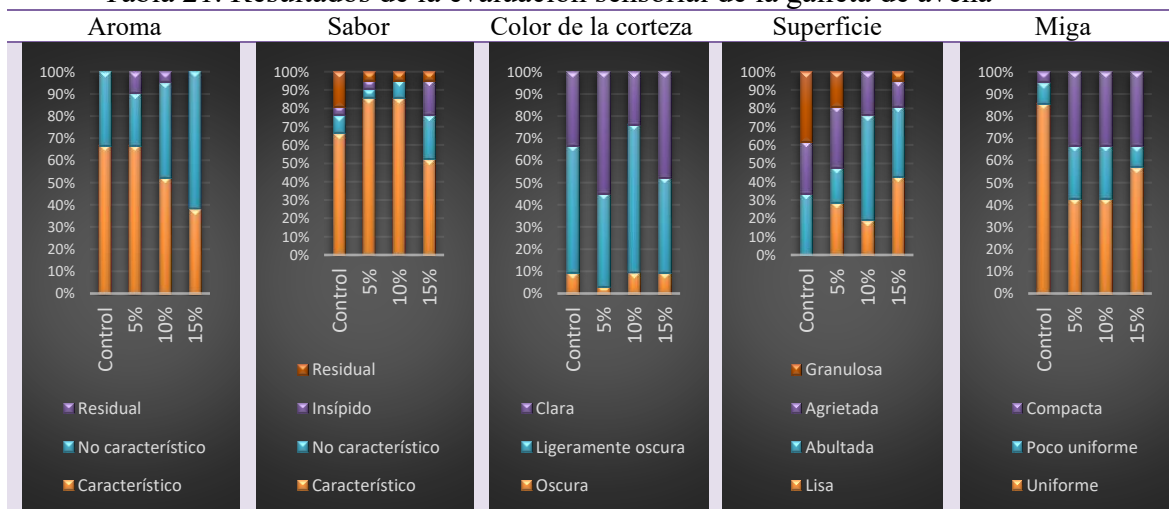
Fuente: Elaboración propia

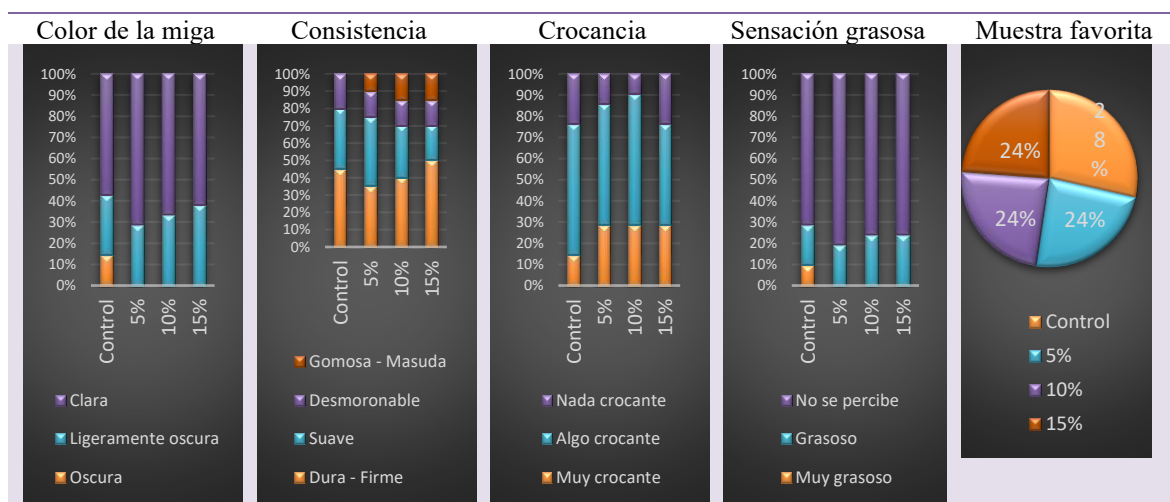
El comportamiento del color de la superficie de la galleta posterior al horneado no presenta diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) en las coordenadas cromáticas rojo-verde ( $a^*$ ), amarillo-azul ( $b^*$ ), croma o matiz. Sin embargo, si existe diferencia significativa en los parámetros de luminosidad ( $L^*$ ) desde la incorporación de polímero al 5%. Por otro lado, esta diferencia es apenas apreciable en la muestra del 5% de incorporación dado que la diferencia total de color ( $\Delta E^*$ ) denota diferencia únicamente en esta muestra. A nivel de evaluación sensorial se presenta el 90% de percepción entre clara y ligeramente clara para todas las muestras. Duta & Culetu (2015) en su estudio, obtuvieron una diferencia total de color apreciable al realizar la incorporación del 100% de salvado de avena en sus formulaciones, mostrando así que una matriz con avena permite una incorporación importante de fibra sin afectar sus atributos visuales, sin embargo, es necesario evaluar esta adición con cada compuesto de forma individualizada dado al efecto que pueda generar en el producto final.

El panel sensorial percibió una disminución del aroma proporcional al contenido de dextrano, mientras que el sabor de una galleta de avena, con alto contenido fue el esperado hasta la incorporación del 10% de este. Hong et al. (2012) concluyeron en su desarrollo de alimentos funcionales que gran parte de la aceptación sensorial de las galletas en general se da por sabor y aroma, siendo afectado por el contenido de fibra que se incorpora en la masa,

denotando que a mayor contenido del compuesto se van a disminuir estos atributos; sin embargo, en el caso de la galleta de avena desarrollada, el atributo de sabor no se ve afectado hasta la incorporación del 15% del dextrano, resultado afín también con los resultados de Qasem et al., quienes indican que la aceptación de un producto disminuye a medida que incrementa la adición de fibra soluble. Frente a la apariencia general del producto, el panel sensorial indicó que el producto pasó de presentar una superficie granulosa y abultada en la muestra control a una superficie lisa-abultada en el producto con adición, posiblemente asociada a la capacidad de absorción y retención de agua, que al no permitir la salida en forma de vapor de agua al momento del horneado, permitió obtener una superficie más uniforme y compacta en el producto terminado. De igual manera, la incorporación del dextrano afectó en la percepción de la miga de la galleta, pasando de tener una miga uniforme ligeramente esponjosa a una miga uniforme pero más compacta, lo cual también se puede asociar al mecanismo consignado anteriormente (Negu et al., 2020).

Tabla 21. Resultados de la evaluación sensorial de la galleta de avena





Fuente: Elaboración propia

Al igual que la galleta de sal, los parámetros de consistencia y crocancia son cruciales al momento de evaluar una galleta. En la tabla 21 se observa que a medida que incrementa el contenido de fibra hay un ligero incremento en la percepción de dureza, así como el incremento en la gomosidad del producto,; con relación a la crocancia, se observa que los panelistas no perciben diferencia entre los tratamientos, posiblemente asociado a la incorporación tanto de hojuelas como harina de avena, las cuales generan una percepción variable para los productos derivados de estos ingredientes, generando que el panel no perciba una diferencia marcada entre los producto, sin importar en nivel de incorporación del dextrano.

### **Colación**

No hubo diferencia significativa entre la humedad de las muestras posterior al horneado ( $p > 0.05$ ), observándose la misma tendencia de los productos ya evaluados. Se evaluó la energía requerida para romper la galleta, encontrándose que no existe diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) en la fuerza necesaria para lograr el quiebre sin importar el contenido de fibra del

producto. Este tipo de galleta tiende a ser de baja densidad y frágil al momento de aplicarle una fuerza externa, Los resultados del análisis sensorial presentan la misma tendencia que la observada instrumentalmente donde al menos el 70% resaltaron su consistencia desmoronable característica de este tipo de producto dado su alto contenido de grasa (Kozłowska et al., 2019). Así mismo, la fuerza requerida para lograr el ‘snap’ del producto es la menor comparada con las otras muestras de galletas dado a la naturaleza de esta. Al igual que en la galleta de sal, no existe diferencia significativa entre las muestras ( $p>0.05$ ). En general, el panel sensorial catalogó las muestras como un producto algo crocante, resultado similar al obtenido por Rodríguez García et al. en galletas tipo colación con incorporación de diferentes tipos de fibras solubles y concluyen que la inclusión de fibra soluble actúa sobre la masa como un agente plastificante, reteniendo agua y construyendo una red de bloques, la cual apoya la formación de una estructura firme con resistencia a la penetración al momento de partir la galleta.

Tabla 22. Atributos de humedad, textura y color de colación control y con incorporación de dextrano

% Dextrano	Humedad (%)	Dureza (gf)	L*	a*	b*	Diferencia total de color
<b>Control</b>	4.17±0.32 <sup>a</sup>	684.7±112.0 <sup>a</sup>	86.1±0.3 <sup>a</sup>	2,44±0,16 <sup>a</sup>	19,60±0,75 <sup>a</sup>	0,00
<b>5%</b>	4.19±0.24 <sup>a</sup>	615.4±126.5 <sup>a</sup>	85.4±1.1 <sup>ab</sup>	2,77±0,04 <sup>ab</sup>	20,03±0,59 <sup>a</sup>	0,87
<b>10%</b>	4.31±0.10 <sup>a</sup>	708.3±191.2 <sup>a</sup>	84.4±0.9 <sup>c</sup>	3,19±0,11 <sup>c</sup>	20,15±0,77 <sup>a</sup>	1,89
<b>15%</b>	4.38±0.18 <sup>a</sup>	637.8±171.8 <sup>a</sup>	83.8±0.2 <sup>bc</sup>	3,45±0,31 <sup>bc</sup>	21,39±0,84 <sup>a</sup>	3,06

Fuente: Elaboración propia

El comportamiento de la colación posterior al horneó presentó diferencias significativas ( $p<0.05$ ) en los parámetros de luminosidad y en la coordenada cromática  $a^*$ . Esto se puede asociar a los cambios ocasionados por la reacción de Maillard, en donde interactúan los aminoácidos con los azúcares incorporados en la masa, logrando coloraciones más rojizas y oscuras al incrementar el contenido de dextrano, característicos de esta

reacción (Dziki et al., 2022). La diferencia total de color es apenas evidente al 10% de incorporación de dextrano y apreciable al 15% tal como se puede observar en la tabla 16. Resultados similares obtuvieron Dziki et al. (2022) en la elaboración de galletas de tipo polvorosa a las cuales se les incorporó hasta el 20% de fibra de avena, con diferencias significativas entre las muestras y una diferencia total de color marcada asociada al contenido de melanina en la avena. La evaluación sensorial realizada por el panel no entrenado indicó que el producto tiene tonalidades claras o ligeramente oscuras, lo cual se relaciona a lo obtenido en las pruebas instrumentales.

Tabla 23. Resultados de la evaluación sensorial de la colación



Fuente: Elaboración propia

Los atributos de aroma referidos por el panel sensorial son del 50% al de una galleta y el otro 50% a no característico o residual para todas las muestras, implicando un resultado desfavorable para el consumo del producto; sin embargo, el sabor la colación reportado fue característico en más del 60% de los panelistas para todas las muestras. Se resalta la encapsulación de aromas dada la red que forma el gel de polímero, atrapando y evitando la liberación de aromas al momento de ser evaluada por el panelista (Hong et al., 2012). La aceptación general de las colaciones se afectó principalmente por la afectación en la crocancia del producto, el cual perdió la crocancia asociado a la incorporación del dextrano (Tabla 23). En cuanto a la consistencia se dio la aparición de textura conforme incrementó el dextrano.

En la galleta de sal se observó una favorabilidad del 55% en la muestra control, tendencia similar obtenida con la galleta control de colación con aceptación del 45%. Caso contrario se observó en galleta de avena, dado que los resultados indican que los panelistas no indicaron diferencia entre las muestras con adición de dextrano. En resumen, entre los productos de panadería de baja humedad el producto mejor calificado fue galleta de avena.

### ***Muffin***

Los muffins elaborados no presentaron diferencia significativa entre las muestras en el parámetro de humedad ( $p > 0.05$ ). Palacio et al. (2018) desarrollaron muffins con fibra de semilla de calabaza con inclusión de hasta el 20%, obteniendo resultados similares en los cuales no había diferencias significativas de humedad entre las muestras con adición de fibra.

Dada la naturaleza de este producto de panadería, se evaluaron diferentes parámetros: Dureza, adhesividad, elasticidad, cohesividad, gomosidad, masticabilidad y resiliencia

En el perfil de textura, la adición de dextrano generó cambios significativos en la dureza y gomosidad ( $p < 0.05$ ). Estos cambios en la consistencia fueron perceptibles por el panel sensorial quien indicó un cambio de consistencia suave característico de la muestra control, con ligera modificación en las muestras con 5 y 10 % de adición a una gomosa – masuda con incorporación del 15% del dextrano en un 90% de la población evaluada. Se resalta que al menos 50% de los panelistas percibieron una textura suave característica tanto en la muestra control como en la adicionada con 5 y 10 % de dextrano. En estudios aislados se ha reportado que al incluir diferentes tipos de fibra soluble se ocasiona un incremento en la dureza del muffins horneado; del mismo modo se reporta la generación de un incremento de la densidad del producto terminado ocasionando un menor volumen o apelmazamiento del muffin, apreciable también en los resultados consignados en la tabla 16 (Aydogdu et al., 2018; Qasem et al., 2017).

La adhesividad se entiende como el trabajo necesario para vencer las fuerzas de atracción entre la superficie del alimento y los materiales con el que este entra en contacto. Para las muestras de muffin se observó una tendencia de una menor adhesividad a mayor contenido de dextrano, sin diferencias significativas entre las muestras ( $p > 0.05$ ). Datos similares se obtuvo por Alemán Huerta et al. (2023) quienes elaboraron mezquite mexicano, el cual al ser incorporado a la preparación de muffins ocasionó una menor adhesividad del producto elaborado.

Tabla 24. Características de textura del muffin patrón y con inclusión de dextrano

% Dextrano	Humedad (%)	Dureza (gf)	Adhesividad (g)	Elasticidad	Cohesividad	Gomosidad	Masticabilidad	Resiliencia
<b>Control</b>	19,29±1,10 <sup>a</sup>	1982.0±320.8 <sup>ab</sup>	-23.2±13.1 <sup>a</sup>	0.8±0.0 <sup>a</sup>	0.4±0.0 <sup>a</sup>	1102.2±201.9 <sup>ab</sup>	849.9±121.3 <sup>a</sup>	0.1±0.0 <sup>a</sup>
<b>5%</b>	19,72±0,27 <sup>a</sup>	1629.9±520.5 <sup>a</sup>	-59.3±32.9 <sup>a</sup>	0.7±0.3 <sup>a</sup>	0.5±0.0 <sup>a</sup>	959.2±233.8 <sup>a</sup>	700.4±428.4 <sup>a</sup>	0.1±0.0 <sup>a</sup>
<b>10%</b>	19,35±2,27 <sup>a</sup>	2528.5±157.0 <sup>ab</sup>	-65.6±45.6 <sup>a</sup>	0.7±0.0 <sup>a</sup>	0.4±0.0 <sup>a</sup>	1381.6±107.2 <sup>ab</sup>	970.4±136.1 <sup>a</sup>	0.1±0.0 <sup>a</sup>
<b>15%</b>	16,45±2,11 <sup>a</sup>	3080.8±668.4 <sup>b</sup>	-46.2±8.3 <sup>a</sup>	0.6±0.1 <sup>a</sup>	0.4±0.0 <sup>a</sup>	1611.6±300.4 <sup>b</sup>	952.2±112.3 <sup>a</sup>	0.1±0.0 <sup>a</sup>

Fuente: Elaboración propia

La elasticidad es el parámetro que evalúa el efecto en la estructura posterior a la primera compresión, y se relaciona con las burbujas de aire atrapadas en la masa durante el horneado. La incorporación del dextrano a la mezcla de muffins se asoció con una disminución de este valor frente a la muestra control, sin diferencias significativas ( $p>0.05$ ). Herranz et al. (2016) obtuvieron en masas de muffin y pasteles resultados similares en donde al realizar adición de goma xantan hasta el 1%, inulina hasta el 15% o la mezcla de estas, ocasionó una disminución en la elasticidad de la masa, de mismo modo Qasem et al. (2017), Alemán Huerta et al. (2023) y (Garay Quintero, 2017) reportan en sus investigaciones que la incorporación de fibra en la matriz genera una disminución en la elasticidad de muffins y tortas.

La cohesividad indica la capacidad de deformación que tiene un material antes de romperse, lo cual depende del grado de organización de su estructura. El comportamiento demostrado mostró que no hubo diferencia significativa entre los datos obtenidos ( $p>0.05$ ), sin embargo, se destaca la tendencia a disminuir frente a mayor adición de dextrano. Diferentes estudios reportan que este comportamiento es usual en productos de panadería dado que se da dilución del gluten, lo cual evita la formación de una red tridimensional estable que le permita resistir a la deformación (Alemán Huerta et al., 2023; Herranz et al., 2016; Qasem et al., 2017).

La gomosidad expresa la energía requerida para desintegrar un alimento semisólido a un estado listo para ser deglutido. Este parámetro como ya me mencionó previamente, si presentó diferencias significativas entre las muestras ( $p<0.05$ ) con una tendencia a incrementar conforme aumenta la inclusión del dextrano. Alemán Huerta et al. reportan en

su investigación que al realizar la incorporación del mesquite y generar la dilución del gluten, incrementa la gomosidad del producto (Peressini & Sensidoni, 2009; Sereti et al., 2023), esto sumado a la capacidad del dextrano de captar y retener agua, genera una textura gomosa, la cual en el análisis sensorial del producto se marcó notoriamente dado que el muffin un cambio de consistencia de suave a gomosa – masuda frente al incremento de adición de dextrano.

La masticabilidad es el atributo secundario de textura mecánica que corresponde a la energía requerida para masticar un alimento hasta que esté listo para ser deglutido, así que resulta de una combinación entre la dureza, elasticidad y cohesividad. Este parámetro no presentó diferencias significativas entre las muestras ( $p>0.05$ ), sin embargo, la tendencia de los productos fue a requerir mayor energía para poder masticarse frente a la muestra control, en términos sensoriales, el panel evaluador percibió el cambio de la consistencia de los productos de suave a gomosa a mayor inclusión del polímero. Resultados similares se obtuvieron por Herranz et al. (2016) quienes desarrollaron muffins con inclusión de biopolímeros de fibra soluble, los cuales, a su vez, incrementaron la dificultad en su masticación al ser evaluados por un panel experto.

La resiliencia refleja la mayor o menor simetría de la curva de la primera compresión en el TPA, y está relacionada con el grado al cual la muestra se recupera cuando la compresión cesa. Este parámetro no presentó diferencias significativas entre las muestras ( $p>0.05$ ), sin embargo, se observó una tendencia a presentar una menor recuperación de su forma inicial frente a la muestra control. Herranz et al. (2016) obtuvieron resultados similares en sus productos, con valores de resiliencia significativamente menores en muffins. Este comportamiento se asocia a la disminución de interacción de fuerzas intermoleculares

entre los ingredientes del producto como el gluten, ocasionando un mayor tiempo de recuperación posterior a la compresión.

El comportamiento del color de la superficie del muffin posterior al horneado no presenta diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre las muestras, sin embargo, se evidencia la tendencia a la disminución de  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , croma y matiz conforme incrementa la adición de polímero. De igual manera, en  $\Delta E^*$  se evidencia que a mayor incorporación de polímero se tiene una mayor diferencia de color frente a la muestra patrón, siendo no apreciable al 5%, apenas apreciable al 10% y apreciable al 15%. El panel sensorial indica una marcada tendencia en percepción de tonalidades claras hasta la incorporación del 10% del polímero. Resultados similares se obtuvieron por Alemán Huerta et al. (2023) quienes al realizar al incorporar mayor harina de mesquite tuvieron una disminución marcada y significativa de los parámetros del color de sus productos con el mismo patrón de comportamiento a los realizados con el dextrano.

Tabla 25. Características de color del muffin control y con inclusión de dextrano

% Dextrano	$L^*$	$a^*$	$b^*$	Diferencia total de color
<b>Control</b>	54.3±1.5 <sup>a</sup>	11.7±0.8 <sup>a</sup>	39.4±3.6 <sup>a</sup>	0.00
<b>5%</b>	53.5±0.4 <sup>a</sup>	11.6±0.1 <sup>a</sup>	40.2±1.2 <sup>a</sup>	1.14
<b>10%</b>	53.3±0.4 <sup>a</sup>	11.3±0.4 <sup>a</sup>	37.7±2.8 <sup>a</sup>	2.04
<b>15%</b>	53.7±0.9 <sup>a</sup>	10.5±0.4 <sup>a</sup>	34.8±2.8 <sup>a</sup>	4.82

Fuente: Elaboración propia

En la evaluación sensorial de aroma, los panelistas refirieron que este atributo se encontraba de manera característica en al menos el 70% de las muestras sin importar la adición de dextrano, con una tendencia a la disminución conforme incrementa la inclusión del polímero. De manera similar se comportó la percepción de sabor del producto, el cual se percibió de manera característica para la mayoría de los panelistas, siendo las mejores

calificadas las muestras control y al 10% de incorporación (> 80%) y con una disminución apreciable (60%) con incorporación del 5 y 10%. Como se mencionó previamente, la incorporación de fibras a las masas de productos horneados ocasiona una disminución en los atributos sensoriales de sabor y aroma (Hong et al., 2012).

Frente a la apariencia en la superficie del producto, el panel sensorial indicó un cambio de agrietado a abultado – granuloso en cuanto hay mayor incorporación de polímero, posiblemente asociado a la capacidad de absorción y retención de agua del producto, ya que al dada la viscosidad de la masa no permitió elaborar muestras uniformes, lo cual cambió la percepción final del producto horneado. De igual manera, la incorporación del biopolímero afectó en la percepción de la miga del muffin, pasando de tener una miga uniforme y ligeramente esponjosa a una poco uniforme y compacta, lo cual también se puede asociar a la capacidad de retener el agua en la matriz durante los procesos de horneado (Negu et al., 2020).

Tabla 26. Resultados de la evaluación sensorial del muffin



Fuente: Elaboración propia

La aceptación general del producto elaborado se ve influenciada por la consistencia del producto, el cual, a medida que incrementa el dextrano, se torna de textura más gomosa, siendo la inclusión del 15% del dextrano en la que predomina este atributo (Tabla 26). Lo anterior se asocia a la capacidad del polímero de formar redes tridimensionales con el agua disponible (Peressini & Sensidoni, 2009; Sereti et al., 2023). La tendencia del panel se da hacia la muestra control, con una baja preferencia a la inclusión del dextrano en porcentajes de 5 y 15% de inclusión.

### ***Ponqué***

Los ponqué elaborados no tuvieron diferencia significativa entre las muestras en el parámetro de humedad ( $p>0.05$ ). Gularte et al. (2012) desarrollaron masas de ponqué con inclusión de diferentes tipos de fibras solubles (inulina, goma guar y fibra de avena) con inclusión de hasta el 20%, obteniendo productos terminados sin diferencias significativas de humedad entre las muestras.

En el perfil de textura, la adición de dextrano generó cambios significativos en la gomosidad del producto terminado ( $p<0.05$ ). Se destaca que la dureza en el ponqué, aunque no presentó diferencia significativa entre las muestras, tuvo una tendencia marcada al incremento de fuerza necesaria para perforar su superficie a mayor contenido de dextrano. El cambio en la consistencia del producto elaborado se percibió por el panel sensorial quien denotó una tendencia marcada en percepción de una textura gomosa o masuda. Qasem et al. (2017) en su desarrollo de masas de torta con inclusión de fibra soluble de quimbombó, observó que desde la inclusión del 4% de este polímero se obtuvo un cambio significativo en la dureza del producto horneado, lo que a su vez incremento la densidad del mismo generando una torta de menor volumen, lo cual se puede evidenciar en el material fotográfico de la tabla 16. De igual modo, Aydogdu et al. (2018) evaluaron el efecto de diferentes tipos de fibras funcionales en la dureza de tortas, así como su relación con el volumen específico del producto terminado, concluyendo que con adición del 10% de fibra se genera un incremento de la densidad del producto, ocasionando el aumento de energía necesaria para penetrar la superficie. Lo anterior se aprecia en el material fotográfico, en el cual se observa el apelmazamiento del producto terminado. La adhesividad del producto elaborado, al igual

que en la muestra de muffin se destacó por tener una tendencia al incremento, sin diferencias significativas entre las muestras ( $p>0.05$ ). Comportamiento similar obtuvo Garay Quintero (2017) quien realizó sustitución de grasa con el dextrano en estudio obteniendo una menor adhesividad del producto frente a las superficies con las que entra en contacto con una diferencia significativa entre las muestras a mayor contenido de dextrano (25 y 35%) en comparación a la muestra control y con adición del 15% del polímero. La elasticidad de las tortas no obtuvo diferencias significativas con la inclusión del dextrano ( $p>0.05$ ), sin embargo, se resalta la tendencia a la disminución de la elasticidad del ponqué conforme incrementa la incorporación de este, tal como reportan estudios previos (Alemán Huerta et al., 2023; Garay Quintero, 2017; Herranz et al., 2016; Qasem et al., 2017). La cohesividad del producto no tuvo diferencias significativas frente a los datos obtenidos ( $p>0.05$ ) más existe la tendencia a una menor capacidad de deformación al aplicar una fuerza entre mayor sea la incorporación del dextrano, dado que a menor contenido de gluten disponible se conforma una red tridimensional más débil, es decir, menos resistente a la deformación (Alemán Huerta et al., 2023; Herranz et al., 2016; Qasem et al., 2017).

Tabla 27. Características de textura del ponqué patrón y con inclusión de dextrano

% Dextrano	Humedad (%)	Dureza (gf)	Adhesividad (g)	Elasticidad	Cohesividad	Gomosidad	Masticabilidad	Resiliencia
<b>Control</b>	20.45±0.92 <sup>a</sup>	3215.6±239.0 <sup>a</sup>	-264.2±9.1 <sup>a</sup>	0.7±0.0 <sup>a</sup>	0.4±0.0 <sup>a</sup>	1787.3±62.5 <sup>a</sup>	1222.2±22.5 <sup>a</sup>	0.1±0.0 <sup>a</sup>
<b>5%</b>	21.76±1.26 <sup>a</sup>	4702.3±262.4 <sup>a</sup>	-246.1±31.3 <sup>a</sup>	0.7±0.1 <sup>a</sup>	0.4±0.0 <sup>a</sup>	2543.1±162.4 <sup>b</sup>	1647.7±268.8 <sup>a</sup>	0.1±0.0 <sup>a</sup>
<b>10%</b>	19.83±0.17 <sup>a</sup>	4505.0±600.2 <sup>a</sup>	-444.8±92.7 <sup>a</sup>	0.6±0.1 <sup>a</sup>	0.4±0.0 <sup>a</sup>	2257.3±177.5 <sup>c</sup>	1355.9±280.1 <sup>a</sup>	0.1±0.0 <sup>a</sup>
<b>15%</b>	19.91±0.39 <sup>a</sup>	4717.3±840.1 <sup>a</sup>	-385.5±45.9 <sup>a</sup>	0.6±0.1 <sup>a</sup>	0.4±0.1 <sup>a</sup>	2604.0±15.8 <sup>bc</sup>	1479.0±246.1 <sup>a</sup>	0.1±0.0 <sup>a</sup>

Fuente: Elaboración propia

El parámetro de gomosidad presentó cambios significativos frente a la muestra control en las tortas ( $p<0.05$ ) con una tendencia marcada a incrementar a mayor contenido de dextrano. Este parámetro se evidencia en la prueba sensorial al panelista percibir la consistencia más gomosa-masuda a mayor inclusión de dextrano. La capacidad del dextrano

a retener agua y la formación de una estructura tridimensional débil por la dilución del gluten genera un cambio en la textura del producto siendo ésta más gomosa (Alemán Huerta et al., 2023; Peressini & Sensidoni, 2009; Sereti et al., 2023).

La masticabilidad no presentó diferencias significativas entre las muestras ( $p>0.05$ ), sin embargo, se destaca la tendencia de requerir mayor energía para la deformación en la boca, lo cual puede influenciar la respuesta de los panelistas no entrenados al percibir más gomosa las muestras a mayor inclusión del polímero. En estudios previos de inclusión de fibra soluble en tortas, se observó un mayor incremento en la dificultad de masticación en los productos finales al ser evaluados por un panel experto, así como un incremento en la firmeza del producto a mayor contenido de fibra (Qasem et al., 2017). Por su parte la resiliencia del producto, aunque tampoco presentó diferencias significativas entre las muestras ( $p>0.05$ ) presentó la tendencia a mostrar una menor recuperación de su forma inicial frente a la muestra control. Qasem et al. (2017) obtuvieron resultados similares en sus productos, con valores de resiliencia significativamente menores en tortas, asociado a la disminución de interacción de fuerzas intermoleculares entre los ingredientes del producto como el gluten, generando un incremento en el tiempo de recuperación posterior a la compresión.

El comportamiento del color de la superficie del ponqué posterior al horneado tampoco presenta diferencias significativas entre las muestras ( $p>0.05$ ). Al igual que con los muffins se evidencia la tendencia a la disminución de  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , croma y matiz conforme incrementa la adición de polímero. Por otro lado, aunque no haya cambios significativos de los parámetros previamente mencionados, la diferencia total de color ( $\Delta E^*$ ) de los productos se cataloga como notable desde la incorporación del polímero frente a la muestra control.

Estudios previos en elaboración de diferentes productos de panadería (tortas, ponqués y muffin) denotan cambios importantes y perceptibles en la corteza de los productos asociados a la relación de la fibra con los demás ingredientes, minimizando la aparición de tonalidades caramelo características de la reacción de Maillard (Alemán Huerta et al., 2023; Aydogdu et al., 2018; Kotsiou et al., 2022).

Tabla 28. Características de color del ponqué control y con inclusión de dextrano

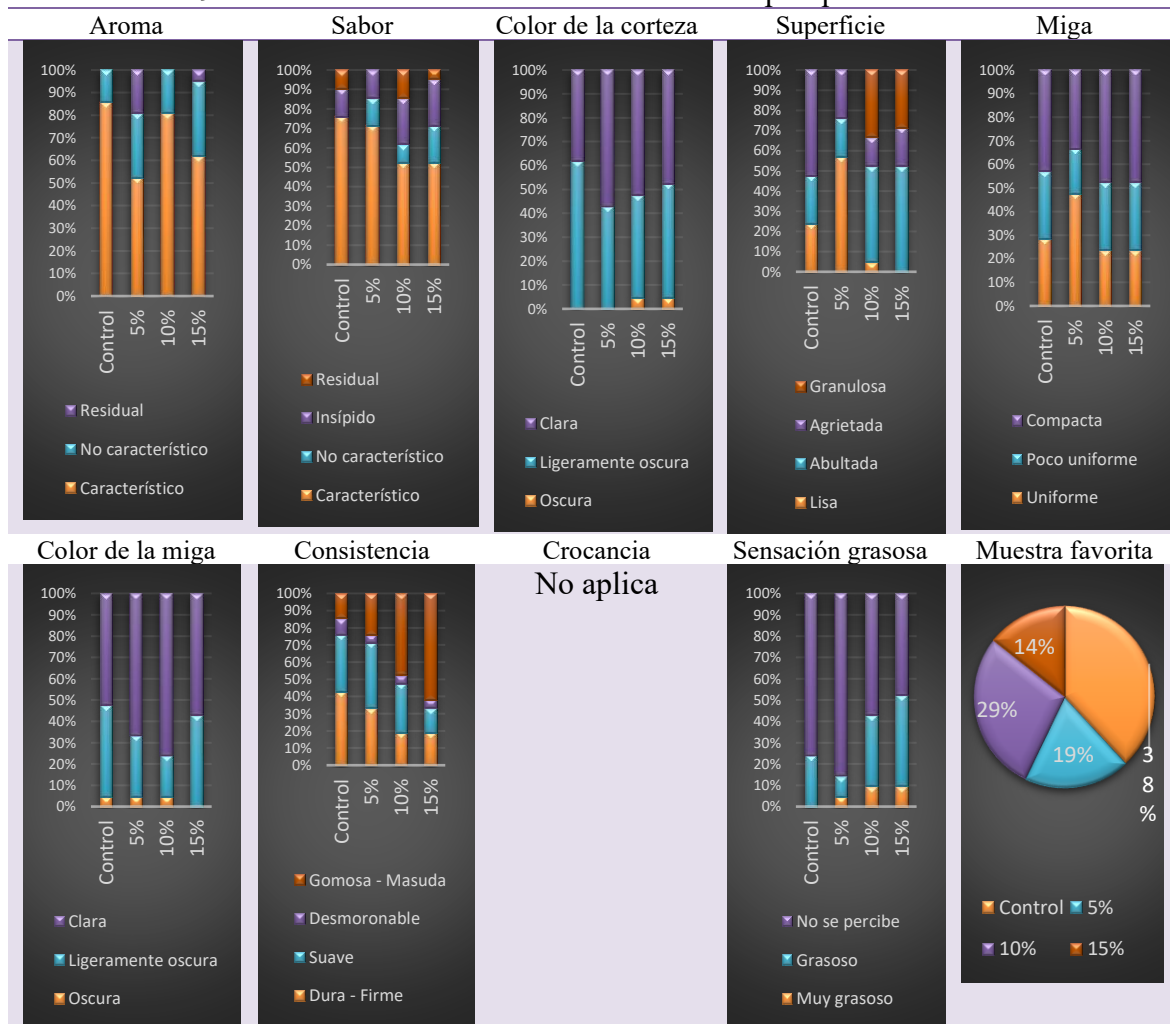
	L*	a*	b*	Diferencia total de color
<b>Control</b>	52.2±1.0 <sup>a</sup>	13.7±0.2 <sup>a</sup>	49.1±0.3 <sup>a</sup>	0.00
<b>5%</b>	51.7±1.6 <sup>a</sup>	11.7±0.1 <sup>b</sup>	39.4±2.6 <sup>a</sup>	9.98
<b>10%</b>	51.4±1.4 <sup>a</sup>	12.7±0.6 <sup>ab</sup>	41.7±2.3 <sup>a</sup>	7.53
<b>15%</b>	50.6±3.4 <sup>a</sup>	11.9±0.4 <sup>ab</sup>	41.7±3.4 <sup>a</sup>	7.83

Fuente: Elaboración propia

La evaluación sensorial del aroma percibido por los panelistas no entrenados indicó en las muestras control y del 10% de adición de dextrano un aroma característico, sin embargo, en 5 y 15% de adición una disminución en la percepción de los aromas. El sabor se percibió de manera característica en la muestra control y con el 5% de adición de dextrano en al menos el 70% de los panelistas, el cual disminuye hasta el 50% en las muestras del 10 y 15%, lo anterior asociado, en condiciones similares a muffins, a que la incorporación de biopolímeros de fibra soluble en productos horneados genera un atrapamiento de los compuestos aromáticos que se encargan del sabor y aroma, ocasionando una disminución en la percepción de estos mismos (Hong et al., 2012).

En cuanto a la apariencia de la superficie del ponqué, se presentó una transición de un producto principalmente agrietado en la muestra control, a uno liso (5% de incorporación) y posteriormente abultado (10 y 15% de adición de dextrano), posiblemente relacionado con el cambio en la viscosidad de la masa, lo que no permitió formar masas húmedas uniformes. Por otro lado, la percepción de la miga del ponqué presentó una transición de poco uniforme a compacta de igual modo relacionado con la capacidad que tiene el dextrano en captar agua y retenerlo en su composición durante los procesos de horneado (Negu et al., 2020).

Tabla 29. Resultados de la evaluación sensorial del ponqué



Fuente: Elaboración propia

La aceptación general del producto elaborado es influenciada también por el atributo de consistencia, el cual va modificándose de dura y suave en el producto control a gomosa a medida que incrementa la concentración del dextrano (Tabla 29). La tendencia en favorabilidad de los panelistas es por la muestra control, sin embargo, el 62% de ellos tuvieron preferencia por alguna muestra con inclusión de dextrano, denotando en cierta medida que no evidencian diferencias que afecten de manera negativa al producto elaborado.

En general, al momento de elaborar los productos de panadería con la incorporación del dextrano, se da una competencia por el agua disponible entre el almidón, la proteína (gluten para los productos elaborados), y el dextrano, siendo este último el más afín con el agua del medio, captándola y ejerciendo cambios en la textura del producto terminado. Adicionalmente, esta competencia por el agua del alimento conlleva a una limitada hidratación del gluten generando efectos sobre la dureza y la gomosis, dando como resultado final un producto con una miga más apelmazada; en productos que requieran aumento de volumen como el pan o los muffin, su esponjosidad se verá afectada (Nawrocka et al., 2017; Zhou et al., 2021). En general, productos como galletas, se observó menos grado de efecto, por el contrario, en productos con un mayor contenido de agua como los ponqué o muffin, se presentó un efecto importante perceptible tanto de manera instrumental como sensorial por los panelistas.

Para productos de masa húmeda, es más viable hacer uso de ponqué frente a la masa de muffin, dada la tendencia de no evidenciar diferencias entre los tratamientos. Los muffin por su parte, dado a que se caracterizan por ser productos esponjosos, al momento de incorporar el dextrano pierden esta característica, siendo afectada de manera directa su estructura y aceptación general.

### **3.4 Efecto del dextrano en la velocidad de tránsito intestinal**

Para la determinación del efecto de ciertas sustancias y preparaciones en el organismo se hace uso de ensayos biológicos o bioensayos, los cuales se encargan de evaluar los resultados de su aplicación en un órgano u organismo vivo. En estos procesos, se hace uso de una sustancia patrón y una sustancia a estudiar, con el objetivo de determinar la cantidad de sustancia que se requiere para obtener un resultado esperado frente a la referencia. Se resalta que, el patrón y el experimental sean realizados en el mismo momento

con el fin de garantizar la homogeneidad en las condiciones (Dirección Europea de Calidad de los Medicamentos, 2000).

Con base a estudios previos realizados (Garay Moreno, 2017; Garay Quintero, 2017), se estableció un número de participantes entre 25 y 30. En el estudio participaron 25 personas (14 hombres y 11 mujeres). Se conformó un grupo inicial de 30 personas, 3 fueron excluidas por no cumplir con los criterio de inclusión y 2 por voluntad propia. En la tabla 30 se recopila la información antropométrica de los participantes del ensayo biológico.

Tabla 30. Características antropométricas de los participantes del ensayo biológico

	<b>Hombres</b>	<b>Mujeres</b>	<b>Ambos sexos</b>
<b>Participantes</b>	14	11	25
<b>Peso (kg)</b>	63.8±9.0	56.2±5.6	60.6±8.5
<b>Talla (m)</b>	1.70±0.08	1.61±0.06	1.66±0.08
<b>IMC (kg/m<sup>2</sup>)</b>	22.0±2.1	21.7±2.0	21.8±2.0
<b>Perímetro de cintura (cm)</b>	83.4±6.5	74.3±5.1	78.7±5.8
<b>Grasa corporal (%)</b>	15.8±3.9	24.4±5.3	19.4±4.4

Fuente: Elaboración propia

En la anamnesis alimentaria se observó que el 60% de los participantes consumían de manera ocasional bebidas alcohólicas y un 40% aseguró no consumirlas nunca; 100% de los voluntarios no consumen sustancias psicoactivas ni cigarrillo. 68% de los participantes reportaron uno o más trastornos gastrointestinales leves (36% distensión abdominal, 48% flatulencia, 20% dolor abdominal, 24% estreñimiento) asociados principalmente a estrés o consumo específico de ciertos alimentos. En cuanto a los hábitos de alimentación de los participantes, el 100% consume una dieta normal, sin incorporación de suplementos ni complementos de manera regular. Cuatro personas presentaron alergias alimentarias, chocolate, maní, piña y pescado, se garantizó que el vehículo a utilizar no contenía ninguno

de estos productos o subproductos. Los participantes refirieron un consumo de  $3.7 \pm 1.1$  tiempos de comida al día, siendo dos en sus hogares, y uno ya fuera en su lugar de estudio o trabajo según correspondiera.

El global recordatorio permitió realizar el análisis indirecto del aporte nutricional de los alimentos consumidos en un día habitual de los participantes, observando una ingesta energética promedio de  $1469 \pm 201$  kcal/día, con una distribución calórica porcentual del 20% para proteína ( $72.6 \pm 10.3$  g/día), 30% para grasa ( $49.1 \pm 9.6$  g/día) y 50% para carbohidratos ( $163.2 \pm 35.8$  g/día). El aporte calórico en general se encuentra por debajo (63%) de lo recomendado para este grupo de participantes 2200 kcal/día según las recomendaciones de ingesta de energía y nutrientes, empleando un PAL correspondiente a un nivel de actividad física leve. El Rango Aceptable de Distribución de Macronutrientes (AMDR por sus siglas en inglés), con base en el consumo promedio de calorías del grupo, muestra una ingesta normal-alta de proteína asociada al consumo de proteína de origen animal, adecuado para la ingesta de alimentos fuente de grasa y, normal bajo para los alimentos fuente de carbohidratos el cual se asocia a la baja ingesta de alimentos del grupo de cereales, raíces, tubérculos y plátanos. La ingesta media de fibra dietaria se observó por debajo de los valores de ingesta adecuada para la población colombiana (51 %); esto se asocia a un bajo consumo de cereales integrales, leguminosas, frutas y verduras reportadas por el grupo de participantes.

Tabla 31. Ingesta de energía, macronutrientes y fibra dietaria de los participantes del ensayo biológico; estimada por análisis químico indirecto

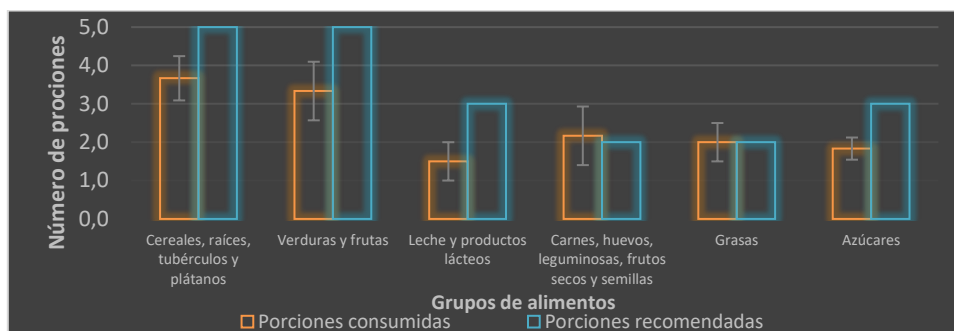
<b>Nutriente</b>	<b>Requerimiento</b>	<b>Ingesta promedio</b>	<b>% de adecuación</b>
<b>Energía (Kcal)</b>	2200	$1469 \pm 201$	63
<b>Proteína (g)</b>	110.0	$72.6 \pm 10.3$	66
<b>Grasas (g)</b>	73.3	$49.1 \pm 9.6$	66

<b>Carbohidratos</b>	275.0	163.2±35.8	60
<b>Fibra total</b>	30.8	15.6±7.3	51
<b>%AMDR</b>	<p>A pie chart with a dark background showing the distribution of macronutrients. The chart is divided into three segments: a large green segment representing Carbohidratos at 50%, a red segment representing Grasas at 30%, and a blue segment representing Proteína at 20%. A legend to the right of the chart identifies the colors: blue for Proteína, red for Grasas, and green for Carbohidratos.</p>		

Fuente: Elaboración propia

La ilustración 3, presenta de manera gráfica los datos de frecuencia de las porciones consumidas promedio de los participantes del estudio y su comparación con la frecuencia de consumo de porciones sugeridas lo cual permite comparar con el aporte de macronutrientes y fibra y la recomendación diaria. Estos datos contrastan con los valores obtenidos del global recordatorio 24 horas, en donde, el número de porciones de alimentos fuentes de proteína es mayor y el correspondiente a grasas es igual al sugerido y por el contrario el número de porciones de alimentos fuente de carbohidratos es inferior, lo que se evidencia una baja frecuencia de consumo de cereales, raíces, tubérculos y plátanos frente a las porciones diarias sugeridas asociado al bajo aporte de este macronutriente en la dieta. Finalmente, la frecuencia de consumo de verduras, frutas, cereales íntegros, también se encuentra por debajo, incidiendo directamente en el aporte diario de fibra. Este comportamiento de frecuencia consumo de alimentos se evidenció de igual manera en los estudios previos desarrollados por los investigadores Garay Moreno (2017) y Garay Quintero (2017).

Ilustración 3. Comparación entre porciones consumidas y porciones sugeridas por grupo de alimentos



Fuente: Elaboración propia

### Identificación de la muestra.

Teniendo en cuenta los resultados del análisis sensorial de los productos de panadería (sección 3.3), la galleta de avena se seleccionó como vehículo del dextrano. En las tablas 32 y 33 se consignan los datos referentes a la formulación utilizada y el aporte de energía, macronutrientes y fibra respectivamente en 100g de producto y en 66 g de la porción ofrecida, con y sin inclusión del polímero.

Tabla 32. Formulación de galleta de avena con y sin inclusión de dextrano

	100 g Galleta sin inclusión del dextrano (g)	Porción de galleta (66 gramos)	100 g Galleta con inclusión del dextrano (g)	Porción de galleta (66 gramos)
<b>Azúcar morena</b>	26,3	17,3	22,8	15,0
<b>Avena en hojuelas</b>	23,3	15,4	20,2	13,3
<b>Harina de avena</b>	17,5	11,6	15,0	10,0
<b>Harina de trigo</b>	17,5	11,6	15,0	10,0
<b>Dextrano</b>	0,0	0,0	<b>15,0</b>	<b>10,0</b>
<b>Huevo</b>	14,6	9,6	12,7	8,4
<b>Aceite</b>	8,8	5,8	7,5	5,0
<b>Margarina</b>	8,8	5,8	7,5	5,0
<b>Polvo de hornear</b>	0,9	0,6	1,2	0,8

<b>Esencia de Vainilla</b>	0,5	0,3	0,6	0,4
----------------------------	-----	-----	-----	-----

Fuente: Elaboración propia

A cada uno de los participantes se le entregó una galleta de 66 gramos acompañada de una infusión, la cual consumió en ayunas, en un lapso de 10 minutos, para posteriormente continuar con sus actividades diarias. La galleta con inclusión del dextrano incluía el 15% p/p del dextrano, para un aporte de 10 gramos por galleta.

A la galleta suministrada se le adiciono de 0,7% p/p de colorante azul como marcador de heces fecales para evaluar el tránsito intestinal. En la tabla 34 se presenta el material fotográfico asociado al producto objeto de estudio, que consistió en una galleta de 77 g con colorante, sin inclusión de fibra ofertada en la semana 0; una galleta de 77 g con adición de colorante con inclusión de 15% de fibra en la semana 2 y 200 ml de infusión sin dulce que acompañó cada una de las muestras.

Tabla 33. Aporte de energía, macronutrientes y fibra de las galletas a suministrar

	<b>Galleta sin inclusión del dextrano (100 g)</b>	<b>Galleta sin inclusión de dextrano porción (66 g)</b>	<b>Galleta con inclusión del dextrano (100 g)</b>	<b>Galleta con inclusión de dextrano porción (66 g)</b>
<b>Energía (kcal)</b>	480	317	442	292
<b>Proteína (g)</b>	8.6	5.6	7.6	5.0
<b>Grasas (g)</b>	19.1	15.1	17.5	11.6
<b>Carbohidratos totales (g)</b>	65.9	43.5	70.0	46.2
<b>Fibra total (g)</b>	4.3	2.8	16.7	11.0
<b>Fibra soluble (g)</b>	1.6	1.1	14.2	9.4
<b>Fibra insoluble (g)</b>	2.5	1.7	2.4	1.6



Fuente: Elaboración propia

Durante la prueba se monitoreo el tiempo de consumo de la galleta y se enfatizó en la importancia de reportar fecha y hora de la evacuación de la materia fecal con colorante, tabla 35; por lo tanto, el compromiso de cada participante en este proceso fue definitivo en el ensayo. En la tabla 35 se reporta el tiempo de tránsito intestinal total según tratamiento, así como la diferencia del tiempo según cada uno de los tratamientos asignados tanto para hombres, mujeres como en ambos sexos.

Tabla 34. Registro fotográfico de la muestra empleada en el ensayo biológico



**Muestra  
suministrada a  
participantes**



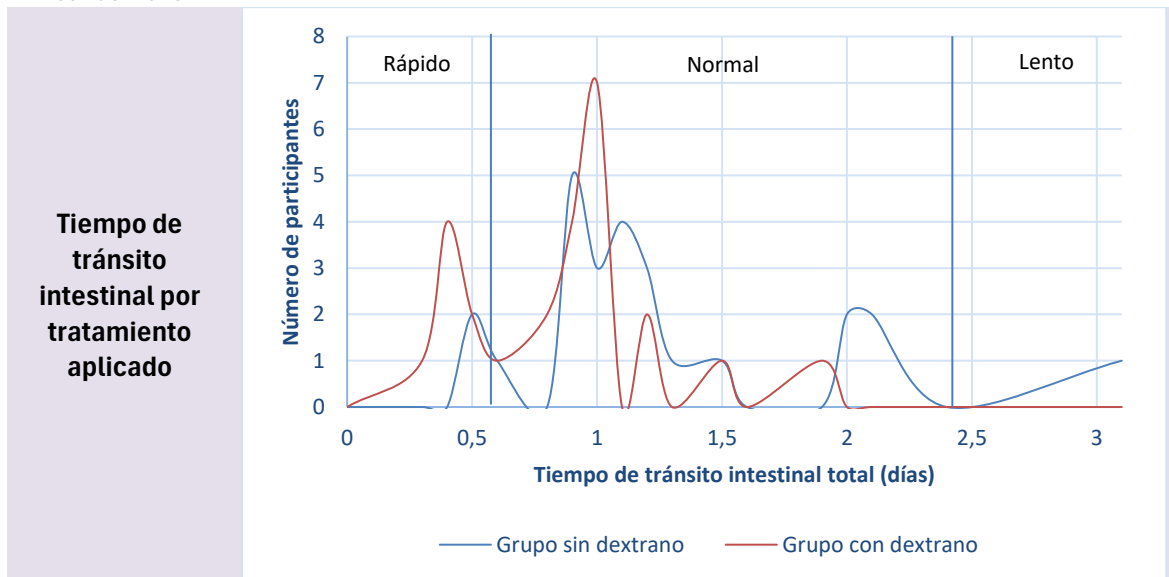
Fuente: Elaboración propia

Se resalta el menor tiempo de tránsito intestinal observado en mujeres, así como una menor desviación en los valores obtenidos en ambos casos; sin embargo, el efecto global del dextrano en mujeres es menor que en los hombres al reportarse una menor diferencia de tiempo de  $387 \pm 425.9$  minutos entre el consumo de la galleta sin fibra ( $1550 \pm 285.9$  minutos) Vs galleta con fibra ( $1163 \pm 394.5$  minutos). En los hombres los valores reportados fueron respectivamente una diferencia de tiempo de  $699 \pm 938$  entre el consumo de la galleta sin fibra ( $1998 \pm 1109.3$  minutos) y de ( $1299 \pm 647.0$  minutos) para la galleta con fibra, lo que permite establecer un mayor efecto en estos últimos.

Dado que los datos obtenidos no seguían una distribución normal, se hizo uso de la prueba de Mann-Whitney-U para el procesamiento de los tiempos de tránsito obtenidos por cada participante tanto para el consumo de la galleta sin inclusión como con inclusión del dextrano, donde se observó una diferencia significativa entre los tratamientos realizados ( $p < 0.05$ ). Posterior a esto, se realizó agrupación de los participantes en 3 clúster según el tiempo de tránsito intestinal: rápido (menor a 0.6 días), normal (entre 0.6 días y 2.4 días) y lenta (mayor a 2.4 días), valores tomados según información reportada por la literatura en estudios previos (Asnicar et al., 2021; Nandhra et al., 2020).

Tabla 35. Tiempo de tránsito intestinal en población adulta sana

Tratamiento	Rápido	Normal	Lento
Mediana de tiempo de tránsito intestinal en galleta sin dextrano	0.5 días	1.1 días	3.1 días
Mediana de tiempo de tránsito intestinal en galleta con dextrano	0.4 días	1.0 días	-



**Control en cambio de color en la deposición**



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 35 se consigna la mediana de datos obtenidos de tiempo de tránsito intestinal de los diferentes participantes. Se observa en el gráfico, que existe una disminución en la velocidad de tiempo de tránsito intestinal, teniendo un desplazamiento de la curva hacia la izquierda, resultado que indica una disminución en el tiempo requerido para lograr una deposición. Los participantes del ensayo se agruparon en clúster así: En el tratamiento sin

inclusión del dextrano 3 en rangos de velocidad rápida, 21 en rangos de velocidad normal, 1 en rangos de velocidad lenta; en el tratamiento con inclusión del dextrano 8 en rangos de velocidad rápida, 17 en rangos de velocidad normal, 0 en rangos de velocidad lenta; que acorde con lo ya mencionado destaca la capacidad del dextrano a disminuir la velocidad del tránsito intestinal. El mayor y el menor tiempo requerido para lograr una deposición en la galleta sin inclusión del dextrano fue respectivamente de 3.1 y 0.5 días mientras que con la galleta con dextrano fue de 1.9 y 0.3 días.

En general, la disminución en el tiempo de tránsito intestinal se asocia con las propiedades funcionales de la fibra soluble, en las cuales dada la fermentación que se produce a nivel de colón, ocasiona un incremento en la presión intraluminal (Geyer et al., 2008). Los cambios en la textura de la deposición se asocian a la capacidad de la fibra para captar agua y formar soluciones de alta viscosidad. Esta propiedad permite que la fibra retenga agua, evitando su absorción durante los procesos digestivos (Alanís-García et al., 2021; Surichaqui Piuca, 2020). Adicionalmente, los procesos de fermentación contribuyen a disminuir el tiempo de estancia de los alimentos en el intestino, esto resulta en una menor absorción de agua a nivel del intestino grueso, lo que, a su vez, facilita la formación de materia fecal suave al momento de la evacuación (Chumo Chávez & Rodríguez Gia, 2016; Vilcanqui Pérez & Vilchez Perales, 2017).

Con relación a la aparición de síntomas negativos, 32 % de los participantes (n =8) refirieron síntomas gastrointestinales negativos posterior al consumo de la galleta con inclusión del dextrano, entre los cuales se destacaron cólico abdominal (n=4) e incremento en flatos (n = 4). Bruhwyler y colaboradores (2009) encontraron en su estudio que, a medida que incrementó la dosis de fibra soluble (5 a 20 gramos) el síntoma predominante de malestar

reportado por los consumidores fue el incremento de flatos seguido de cólicos en la población de su estudio; Hiel y colaboradores (2019) evidenciaron que el consumo de fructanos generó únicamente incremento de flatos en la población de estudio en un periodo de 14 días en el cual se consumió al menos 9 gramos de fructanos al día; Azpiroz y colaboradores (2017) evaluaron el efecto de 8 gramos de fibra soluble en comparación con maltodextrina, sin embargo, los participantes no tuvieron ningún síntoma negativo con ninguno de los tratamientos suministrados. En cuanto a la formación de gases Geyer y colaboradores (2008) lo asocian a la fermentación colónica la cual deriva en un incremento de la presión osmótica, la cual influyó adicionalmente en una sensación de distensión abdominal en los participantes de su estudio. Ahora bien, los estudios previos con este dextrano de tipo dextrano, aunque indican en sus posibles efectos secundarios de flatos, malestar abdominal, entre otros, no reportan la aparición de sintomatología gastrointestinal reportada por participantes (Escobar Moreno, 2012; Garay Moreno, 2017; Garay Quintero, 2017).

Referente a efectos colaterales por el consumo de galleta, el 81% de los participantes del estudio (n=21) reportó mayor presión a nivel abdominal frente al consumo de la galleta con inclusión de dextrano, el cual, al momento de la deposición resultó en una deposición más blanda de lo habitual. Geyer y colaboradores (2008) evaluaron el efecto de un jarabe de yacón (20 gramos) en una población de 8 mujeres y 8 hombres, obteniendo una disminución de 21,3 horas en el tiempo de tránsito intestinal, asociado a la fermentación que ocurre en el colon de los oligosacáridos, asociado además a la formación de gases de los participantes; Azpiroz y colaboradores (2017) evaluó el efecto de 8 gramos de inulina en el tránsito intestinal, encontrando que no hubo diferencia significativa en los tratamientos

suministrados; Vega y colaboradores (2015) evaluaron el efecto del 10.5 gramos/día de psyllium, observando que tras 4 semanas de tratamiento hubo una disminución de 11 horas del tránsito intestinal, mientras que Duncan y colaboradores (2018) evaluaron el comportamiento de 8 y 12 gramos de polidextrosa en población con estreñimiento, determinando que no hubo diferencias significativas en el tiempo de tránsito intestinal al comparar el placebo frente a los tratamientos. Las diferencias entre los estudios realizados pueden verse influenciadas por diversos factores, ya sea el diseño del estudio, el tipo de fibra utilizada o ya intrínseco a la población que participe en el estudio que puede generar una variabilidad en los datos (género, actividades de vida diaria, entre otros) (Dres Niño & Cesar, 2010), los cuales pueden haber ejercido algún efecto en los datos obtenidos en el presente estudio.

Los alcances de este estudio se limitan por el tamaño de la muestra, la variabilidad interna de cada individuo (microbioma, estrés, actividad física, entre otros) y el tiempo en el cual se llevó a cabo este estudio.

### ***Ensayo biológico en roedores***

#### **Evaluación del porcentaje de avance del tránsito intestinal.**

##### ***Pruebas preliminares.***

Para la evaluación del efecto del dextrano en el porcentaje de avance tránsito intestinal se llevaron a cabo diferentes ensayos biológicos preliminares orientados a determinar el vehículo pertinente en roedores, así como el blanco y el patrón. En el *ensayo preliminar #1*, se seleccionaron 24(n=24), roedores ,12 hembras y 12 machos; se empleó como vehículo la carboximetil celulosa (CMC) al 1% tanto para el blanco, como para el

ensayo con adición de carbón activado como colorante. Los roedores se distribuyeron en seis cajas, con 4 ratas en cada una de ellas, correspondientes a 1 rata por cada tratamiento. Para la administración de los tratamientos, se sometieron las ratas a ayuno de alimento por 12 horas con suministro libre de agua que solo se suspendió al momento de iniciar el experimento.

Posteriormente se suministró a los roedores CMC 1% como blanco/control, inulina 200 mg/kg como patrón, dextrano 100 mg/kg y 200 mg/kg como sustancia para evaluar el efecto en tránsito intestinal. Luego de 30 minutos, se administró una dosis de carbón activado suspendido en el blanco utilizado (CMC al 1%) y se permitió la espera de 60 minutos para lograr el vaciamiento gástrico y evidenciar el frente del colorante a nivel intestinal, tiempo en el cual se detuvo el proceso y se procedió a la dislocación cervical, evisceración del roedor y extracción del intestino delgado para evaluar el avance del carbón activado. En el Anexo 9, se evidencia fotográficamente el proceso realizado con los roedores, mientras que en la tabla 36, se resumen los resultados obtenidos en este ensayo preliminar los cuales permiten evidenciar que no hay diferencia significativa entre los tratamientos, adicionalmente, son idénticos los resultados obtenidos entre el blanco, el patrón y el dextrano en concentración de 100 mg/kg, por lo cual se infirió que, al hacer uso de carboximetil celulosa como vehículo, esta podría actuar como fuente de fibra y a su vez interferir en los resultados del ensayo, por lo tanto se procedió a realizar el ensayo preliminar #2, con el fin de establecer el blanco a utilizar en los roedores.

Tabla 36. Resultados del ensayo preliminar #1 de tránsito intestinal

Tratamiento	Porcentaje de avance (%) según tratamiento administrado			
	CMC 1%	Inulina 200 mg/kg	Dextrano 100 mg/kg	Dextrano 200 mg/kg
Prom. Ambos sexos	72,0±14,1	76,7±7,1	72,6±10,6	81,7±14,6
Prom. ♂	67,3±16,2	73,7±9,1	69,0±13,3	93,1±8,6
Prom. ♀	76,8±12,9	79,7±4,0	76,2±8,1	70,3±8,3

Fuente: Elaboración propia

Para el *ensayo preliminar #2* llevado a cabo, se hizo uso de diferentes vehículos, con el objetivo de evaluar cual era el que menor interferencia ocasionaba en el tránsito intestinal, utilizando también como marcador carbón activado suspendido en 3 medios: en agua destilada; en CMC 1% en agua destilada; y suspendido en glicerina-propilenglicol - agua destilada (1:1:8) para lo cual se organizaron 3 grupos de 6 roedores cada uno (n=18). Dado que no se pretendía evaluar el efecto de ningún polímero, se administraron las muestras directamente a los roedores posteriores al ayuno sin suministrar ningún tipo tratamiento. Se dio la espera de 60 minutos y se procedió a dislocación cervical según el procedimiento descrito previamente. En la tabla 37 se reportan los porcentajes de avance del vehículo administrado, destacándose similitud en el patrón de agua destilada y en el de CMC 1%. En la muestra con adición de propilenglicol y glicerina, se resalta una disminución con diferencia significativa de la velocidad de tránsito intestinal, en comparación a los otros tratamientos, pudiendo inferir una reducción en el parámetro de estudio. Por lo anterior, se

determinó que el vehículo óptimo para evaluar la velocidad de tránsito intestinal parcial era la suspensión de CMC 1% en agua, ya que no afectó los valores de motilidad en roedores.

Tabla 37. Resultados ensayo preliminar #2: Determinación de vehículo a utilizar

Porcentaje de avance (%) según vehículo administrado		
Agua Destilada	Agua Destilada + Propilenglicol + Glicerina	Agua destilada + CMC 1%
93,6±4,0 <sup>a</sup>	77,5±12,4 <sup>b</sup>	95,5±4,5 <sup>a</sup>

Vehículo	Porcentaje de avance (%)
AD	93,6
AD+PEG+G	77,5
AD+CMC	95,5

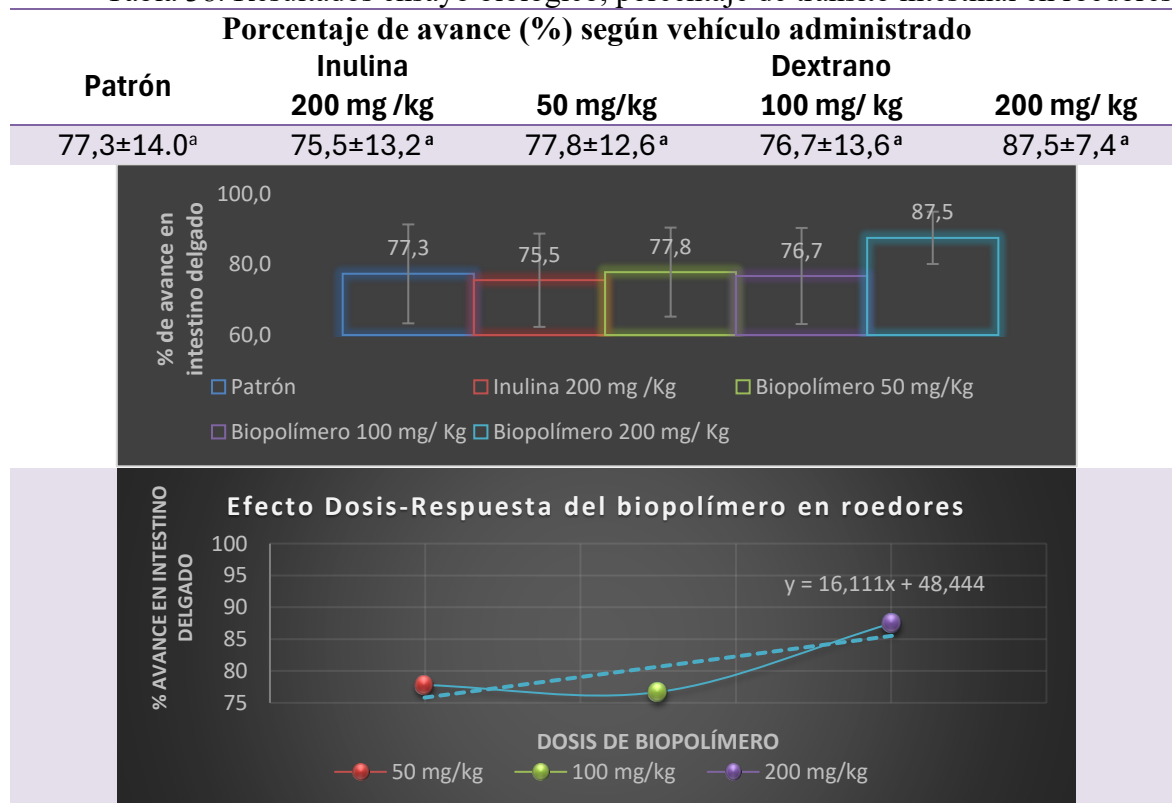
Fuente: Elaboración propia

### ***Prueba de tránsito intestinal. Evaluación de avance intestinal***

Una vez determinado que el vehículo de agua destilada con CMC 1% era adecuado para la administración del dextrano, se realizó el ensayo biológico propiamente dicho en el cual se estableció una concentración adicional a las anteriores empleadas en los ensayos preliminares de 50 mg/kg de dextrano, valor que permite mantener la escala logarítmica y así poder establecer el efecto dosis respuesta y evaluar la cantidad de compuesto que eventualmente pueda generar un incremento en el tránsito intestinal de roedores. Para esta prueba se realizaron 5 grupos de 8 roedores hembras (n=40), los cuales se sometieron al protocolo ya mencionado, teniendo en cuenta el blanco (CMC 1%), y los tratamientos a utilizar (inulina 200 mg/kg, dextrano 50,100 y 200 mg/kg). Posterior al sacrificio y medición de frente de avance de carbón activado, se evaluó la normalidad. Se procesaron los datos a

través de ANOVA, observando que no había diferencia significativa entre los tratamientos; sin embargo, se evidencia nuevamente la tendencia de un mayor avance en el tránsito intestinal a medida que se incrementa la concentración del dextrano.

Tabla 38. Resultados ensayo biológico, porcentaje de tránsito intestinal en roedores



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 38 se presenta consolidada la información referente a los resultados obtenidos en el ensayo biológico. La inulina frente al patrón y el dextrano en todas sus concentraciones tiene un comportamiento similar ( $p > 0.05$ ), resultados que difieren de los observados en estudios similares pero con tiempos de ensayo más prolongados como el de Paturi y colaboradores (2012) que evaluaron el efecto de la adición diferentes tipos de fibra en la alimentación de roedores, entre ellas celulosa e inulina con una concentración de 75

mg/kg; presentando para ambos tipos de fibra dietaria una disminución significativa en la tiempo de tránsito intestinal; sin embargo, este estudio se realizó durante una semana, lo cual podría mostrar el efecto de un consumo prolongado de fibra. Kim et al. (2007) evaluaron el efecto en el tránsito intestinal de ratas frente al consumo de diferentes variedades de arroz, encontrando que, a menor contenido de fibra, mayor sería el tiempo de tránsito intestinal; de igual modo, Kim et al. (2012), evaluaron el efecto de diferentes cereales en el tránsito intestinal de roedores, resultando en que, al tener un mayor contenido de fibra soluble, hay un menor tiempo de tránsito intestinal. Todos los estudios mencionados, se presentar por lapsos de una semana a 4 semanas, pudiendo influir en las diferencias obtenidas en el estudio actual. Se resalta que, en general, en los resultados obtenidos no hay una diferencia significativa en el porcentaje de avance; sin embargo, al suministrar una dosis 200 mg/kg, se empieza a evidenciar la pendiente de la recta, sin embargo, por lo que se puede inferir que con una mayor concentración del dextrano se podría obtener un porcentaje de avance significativo.

### **Evaluación del tiempo de tránsito intestinal total**

Con el objetivo de evaluar el tiempo de tránsito intestinal, se realizó un estudio con tres grupos de 8 roedores hembras (n=24); se empleó como vehículo solución salina al 0.9% tanto para el blanco, como para el ensayo con adición de rojo fenol como colorante en ambos casos. Para la administración de los tratamientos, se sometieron las ratas a ayuno de alimento por 12 horas con suministro libre de agua, que solo se suspendió al momento de iniciar el experimento.

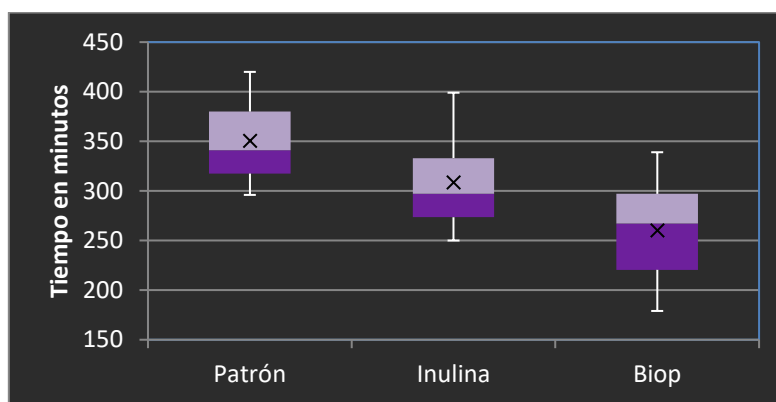
Posteriormente se suministró a cada grupo de roedores respectivamente: primer grupo: solución salina al 0.9% como blanco/control; segundo grupo: inulina 200 mg/kg como patrón y, tercer grupo: dextrano 200 mg/kg como sustancia para evaluar el tiempo de tránsito intestinal. Luego de 30 minutos, se administró una dosis de rojo fenol (2 %) suspendido en el blanco utilizado (solución salina 0.9%%). Los roedores, luego de administrar el marcador, se distribuyeron en cajas individuales, las cuales contenían una hoja de papel blanco para evidenciar la deposición con colorante. Se realizó toma de tiempo desde que se administró el colorante hasta que se obtuvo una deposición de color rojo brillante. En el Anexo 10, se evidencia fotográficamente el proceso realizado con los roedores, mientras que en la tabla 39, se resumen los resultados obtenidos en este ensayo biológico. Los datos obtenidos se analizaron estadísticamente y tras aplicar la prueba de Shapiro-Wilk, se determinó que los datos seguían una distribución normal. Se rechazaron 3 datos atípicos, evaluados mediante la prueba de Chauvenet, para garantizar que los resultados fueran representativos y no estuvieran sesgados por valores extremos.

Tabla 39. Tiempo de tránsito intestinal total en roedores.

<b>Tratamiento</b>	<b>Solución salina 0,9%</b>	<b>Inulina 200 mg/kg</b>	<b>Dextrano 200 mg/kg</b>
<b>Promedio (min)</b>	350.3±45.8 <sup>a</sup>	308.4±52.3 <sup>b</sup>	260.0min ±59.3 <sup>b</sup>

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 4. Diagrama de cajas y bigotes, tiempo de tránsito intestinal total en roedores



Fuente: Elaboración propia

La ilustración 4 muestra de manera gráfica y complementaria a los datos de la tabla 39, la distribución de los datos obtenidos, en donde la mediana de los datos obtenidos de inulina y del dextrano fuera de la caja del patrón, indicando que existe una diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre los tratamientos y el control. Entre los dos compuestos de fibra no existe diferencia significativa, lo cual indica que el dextrano ejerce un efecto de reducción en el tiempo de tránsito intestinal similar a la inulina. Esto se confirma al observarse un tiempo de tránsito intestinal significativamente menor tanto en la muestra de inulina como en la sustancia experimental. Durante el seguimiento de la deposición de los roedores, se observó que la materia fecal era de textura más húmeda y blanda en los tratamientos control y con dextrano. Este fenómeno se asocia con la capacidad de la fibra para formar un retículo con el agua, lo que permite una mejor retención a lo largo del tracto digestivo y, por ende, una deposición más suave. El análisis de varianza reveló diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en el tiempo de tránsito total entre los roedores que recibieron dextranos y fibra control en comparación con el grupo patrón (solución salina 0.9%). En estudios comparativos, Kim y colaboradores (2007) mostraron que la alimentación con mezclas de cereales resultó en un tiempo de tránsito intestinal de 408 minutos con arroz negro/arroz

integral, significativamente menor que el de arroz blanco (768 minutos) y harina de trigo (936 minutos). Asimismo, Kim y colaboradores (2012) evidenciaron un tiempo de tránsito de 564 minutos con arroz en comparación con 348 minutos en un concentrado con cebada glutinosa, que contenía un 12% más de fibra. Por otro lado, Ha y colaboradores (2012) observaron una tendencia a la disminución del tiempo de tránsito intestinal al alimentar con arroz blanco y arroz con almidón retrogradado, aunque sin diferencias significativas. El incremento en la ingesta de fibra se asocia con un mayor peso de la materia fecal, retención de agua, proliferación bacteriana, disminución del tránsito intestinal y aumento de la producción de gas. Un mayor peso de la materia fecal puede resultar en un menor tiempo en el tracto digestivo, lo que podría llevar a una menor absorción de nutrientes y, en consecuencia, a una menor ganancia de peso.

Las limitaciones asociadas al ensayo en roedores, para ambos casos se asocia con la extrapolación de la matriz a humanos, sin embargo, este proceso nos permite observar la tendencia del comportamiento y efecto del dextrano en humanos.

En resumen, los resultados sugieren que la incorporación del dextrano en la alimentación de los roedores no solo mejora la textura de la materia fecal, sino que también optimiza el tránsito intestinal, lo que finalmente puede contribuir a los estudios que se realizan alrededor de este efecto para que eventualmente se continúen los estudios que permitan construir la evidencia del efecto fisiológico de la fibra soluble sobre el tiempo de tránsito intestinal en seres vivos y su posterior extrapolación a seres humanos.

#### Capítulo 4. Conclusiones

- Los resultados de la evaluación fisicoquímica indican que el dextrano empleado presenta una mayor capacidad de hinchamiento y de dispersión en agua (dos y seis veces respectivamente), y una capacidad de retención similar frente al dextrano desarrollado previamente. En leche se obtuvieron resultados similares a estudios previos.
- Para su aplicación en bebidas de fruta, el mejor comportamiento se obtuvo en matrices ácidas, logrando una dispersión completa posterior a la agitación mecánica en concentraciones de hasta el 3%, mientras que en matrices de pH poco ácido requirió un tiempo de 24 horas para todas las concentraciones de dextrano para lograr su dispersión.
- El dextrano tiene la capacidad de formar matrices viscosas, de comportamiento no newtoniana-pseudoplástico, propiedad importante para su aplicación como agente espesante o estabilizante
- En las matrices sólidas estudiadas, las características organolépticas se vieron afectadas por la humedad y la interacción con los componentes de la formulación con el dextrano a concentración superior al 10%. El principal efecto del dextrano se presenta sobre el parámetro de textura y sabor; el efecto sobre el color es poco perceptible tanto por panelistas sensoriales no entrenados, como por pruebas instrumentales donde el cambio del color se calcula como poco perceptible.
- Dado el contenido de fibra total, la galleta de avena desarrollada con incorporación de dextrano en un 15%, es un producto sensorialmente aceptado, que puede ser considerado como un alimento “excelente fuente de fibra” según los descriptores estipulados en la Resolución 810 de 2021.

- La evaluación del efecto biológico en población adulta sana, posterior al consumo de 10 g de fibra soluble en una matriz sólida, mostró una disminución de 9 horas en el tiempo de tránsito intestinal, asocia al consumo de la galleta con dextrano. Resultados similares a estudios realizados con otros compuestos de fibra soluble.
- En roedores, el porcentaje de avance de tránsito intestinal permitió evidenciar que las dosis de 50 mg/kg, 100 mg/kg y 200 mg/kg utilizadas de dextrano no mostraron un efecto significativo; sin embargo, a dosis de 200 mg/kg se observó una tendencia marcada sobre el avance a nivel intestinal. Este dato se contrasta con el ensayo de tiempo de tránsito total, con una dosis de 200 mg/kg, en el cual se observa una diferencia significativa en el tiempo total requerido para lograr la deposición frente al control, del patrón de inulina y del dextrano suministrado.
- Tanto en roedores como en humanos se evidenció una marcada tendencia a la disminución del tránsito intestinal, evidenciando que, el dextrano ejerce un efecto en la reducción del tiempo de tránsito total.
- Las matrices de panadería bajas en humedad tipo galleta permiten una mayor incorporación de biopolímero sin general cambios importantes en sus características organolépticas. En una concentración que oscila alrededor del 10% por porción lo que permitiría el cubrimiento de la recomendación de ingesta de fibra total para una dieta de 2000 kcal alrededor del 40%.

## Capítulo 5. Recomendaciones

Para continuar con la investigación del dextrano y su efecto en matrices alimentarias se recomienda:

- Es necesario llevar a cabo más pruebas en matrices líquidas de diferente naturaleza.
- Realizar pruebas de vida útil que permitan evaluar el efecto del almacenamiento tanto en las características organolépticas como microbiológicas del producto desarrollado con adición del dextrano
- Se sugiere continuar los trabajos alrededor del comportamiento del dextrano en otras matrices alimentarias de consumo habitual por parte de la población.
- Conformar un grupo de panelistas entrenados en evaluación sensorial de alimentos adicionados con fibra, que contribuiría de manera importante en el desarrollo de productos en este campo.
- Realizar nueva experimentación de porcentaje de avance de tránsito intestinal en roedores con mayor concentración de dextrano en un tiempo más prolongado con el objetivo de evaluar las dosis que ejercen el efecto con unos resultados estadísticamente significativos.
- Para obtener resultados robustos y aplicables tanto en humanos como en roedores, es fundamental realizar pruebas de tránsito total que evalúen el consumo prolongado del dextrano. Lo anterior con el fin de observar los efectos a largo plazo.
- Los resultados obtenidos en este trabajo brindan información relevante para continuar el desarrollo de productos en matrices de panadería de baja humedad con el fin de escalar

la producción a nivel semiindustrial e industrial, lo cual permitiría una oferta comercial en la línea de alimentos funcionales.

## Bibliografía

- Abarca, D., Martínez, R., Muñoz, J., Torres, M., & Vargas, G. (2010). Residuos de café, cacao y cladodio de tuna: fuentes promisorias de fibra dietaria. *Revista Tecnológica ESPOL*, 23, 63–69.
- Abreu y Abreu, A. T., Milke-García, M. P., Argüello-Arévalo, G. A., Calderón-de la Barca, A. M., Carmona-Sánchez, R. I., Consuelo-Sánchez, A., Coss-Adame, E., García-Cedillo, M. F., Hernández-Rosiles, V., Icaza-Chávez, M. E., Martínez-Medina, J. N., Morán-Ramos, S., Ochoa-Ortiz, E., Reyes-Apodaca, M., Rivera-Flores, R. L., Zamarripa-Dorsey, F., Zárate-Mondragón, F., & Vázquez-Frias, R. (2021). Fibra dietaria y microbiota, revisión narrativa de un grupo de expertos de la Asociación Mexicana de Gastroenterología. *Revista de Gastroenterología de México*, 86(3), 287–304. <https://doi.org/10.1016/j.rgmx.2021.02.004>
- Adewoye, E. O., Ige, A. O., & Latona, C. T. (2011). Effect of methanolic extract of *Musa sapientum* leaves on gastrointestinal transit time in normal and alloxan induced diabetic rats: Possible mechanism of action. *Nigerian Journal of Physiological Sciences*, 26(1), 83–88.
- Aguirre-Pantoja, R. J., Abraham-Juárez, M. R., Martínez-Jaime, O. A., Sosa-Morales, M. E., & Cerón-García, A. (2017). Estimación de la vida de anaquel mediante pruebas aceleradas en puré de manzana, puré de guayaba, puré de mango, puré de tomatillo y fresa entera. *Investigación y Desarrollo En Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 2, 364–369.
- Akçay, B., & Alkan, D. (2023). Designing of texture modified fruit juices using food hydrocolloids: Storage influence on viscosity. *Heliyon*, 9(11). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21496>
- Alanís-García, E., González-Rubio, P. Y., Delgado-Olivares, L., & Cruz-Cansino, N. del S. (2021). Fibra dietética: historia, definición y efectos en la salud. *Educación y Salud Boletín Científico Instituto de Ciencias de La Salud Universidad Autónoma Del Estado de Hidalgo*, 9(18), 187–195. <https://doi.org/10.29057/icsa.v9i18.6604>
- Alemán Huerta, M. E., Castillo Cázares, Brenda A., Márquez Reyes, J. M., Báez González, J. G., Quintero Zapata, I., Gandarilla Pacheco, F. L., de Luna Santillana, E. de J., & Treviño Garza, M. Z. (2023). Muffin-Type Bakery Product Based on Mexican Mesquite (*Prosopis* spp.) Flour: Texture Profile, Acceptability, and Physicochemical Properties. *Foods*, 12(3587). <https://doi.org/10.3390/foods12193587>
- Alvarado Ortiz, A. del R., Bustamante Aquino, E. B., & Paucar Blaz, S. V. (2018). Determinacion de modelos reologicos asociado a la pasta de tomate (*Solanum Lycopersicum*) Rio grande [Univerdidad Nacional del Callao]. In *Univerdidad Nacional del Callao*. <http://hdl.handle.net/20.500.12952/5053>
- American Assosiation of Cereal Chemist. (2001). The definition of dietary fiber. *Cereal Foods World*, 46(3), 112–129. <https://doi.org/10.3402/fnr.v54i0.5750>
- Ardila, E., & Hernandez, E. (2006). Consenso Colombiano de síndrome metabólico. In *Asociación colombiana de endocrinología*. file:///Users/ViviPoveda/Documents/MEDICINA ESTETICA/Tesis Grado/Artículos Hidrolipoclasia 2016/Mendeley/Guias colombianas.pdf
- Asnicar, F., Leeming, E. R., Dimidi, E., Mazidi, M., Franks, P. W., Al Khatib, H., Valdes, A. M., Davies, R., Bakker, E., Francis, L., Chan, A., Gibson, R., Hadjigeorgiou, G., Wolf, J., Spector, T. D., Segata, N., & Berry, S. E. (2021). Blue poo: Impact of gut transit time on the gut microbiome using a novel marker. *Gut Microbiota*, 70(9), 1665–1674. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2020-323877>

- Avendaño Ayala, C. J. (2010). Evaluación de los efectos fisiológicos y bioquímicos de una dextrana en roedores de laboratorio. In *International Journal of Heritage Studies*. Universidad Nacional de Colombia.
- Aydogdu, A., Sumnu, G., & Sahin, S. (2018). Effects of addition of different fibers on rheological characteristics of cake batter and quality of cakes. *Journal of Food Science and Technology*, 55(2), 667–677. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2976-y>
- Azpiroz, F., Molne, L., Mendez, S., Nieto, A., Manichanh, C., Mego, M., Accarino, A., Santos, J., Sailer, M., Theis, S., & Guarner, F. (2017). Effect of Chicory-derived Inulin on Abdominal Sensations and Bowel Motor Function. *Journal of Clinical Gastroenterology*, 51(7), 619–625. <https://doi.org/10.1097/MCG.0000000000000723>
- Beltrán de Heredia, M. R. (2016). Alimentos funcionales. *Farmacia Profesional*, 30(3), 3–5.
- Birkeland, E., Gharagozian, S., Birkeland, K. I., Valeur, J., Måge, I., Rud, I., & Aas, A. M. (2020). Prebiotic effect of inulin-type fructans on faecal microbiota and short-chain fatty acids in type 2 diabetes: a randomised controlled trial. *European Journal of Nutrition*, 59(7), 3325–3338. <https://doi.org/10.1007/s00394-020-02282-5>
- Bornare, D. T., & Ajaz Khan, K. S. (2015). Physical and Sensory Evaluation of Cookies Incorporated with Oats and Honey. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 4(8), 407–411. <https://doi.org/10.17577/ijertv4is080395>
- Bruhwyler, J., Carreer, F., Demanet, E., & Jacobs, H. (2009). Digestive tolerance of inulin-type fructans: a double-blind, placebo-controlled, cross-over, dose-ranging, randomized study in healthy volunteers. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 60(2), 165–175. <https://doi.org/10.1080/09637480701625697>
- Cadena Masabanda, W. A. (2015). *Determinación de los parámetros reológicos de yogurt de sábila (Aloe vera) elaborado con diferentes formulaciones mediante el uso del viscosímetro brookfield* [Universidad Técnica de Ambato]. [http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/5665/1/TESIS\\_ENTORNO\\_FAMILIAR\\_INFLUENCIA\\_RENDIMIENTO\\_ESCOLAR1.pdf](http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/5665/1/TESIS_ENTORNO_FAMILIAR_INFLUENCIA_RENDIMIENTO_ESCOLAR1.pdf)
- Chiriví Barrera, M. del P., & Perdomo Reyes, M. X. (2009). *Evaluación del comportamiento del polímero BILAC como fuente de fibra en diversas matrices alimentarias sólidas y líquidas*. Universidad Nacional de Colombia.
- Chu, J., Zhao, H., Lu, Z., Lu, F., Bie, X., & Zhang, C. (2019). Improved physicochemical and functional properties of dietary fiber from millet bran fermented by *Bacillus natto*. *Food Chemistry*, 294(1), 79–86. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.035>
- Chumo Chávez, N. E., & Rodríguez Gia, J. L. (2016). Influencia de la sustitución parcial de harinas de cáscara de frutas en perfil de textura y calidad nutricional de una galleta [Escuela superior politécnica agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]. In *Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López*. <http://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1055/1/TTMAI5.pdf>
- Cui, J., Lian, Y., Zhao, C., Du, H., Han, Y., Gao, W., Xiao, H., & Zheng, J. (2019). Dietary Fibers from Fruits and Vegetables and Their Health Benefits via Modulation of Gut Microbiota. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(5), 1514–1532. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12489>
- da Silva, M. V. T., Nunes, S. S., Costa, W. C., Sanches, S. M. D., Silveira, A. L. M., Ferreira, Á. R. S., Filha, R. S., Correia, M. I. T. D., Mota, L. das G., & Generoso, S. de V. (2022). Acute intake of fructooligosaccharide and partially hydrolyzed guar gum on gastrointestinal transit: A randomized crossover clinical trial. *Nutrition*, 102. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2022.111737>

- de Vries, J., Le Bourgot, C., Calame, W., & Respondek, F. (2019). Effects of  $\beta$ -fructans fiber on bowel function: A systematic review and meta-analysis. *Nutrients*, *11*(1), 1–17. <https://doi.org/10.3390/nu11010091>
- Dirección Europea de Calidad de los Medicamentos. (2000). *European Pharmacopeia*. Dirección Europea de Calidad de los Medicamentos.
- Dres Niño, L., & Cesar, L. (2010). Tránsito colónico en individuos sanos. *Revista de La Sociedad Venezolana de Gastroenterología*, *64*(3). [https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0016-35032010000300004](https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0016-35032010000300004)
- Duncan, P. I., Enters-Weijnen, C. F., Emami, N., McLean, P., Nunes, T., Beaumont, M., Crabbe, R., Whelan, K., Mark Scott, S., Dewit, N. J., Weits, T., Bergonzelli, G., & Grobbee, D. E. (2018). Short-term daily intake of polydextrose fiber does not shorten intestinal transit time in constipated adults: A randomized controlled trial. *Nutrients*, *10*(7). <https://doi.org/10.3390/nu10070920>
- Duta, D. E., & Culetu, A. (2015). Evaluation of rheological, physicochemical, thermal, mechanical and sensory properties of oat-based gluten free cookies. *Journal of Food Engineering*, *162*, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.04.002>
- Dziki, D., Lisiecka, K., Gawlik-Dziki, U., Różyło, R., Krajewska, A., & Cacak-Pietrzak, G. (2022). Shortbread Cookies Enriched with Micronized Oat Husk: Physicochemical and Sensory Properties. *Applied Sciences (Switzerland)*, *12*(24). <https://doi.org/10.3390/app122412512>
- Edson, B. A., & Alexis, M. P. (2020). Recomendaciones y efectos de la fibra dietaria en niños Recommendations. *Rev Chil Nutr*, *47*(3), 457–462.
- Escobar Moreno, N. P. (2010). *Desarrollo de la formulación base para productos horneados con adición de un biopolímero* [Universidad Nacional De Colombia]. <http://www.bdigital.unal.edu.co/2802/1/107448.2010.pdf>
- Escobar Moreno, N. P. (2012). *Evaluación del comportamiento de la fibra soluble como compuesto bioactivo, adicionada en productos horneados de panadería y bizcochería* [Universidad Nacional de Colombia]. <http://www.bdigital.unal.edu.co/39574/>
- European Food Safety Authority. (2010). Scientific Opinion on Dietary Reference Values for carbohydrates and dietary fibre. *EFSA Journal*, *8*(3). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1462>
- Figuerola-Flórez, J. A., Barragán-Viloria, K., & Salcedo-Mendoza, J. G. (2017). Comportamiento reológico en pulpa edulcorada de mango (*Mangifera indica* L. cv. Magdalena river). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, *18*(3), 615–627. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/35270>, [http://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/view/748,10.21930/rcta.vol18\\_num3\\_art:748](http://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/view/748,10.21930/rcta.vol18_num3_art:748)
- Filgueiras Rebelo de Matos, M., Quênia Muniz Bezerra, P., Conceição Argôlo Correia, L., Nunes Viola, D., de Oliveira Rios, A., Izabel Druzian, J., & Larroza Nunes, I. (2021). Innovative methodological approach using CIELab and dye screening for chemometric classification and HPLC for the confirmation of dyes in cassava flour: A contribution to product quality control. *Food Chemistry*, *365*(April). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130446>
- Florez Guzman, G. Y. (2014). Estudio de la enzima dextranasa (DS) producida por *Leuconostoc mesenteroides* cepa IBUN 91.2.98. In *Universidad Nacional de Colombia*. Universidad Nacional de Colombia.
- Flórez Guzman, G. Y., Hurtado, G. B., & Ospina, S. A. (2018). New dextranase purification process of the enzyme produced by *Leuconostoc mesenteroides* IBUN 91.2.98 based on binding product and dextranase hydrolysis. *Journal of Biotechnology*, *265*(October 2017), 8–14. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2017.10.019>

- Food Labeling: Revision of the Nutrition and Supplement Facts Labels (2014). [www.regulations.gov](http://www.regulations.gov), Fu, J., Zheng, Y., Gao, Y., & Xu, W. (2022). Dietary Fiber Intake and Gut Microbiota in Human Health. *Microorganisms*, 10(12), 1–18. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10122507>
- Gan, J., Xie, L., Peng, G., Xie, J., Chen, Y., & Yu, Q. (2021). Systematic review on modification methods of dietary fiber. *Food Hydrocolloids*, 119(January), 106872. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106872>
- Garay Moreno, J. M. (2017). *Evaluación funcional y biológica de un compuesto de fibra soluble como sustituto de harina de trigo en productos de panadería*. Universidad Nacional de Colombia.
- Garay Quintero, L. C. (2017). *Evaluación Funcional y Biológica de un Compuesto de Fibra Soluble como sustituto de grasa en productos de panadería*. Universidad Nacional de Colombia.
- Geyer, M., Manrique, I., Degen, L., & Beglinger, C. (2008). Effect of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) on colonic transit time in healthy volunteers. *Digestion*, 78(1), 30–33. <https://doi.org/10.1159/000155214>
- Gill, S. K., Rossi, M., Bajka, B., & Whelan, K. (2021). Dietary fibre in gastrointestinal health and disease. *Nature Reviews Gastroenterology and Hepatology*, 18(2), 101–116. <https://doi.org/10.1038/s41575-020-00375-4>
- Guiné, R. P. F., Florença, S. G., Barroca, M. J., & Anjos, O. (2020). The link between the consumer and the innovations in food product development. *Foods*, 9(9), 3–5. <https://doi.org/10.3390/foods9091317>
- Gularte, M. A., de la Hera, E., Gómez, M., & Rosell, C. M. (2012). Effect of different fibers on batter and gluten-free layer cake properties. *LWT - Food Science and Technology*, 48(2), 209–214. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.03.015>
- Ha, A. W., Han, G. J., & Kim, W. K. (2012). Effect of retrograded rice on weight control, gut function, and lipid concentrations in rats. *Nutrition Research and Practice*, 6(1), 16–20. <https://doi.org/10.4162/nrp.2012.6.1.16>
- Healey, G., Murphy, R., Butts, C., Brough, L., Whelan, K., & Coad, J. (2018). Habitual dietary fibre intake influences gut microbiota response to an inulin-type fructan prebiotic: A randomised, double-blind, placebo-controlled, cross-over, human intervention study. *British Journal of Nutrition*, 119(2), 176–189. <https://doi.org/10.1017/S0007114517003440>
- Hellendoorn, E. W. (1981). Dietary fiber or indigestible residue? *The American Journal of Clinical Nutrition*, 34, 1437–1439.
- Hernández-Alcántara, A. M., Chiva, R., Mohedano, M. L., Russo, P., Ruiz-Masó, J. Á., del Solar, G., Spano, G., Tamame, M., & López, P. (2022). *Weissella cibaria* riboflavin-overproducing and dextran-producing strains useful for the development of functional bread. *Frontiers in Nutrition*, 9(October), 1–17. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.978831>
- Herranz, B., Canet, W., Jiménez, M. J., Fuentes, R., & Alvarez, M. D. (2016). Characterisation of chickpea flour-based gluten-free batters and muffins with added biopolymers: Rheological, physical and sensory properties. *International Journal of Food Science and Technology*, 51(5), 1087–1098. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13092>
- Hiel, S., Bindels, L. B., Pachikian, B. D., Kalala, G., Broers, V., Zamariola, G., Chang, B. P. I., Kambashi, B., Rodriguez, J., Cani, P. D., Neyrinck, A. M., Thissen, J. P., Luminet, O., Bindelle, J., & Delzenne, N. M. (2019). Effects of a diet based on inulin-rich vegetables on gut health and nutritional behavior in healthy humans. *American Journal of Clinical Nutrition*, 109(6), 1683–1695. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqz001>
- Hincapié, G. A., Vásquez, D. C., Galicia, V. S., & Hincapié, C. A. (2014). Technological and functional properties of dietary fiber from mando peel var. Hilacha (*Mangifera indica* L.): effect of

- convectonal drying. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 12(1), 153–160. <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/311>
- Hong, Y., Zi-jun, W., Jian, X., Ying-jie, D., & Fang, M. (2012). Development of the dietary fiber functional food and studies on its toxicological and physiologic properties. *Food and Chemical Toxicology*, 50(9), 3367–3374. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2012.05.011>
- Ibrahim, O., & Menkovska, M. (2022). Dietary Fibers-Classification, Properties, Analysis and Function: A Review. *Advances in Bioscience and Biotechnology*, 13(12), 527–544. <https://doi.org/10.4236/abb.2022.1312036>
- Institute of Medicine. (2005). Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein, and Amino Acids. In *Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein, and Amino Acids*. National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/10490>
- Instituto Colombiano de Bienestar Familiar. (2018). *Tabla de Composición de Alimentos Colombianos 2018*.
- Instituto colombiano de Bienestar Familiar ICBF, & Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura FAO. (2020). *Manual para facilitadores GABA: Guías Alimentarias Basadas en Alimentos para la Población Colombiana Mayor de 2 Años* (Segunda Ed).
- Instituto Colombiano de Bienestar Familiar, & Instituto Nacional de Salud. (2019). *Encuesta Nacional de la Situación Nutricional ENSIN 2015 Versión 1*. Instituto Colombiano de Bienestar Familiar.
- Instituto Colombiano de Bienestar Familiar, Instituto Nacional de Salud, & Universidad Nacional de Colombia. (2019). *Encuesta Nacional de la Situación Nutricional ENSIN 2015 Versión 2*. Instituto Colombiano de Bienestar Familiar. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/ED/GCFI/libro-ensin-2015.pdf>
- Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional de Colombia. (2005). *Desarrollo de alimentos funcionales empleando un biopolímero como fuente de fibra soluble*. Universidad Nacional de Colombia.
- Kiewiet, M. B. G., Elderman, M. E., El Aidy, S., Burgerhof, J. G. M., Visser, H., Vaughan, E. E., Faas, M. M., & de Vos, P. (2021). Flexibility of Gut Microbiota in Ageing Individuals during Dietary Fiber Long-Chain Inulin Intake. *Molecular Nutrition and Food Research*, 65(4), 1–10. <https://doi.org/10.1002/mnfr.202000390>
- Kim, J. Y., Kim, J. H., Lee, D. H., Kim, Sook, H., & Lee, S. S. (2007). The effect of varied dietary grains on plasma lipid profiles, gut transit time, and aorta histopathology in experimental rats. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*, 77(2), 99–106. <https://doi.org/10.1024/0300-9831.77.2.99>
- Kim, J. Y., Son, B. K., & Lee, S. S. (2012). Effects of adlay, buckwheat, and barley on transit time and the antioxidative system in obesity induced rats. *Nutrition Research and Practice*, 6(3), 208–212. <https://doi.org/10.4162/nrp.2012.6.3.208>
- Kotsiou, K., Sacharidis, D. D., Matsakidou, A., Biliaderis, C. G., & Lazaridou, A. (2022). Physicochemical and functional aspects of composite wheat-roasted chickpea flours in relation to dough rheology, bread quality and staling phenomena. *Food Hydrocolloids*, 124(PB), 107322. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107322>
- Kozłowska, M., Zbikowska, A., Marciniak-Lukasiak, K., & Kowalska, M. (2019). Herbal extracts incorporated into shortbread cookies: Impact on color and fat quality of the cookies. *Biomolecules*, 9(12), 1–16. <https://doi.org/10.3390/biom9120858>

- Lazić, V., Vivod, V., Peršin, Z., Stoilković, M., Ratnayake, I. S., Ahrenkiel, P. S., Nedeljković, J. M., & Kokol, V. (2020). Dextran-coated silver nanoparticles for improved barrier and controlled antimicrobial properties of nanocellulose films used in food packaging. *Food Packaging and Shelf Life*, 26. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100575>
- Li, M., Liu, Q., Zhang, W., Zhang, L., Zhou, L., Cai, S., Hu, X., & Yi, J. (2021). Evaluation of quality changes of differently formulated cloudy mixed juices during refrigerated storage after high pressure processing. *Current Research in Food Science*, 4, 627–635. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.09.002>
- Liu, Y., Zhang, H., Yi, C., Quan, K., & Lin, B. (2021). Chemical composition, structure, physicochemical and functional properties of rice bran dietary fiber modified by cellulase treatment. *Food Chemistry*, 342(October), 128352. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128352>
- Manayay, D., & Ibarz, A. (2010). Modelamiento de la cinética de reacciones del pardeamiento no enzimático y el comportamiento reológico, en el proceso térmico de jugos y pulpas de fruta. In *Scientia Agropecuaria* (Vol. 1, Issue 2, pp. 155–168). <http://www.revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop/article/view/28>
- Martinez Hilario, D. G., & Novoa Revelo, V. A. (2018). *Determinación de los modelos reológicos asociados al zumo de mango Kent (Mangifera indica L.)*. Universidad Nacional del Callao.
- Mechato, A., & Siche, R. (2020). Propiedades reológicas de jugo de maracuyá (*Pasiflora edulis*) con adición de fibra dietética. *Agroindustrial Science*, 10(3), 229–234. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2020.03.02>
- Mechato, A., & Velásquez-Barreto, F. F. (2023). Efecto de la temperatura y concentración de fibra en el perfil reológico del zumo de maracuyá (*Passiflora edulis*). *Revista de Investigación Agropecuaria Science and Biotechnology*, 3(3), 25–33. <https://doi.org/10.25127/riagrop.20233.917>
- Merma Rio, B. F. (2013). Determinación de parámetros óptimos de extracción de fibra dietética soluble a partir de semillas de linaza (*Linum usitatissimum L.*). In *Tesis*. Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac.
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2016). *Recomendaciones de Ingesta de Energía y Nutrientes (RIEN) para la población colombiana*.
- Ministerio de salud y proteccion social. (2021). Resolución No. 810 de 2021. In *Republica De Colombia*. Ministerio de Salud y Protección Social.
- Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia. (2013). *Resolucion Numero 003929 De 2013* (p. 29). Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia. [https://www.minsalud.gov.co/Normatividad\\_Nuevo/Resolución 3929 de 2013.pdf](https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resolución%203929%20de%202013.pdf)
- Mongeau, R., & Brooks, S. P. J. (2016). Dietary Fiber: Properties and Sources. In *Encyclopedia of Food and Health* (1st ed., Vol. 3). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00784-4>
- Moreno, K. G., Spavento, E. M., & Monteoliva, S. E. (2022). Evolución del color y la aparición de defectos en la madera de *Eucalyptus globulus* expuesta a intemperismo natural. *Maderas: Ciencia y Tecnología*, 24(24), 1–12. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2022000100426>
- Müller, M., Hermes, G. D. A., Emanuel E, C., Holst, J. J., Zoetendal, E. G., Smidt, H., Troost, F., Schaap, F. G., Damink, S. O., Jocken, J. W. E., Lenaerts, K., Masclee, A. A. M., & Blaak, E. E. (2020). Effect of wheat bran derived prebiotic supplementation on gastrointestinal transit, gut microbiota, and metabolic health: a randomized controlled trial in healthy adults with a slow gut transit. *Gut Microbes*, 12(1), 1–15. <https://doi.org/10.1080/19490976.2019.1704141>

- Mysonhimer, A. R., & Holscher, H. D. (2022). Gastrointestinal Effects and Tolerance of Nondigestible Carbohydrate Consumption. *Advances in Nutrition*, 13(6), 2237–2276. <https://doi.org/10.1093/advances/nmac094>
- Naessens, M., Cerdobbel, A., Soetaert, W., & Vandamme, E. J. (2005). Leuconostoc dextransucrase and dextran: Production, properties and applications. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 80(8), 845–860. <https://doi.org/10.1002/jctb.1322>
- Nagy, D. U., Sándor-Bajusz, K. A., Bódy, B., Decsi, T., Van Harselaar, J., Theis, S., & Lohner, S. (2022). Effect of chicory-derived inulin-type fructans on abundance of Bifidobacterium and on bowel function: a systematic review with meta-analyses. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 0(0), 1–18. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2098246>
- Nandhra, G. K., Mark, E. B., Di Tanna, G. L., Haase, A. M., Poulsen, J., Christodoulides, S., Kung, V., Klinge, M. W., Knudsen, K., Borghammer, P., Andersen, K. O., Fynne, L., Sutter, N., Schlageter, V., Krogh, K., Drewes, A. M., Birch, M., & Scott, S. M. (2020). Normative values for region-specific colonic and gastrointestinal transit times in 111 healthy volunteers using the 3D-Transit electromagnet tracking system: Influence of age, gender, and body mass index. *Neurogastroenterology and Motility*, 32(2). <https://doi.org/10.1111/nmo.13734>
- Nawrocka, A., Miś, A., & Niewiadomski, Z. (2017). Dehydration of gluten matrix as a result of dietary fibre addition – A study on model flour with application of FT-IR spectroscopy. *Journal of Cereal Science*, 74, 86–94. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.02.001>
- Negu, A., Zegeye, A., & Astatkie, T. (2020). Development and quality evaluation of wheat based cookies enriched with fenugreek and oat flours. *Journal of Food Science and Technology*, 57(10), 3573–3580. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04389-3>
- Ninamango Guevara, J. L., Vila Villegas, E. A., & Berrocal Argümedo, L. (2016). Efecto de la temperatura y concentración en las propiedades reológicas del zumo de sandía (*Citrullus lanatus*). *Prospectiva Universitaria*, 13(1), 21–28. <https://doi.org/10.26490/uncp.prospectivauniversitaria.2016.13.381>
- Nirmala Prasadi, V. P., & Joye, I. J. (2023). Effect of soluble dietary fibre from barley on the rheology, water mobility and baking quality of wheat flour dough. *Journal of Cereal Science*, 112(April), 103715. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2023.103715>
- O’Grady, J., O’Connor, E. M., & Shanahan, F. (2019). Review article: dietary fibre in the era of microbiome science. *Alimentary Pharmacology and Therapeutics*, 49(5), 506–515. <https://doi.org/10.1111/apt.15129>
- Pal, M., Panesar, A. S., & Vahalkar, G. (2020). Development of high fiber and 30% reduced sugar हि-cup instant soluble tea. *International Journal of Home Science*, 6(3), 466–470. <https://doi.org/10.22271/23957476.2020.v6.i3h.1086>
- Palacio, M. I., Etcheverría, A. I., & Manrique, G. D. (2018). Development of gluten-free muffins utilizing squash seed dietary fiber. *Journal of Food Science and Technology*, 55(8), 2955–2962. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3213-z>
- Panchi Guanoluisa, A. N. (2013). Determinación de parámetros reológicos en bebidas de frutas con diferentes concentraciones de sólidos solubles mediante el uso del equipo universal TA – XT2i [Universidad Técnica de Ambato]. In *Universidad Técnica de Ambato*. [https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/6561/1/AL 506.pdf](https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/6561/1/AL%20506.pdf)
- Paquet, É., Hussain, R., Bazinet, L., Makhlof, J., Lemieux, S., & Turgeon, S. L. (2014). Effect of processing treatments and storage conditions on stability of fruit juice based beverages enriched with dietary fibers alone and in mixture with xanthan gum. *Lwt*, 55(1), 131–138. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.08.014>

- Paturi, G., Butts, C. A., Monro, J. A., Hedderley, D., Stoklosinski, H., Roy, N. C., & Ansell, J. (2012). Evaluation of gastrointestinal transit in rats fed dietary fibres differing in their susceptibility to large intestine fermentation. *Journal of Functional Foods*, 4(1), 107–115. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2011.08.005>
- Peressini, D., & Sensidoni, A. (2009). Effect of soluble dietary fibre addition on rheological and breadmaking properties of wheat doughs. *Journal of Cereal Science*, 49(2), 190–201. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.09.007>
- Qasem, A. A. A., Alamri, M. S., Mohamed, A. A., Hussain, S., Mahmood, K., & Ibraheem, M. A. (2017). Soluble fiber-fortified sponge cakes: formulation, quality and sensory evaluation. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11(3), 1516–1522. <https://doi.org/10.1007/s11694-017-9530-5>
- Qi, X., & Tester, R. F. (2019). Utilisation of dietary fibre (non-starch polysaccharide and resistant starch) molecules for diarrhoea therapy: A mini-review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 122, 572–577.
- Queiroz, M. B., Sousa, F. R., Bataglia da Silva, L., Vercelino Alves, R. M., & Dutra Alvim, I. (2022). Co-crystallized sucrose-soluble fiber matrix: Physicochemical and structural characterization. *LWT - Food Science and Technology*, 154(October 2021). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112685>
- Reimer, R. A., Soto-Vaca, A., Nicolucci, A. C., Mayengbam, S., Park, H., Madsen, K. L., Menon, R., & Vaughan, E. E. (2020). Effect of chicory inulin-type fructan-containing snack bars on the human gut microbiota in low dietary fiber consumers in a randomized crossover trial. *American Journal of Clinical Nutrition*, 111(6), 1286–1296. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqaa074>
- Resolución 3803, Pub. L. No. 3803, 26 (2016). [http://www.icbf.gov.co/portal/page/portal/PortalICBF/bienestar/nutricion/pnsan/Resolucion 3803 Agosto 22 de 2016 Recomendaciones de Ingesta de Energia y Nutrientes - RIEN.pdf](http://www.icbf.gov.co/portal/page/portal/PortalICBF/bienestar/nutricion/pnsan/Resolucion%203803%20Agosto%2022%20de%202016%20Recomendaciones%20de%20Ingesta%20de%20Energia%20y%20Nutrientes%20-%20RIEN.pdf)
- Resolución N° 2465 de 2016, Pub. L. No. 2465, Ministerio de Salud y Protección Social 1 (2016). [https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/paginas/freesearchresults.aspx?k=&k=resolución 2465](https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/paginas/freesearchresults.aspx?k=&k=resolución%202465)
- Resolución Número 8430 de 1993, Ministerio de salud (1993). <https://doi.org/10.7705/biomedica.v32i4.1526>
- Riaz Rajoka, M. S., Wu, Y., Mehwish, H. M., Bansal, M., & Zhao, L. (2020). Lactobacillus exopolysaccharides: New perspectives on engineering strategies, physiochemical functions, and immunomodulatory effects on host health. *Trends in Food Science and Technology*, 103(May), 36–48. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.06.003>
- Risso, D., Laurie, I., Sarkkinen, E., & Karnik, K. (2023). The effect of polydextrose on fecal bulk and bowel function in mildly constipated healthy adults: a double-blind, placebo controlled study. *Functional Foods in Health and Disease*, 13(5), 240–257. <https://doi.org/10.31989/ffhd.v13i5.1099>
- Rivas Muñoz, M. de los A. (2024). *Caracterización de la capacidad tecnológica y funcional de la fibra dietética extraída de subproductos vegetales*. Universidad de Extremadura.
- Rodriguez Garcia, J., Ding, R., Nguyen, T. H. T., Grasso, S., Chatzifragkou, A., & Methven, L. (2022). Soluble fibres as sucrose replacers: Effects on physical and sensory properties of sugar-reduced short-dough biscuits. *LWT - Food Science and Technology*, 167(June), 113837. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113837>
- Roman, M., & Valencia, F. (2006). Evaluación De Galletas Con Fibra De Cereales Como Alimento Funcional. *Revista de La Facultad de Química Farmaceutica*, 13 Número(53), 36–43.

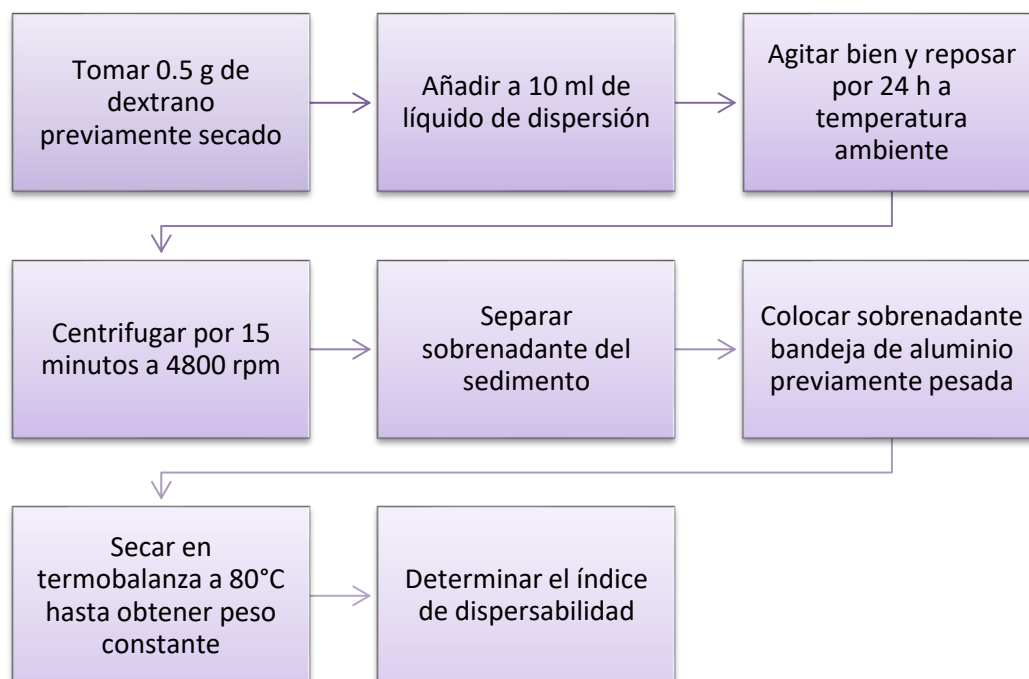
- [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0121-40042006000200005&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-40042006000200005&nrm=iso)
- Ruiz, Y., Sánchez, J., Hernández, E., Auleda, J. M., & Raventós, M. (2010). Viscosidad de zumos comerciales de melocotón, manzana y pera a temperaturas cercanas a la congelación. *Afinidad*, 67(546), 114–118.
- Salinas Jimenez, D. (2021). *Efecto de la adición de fibra y la temperatura sobre las propiedades reológicas de los zumos de fruta*. Universidad de Lleida.
- Scarpellini, E., Deloose, E., Vos, R., Francois, I., Delcour, J. A., Broekaert, W. F., Verbeke, K., & Tack, J. (2018). The effect of arabinooligosaccharides on upper gastroduodenal motility and hunger ratings in humans. *Neurogastroenterology and Motility*, 30(7), 1–7. <https://doi.org/10.1111/nmo.13306>
- Segura-Badilla, O., Lazcano-Hernández, M., Kammar-García, A., Vera-López, O., Aguilar-Alonso, P., Ramírez-Calixto, J., & Navarro-Cruz, A. R. (2020). Use of coconut water (*Cocos nucifera* L) for the development of a symbiotic functional drink. *Heliyon*, 6(3). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03653>
- Sereti, V., Kotsiou, K., Biliaderis, C. G., & Lazaridou, A. (2023). Emulsion gel enriched with a barley  $\beta$ -glucan concentrate for reducing saturated fat in biscuits. *Food Hydrocolloids*, 145.
- Spence, J. T. (2006). Challenges related to the composition of functional foods. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(SUPPL.), 2005–2007. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2005.11.007>
- Stachowska, E., Maciejewska, D., Palma, J., Jamiol-Milc, D., Szczuko, M., Marlicz, W., Wunsch, E., & Skonieczna-Zydecka, K. (2022). Improvement of bowel movements among people with a sedentary lifestyle after prebiotic snack supply - preliminary study. *Przegląd Gastroenterologiczny*, 17(1), 73–80. <https://doi.org/10.5114/pg.2021.108985>
- Surichaqui Piuca, M. (2020). Potencialidad de la fibra dietaria: Sus propiedades funcionales, métodos de obtención y aplicaciones en la industria alimentaria peruana [Universidad Peruana Unión]. In *Tesis de licenciatura*. [https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/2038/Gloria\\_Trabajo\\_Academico\\_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/2038/Gloria_Trabajo_Academico_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Surya, N., Poornakala, S. J., Kanchana, S., & Hemalatha, G. (2020). Development of Amla (*Emblica officinalis*) ready to serve beverage fortified with dietary fiber. *Emergent Life Sciences Research*, 06(01), 06–15. <https://doi.org/10.31783/elsr.2020.610615>
- Taylan, O., Yilmaz, M. T., & Dertli, E. (2019). Partial characterization of a levan type exopolysaccharide (EPS) produced by *Leuconostoc mesenteroides* showing immunostimulatory and antioxidant activities. *International Journal of Biological Macromolecules*, 136, 436–444. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.06.078>
- Valencia G, F. E., & Román M, M. O. (2006). Caracterización fisicoquímica y funcional de tres concentrados comerciales de fibra dietaria. *Vitae, Revista de La Facultad de Química Farmacéutica*, 13(2).
- van der Beek, C. M., Canfora, E. E., Kip, A. M., Gorissen, S. H. M., Olde Damink, S. W. M., van Eijk, H. M., Holst, J. J., Blaak, E. E., Dejong, C. H. C., & Lenaerts, K. (2018). The prebiotic inulin improves substrate metabolism and promotes short-chain fatty acid production in overweight to obese men. *Metabolism: Clinical and Experimental*, 87, 25–35. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2018.06.009>
- van der Schoot, A., Creedon, A., Whelan, K., & Dimidi, E. (2023). The effect of Fiber Supplementation on Chronic Constipation in adults: An Updated Systematic review and meta-analysis of

- randomized controlled trials. *Neurogastroenterology and Motility*, 953–969. <https://doi.org/10.1111/nmo.14613>
- Vega, A. B., Perelló, A., Martos, L., García Bayo, I., García, M., Andreu, V., Abad, A., & Barenys, M. (2015). Breath methane in functional constipation: Response to treatment with Ispaghula husk. *Neurogastroenterology and Motility*, 27(7), 945–953. <https://doi.org/10.1111/nmo.12568>
- Vilcanqui Pérez, F., & Vilchez Perales, C. (2017). Fibra dietaria : nuevas definiciones , propiedades funcionales y beneficios para la salud . Revisión. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, 67(1).
- Walkling-Ribeiro, M., Noci, F., Cronin, D. A., Lyng, J. G., & Morgan, D. J. (2010). Shelf life and sensory attributes of a fruit smoothie-type beverage processed with moderate heat and pulsed electric fields. *LWT - Food Science and Technology*, 43(7), 1067–1073. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.02.010>
- Wang, K., Li, M., Wang, Y., Liu, Z., & Ni, Y. (2021). Effects of extraction methods on the structural characteristics and functional properties of dietary fiber extracted from kiwifruit (*Actinidia deliciosa*). *Food Hydrocolloids*, 110(17). <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106162>
- Wang, L., Xu, H., Yuan, F., Fan, R., & Gao, Y. (2015). Preparation and physicochemical properties of soluble dietary fiber from orange peel assisted by steam explosion and dilute acid soaking. *Food Chemistry*, 185, 90–98. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.112>
- Wang, M., Wichienchot, S., He, X., Fu, X., Huang, Q., & Zhang, B. (2019). In vitro colonic fermentation of dietary fibers: Fermentation rate, short-chain fatty acid production and changes in microbiota. *Trends in Food Science and Technology*, 88(March), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.03.005>
- Wang, Y., Guo, X., Sun, D., & Kassab, G. S. (2022). Roles of Gastric Emptying and Gastrointestinal Transit Following Ileal Interposition in Alleviating Diabetes in Goto-Kakizaki Rats. *Frontiers in Endocrinology*, 13(March), 1–9. <https://doi.org/10.3389/fendo.2022.849923>
- Xu, J., Zhou, X., Chen, C., Deng, Q., Huang, Q., Yang, J., Yang, N., & Huang, F. (2012). Laxative effects of partially defatted flaxseed meal on normal and experimental constipated mice. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 12, 10–14. <https://doi.org/10.1186/1472-6882-12-14>
- Yadav, L., & Chakravarty, Y. (2013). Effect of keeping time period on acidity of fruit juices and determination of fungal growth in fruit juices. *Asian Journal of Home Sciences*, 8(1), 166–169.
- Zambrano Pardo, L. del P. (2020). *Evaluación de la capacidad prebiótica del Biopolímero Bilac ®*. Universidad Nacional de Colombia.
- Zare, M., Norouzi Sarkati, M., Tashakkorian, H., Partovi, R., & Rahaiee, S. (2019). Dextran-immobilized curcumin: An efficient agent against food pathogens and cancer cells. *Journal of Bioactive and Compatible Polymers*, 34(4–5), 309–320. <https://doi.org/10.1177/0883911519863074>
- Zhou, Y., Dhital, S., Zhao, C., Ye, F., Chen, J., & Zhao, G. (2021). Dietary fiber-gluten protein interaction in wheat flour dough: Analysis, consequences and proposed mechanisms. In *Food Hydrocolloids* (Vol. 111). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106203>
- Zurdo-Seijas, C. M. (2015). Papel de la fibra en la prevención de las enfermedades cardiovasculares. In *Enfermería Y La Administración Citostática*. <https://doi.org/10.1214/07-AOS515>

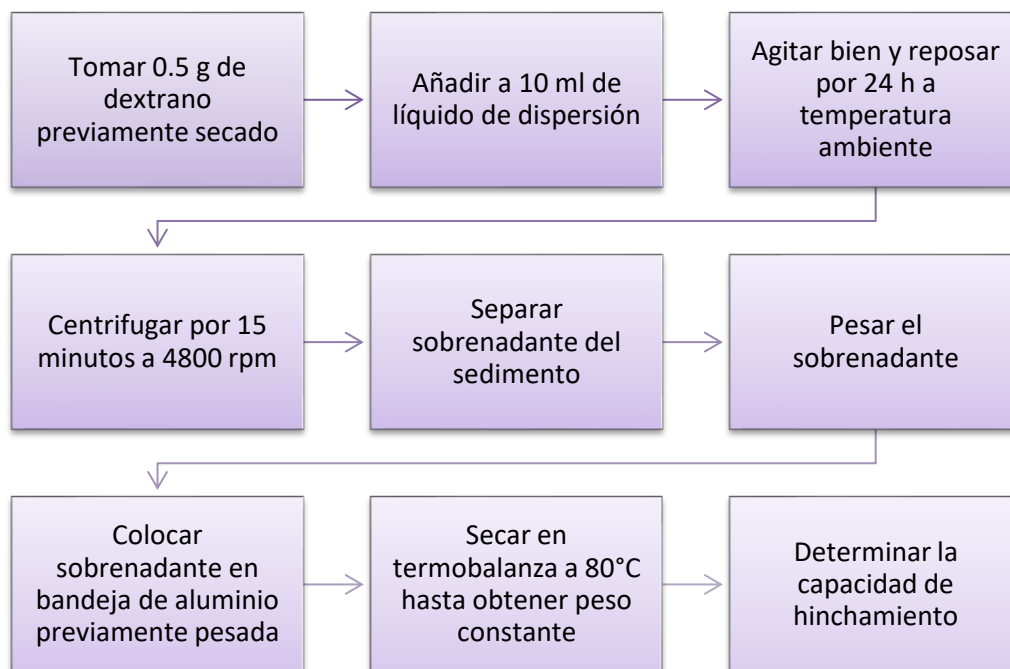
## Anexos

### Anexo 1. Metodologías de la caracterización fisicoquímica del dextrano

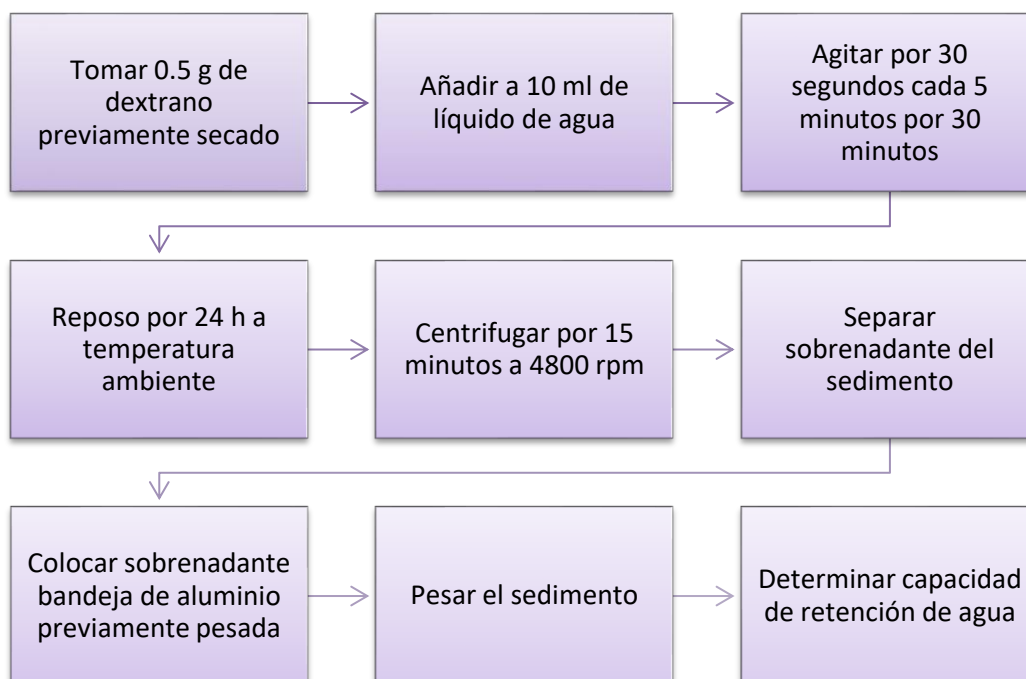
#### Flujograma de índice de dispersabilidad



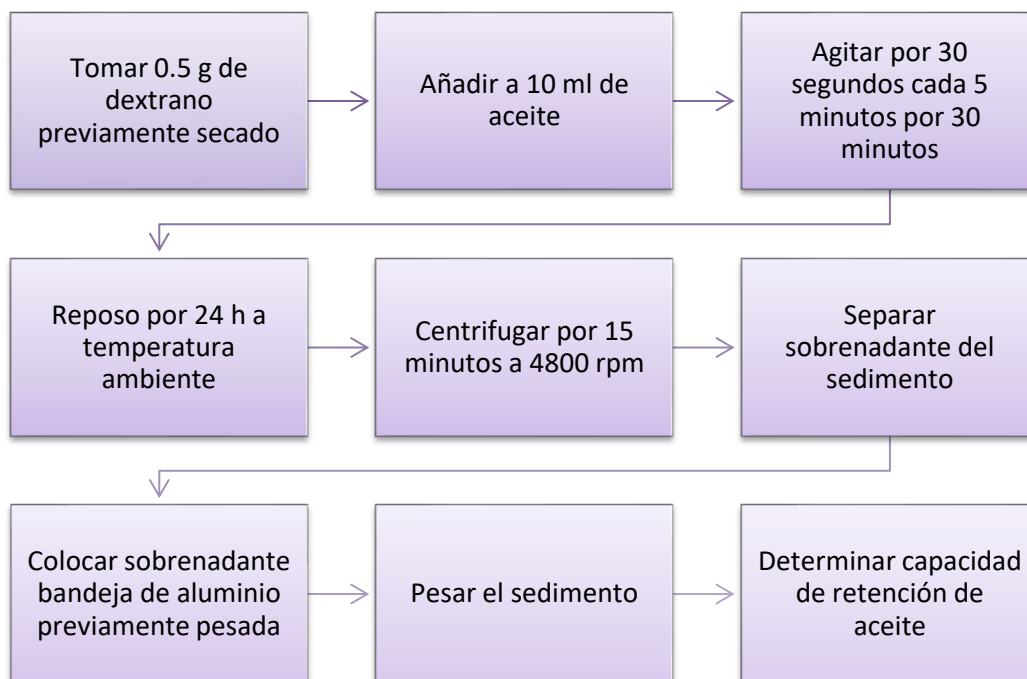
### Flujograma de Capacidad de Hinchamiento



### Capacidad de Retención de Agua



### Capacidad de Retención de Aceite



## Anexo 2. Instrumento para análisis sensorial de Alimentos

FORMULARIO # \_\_\_\_

### FORMATO DE ANÁLISIS SENSORIAL

Le agradecemos de antemano su participación en esta evaluación sensorial. Por favor llene los datos demográficos según corresponda.

Nombre \_\_\_\_\_ Género \_\_\_\_\_ Edad \_\_\_\_\_

Fecha \_\_\_\_\_

A continuación, verifique el número de cada muestra de **GALLETA DE SAL, GALLETA DE AVENA, GALLETA TIPO COLACIÓN** que se le ofrece, anótelos y prosiga con la evaluación sensorial. A cada uno de los atributos listados, marque con una "X" según el atributo elegido.

Atributos	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
<b>No de muestra</b>				
<b>Aroma:</b>				
- Característico:				
- No característico:				
- Residual				
<b>Color de la corteza:</b>				
- Oscura:				
- Ligeramente oscura:				
- Clara:				
<b>Superficie:</b>				
- Lisa:				
- Abultada:				
- Agrietada:				
- Granulosa:				
<b>Miga:</b>				
- Uniforme				
- Poco uniforme				
- Compacta				
<b>Color de la miga:</b>				
- Oscura:				
- Ligeramente oscura:				
- Clara				
<b>Consistencia</b>				
- Dura – Firme:				
- Suave:				
- Desmoronable:				
- Gomosa-masuda				
<b>Crocancia</b>				
- Muy crocante				
- Crocante				
- Nada crocante				
<b>Sensación grasosa</b>				
- Muy grasoso:				
- Grasoso:				
- No se percibe:				
<b>Sabor</b>				
- Característico:				
- No característico:				
- Insípido				
- Residual				
<b>¿Cuál muestra prefiere?</b>				



FORMULARIO # \_\_\_\_

## FORMATO DE ANÁLISIS SENSORIAL

Le agradecemos de antemano su participación en esta evaluación sensorial. Por favor llene los datos demográficos según corresponda.

Nombre \_\_\_\_\_ Género \_\_\_\_\_ Edad \_\_\_\_\_

Fecha \_\_\_\_\_

A continuación, verifique el número de cada muestra de **MUFFIN DE VAINILLA/PONQUÉ DE VAINILLA** que se le ofrece, anótelos y prosiga con la evaluación sensorial. A cada uno de los atributos listados, marque con una "X" según el atributo elegido.

Atributos	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
<b>No de muestra</b>				
<b>Aroma:</b>				
- Característico:				
- No característico:				
- Residual				
<b>Color de la corteza:</b>				
- Oscura:				
- Ligeramente oscura:				
- Clara:				
<b>Superficie:</b>				
- Lisa:				
- Abultada:				
- Agrietada:				
- Granulosa:				
<b>Miga:</b>				
- Uniforme				
- Poco uniforme				
- Compacta				
<b>Color de la miga:</b>				
- Oscura:				
- Ligeramente oscura:				
- Clara				
<b>Consistencia</b>				
- Dura – Firme:				
- Suave:				
- Desmoronable:				
- Gomosa-masuda				
<b>Sensación grasosa</b>				
- Muy grasoso:				
- Grasoso:				
- No se percibe:				
<b>Sabor</b>				
- Característico:				
- No característico:				
- Insípido				
- Residual				
<b>¿Cuál muestra prefiere?</b>				



### **Anexo 3. Consideraciones éticas**

Para la evaluación de tránsito intestinal se llevarán a cabo dos ensayos biológicos, uno en roedores y otro en humanos. El biopolímero por utilizar es un dextrano conformado por unidades monoméricas de glucosa, con un peso molecular promedio de 850000 DA, obtenido mediante la polimerización realizada por una enzima de las glucosiltransferasas a partir de la sacarosa como sustrato. El microorganismo encargado de la producción de la enzima es un *Lactococcus lactis*, especie catalogada por la FDA como generalmente reconocida como segura o GRAS. El instituto de biotecnología y el Departamento de Farmacia de la Universidad Nacional de Colombia, han realizado estudios de toxicidad aguda y subaguda del polímero en ratas con base a las normas técnicas de la OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, encontrando que este se puede clasificar en la categoría 5 – Peligro agudo relativamente bajo, debido a la no mortalidad en animales en el ensayo, quienes además no presentaron cambios en su comportamiento, ni sintomatología de enfermedades con respecto a los controles.

Como parte del proyecto de caracterización de propiedades biológicas y fisicoquímicas del biopolímero, que pretende establecer la concentración a la cual puede considerarse un componente bioactivo, el Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional de Colombia ha venido desarrollando diferentes pruebas biológicas en animales y seres humanos. Los ensayos preliminares fueron realizados en ratas, en las cuales se determinó respuesta glucémica, tiempo de tránsito intestinal y perfil lipídico, confirmando en todos los casos la seguridad del compuesto. Posteriormente, se efectuaron ensayos biológicos en seres humanos para la determinación de variables como efecto prebiótico,

fermentación colónica, y efecto sobre el índice glucémico y la respuesta postprandial de insulina, ghrelina y triglicéridos; los participantes de estos estudios no manifestaron ningún efecto secundario o síntoma adverso asociado al consumo del biopolímero.

En la tesis de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos denominada “Evaluación fisicoquímica y funcional de un dextrano de origen microbiano” pretende continuar con el proyecto mencionado. Esta investigación consta de dos pruebas biológicas, una en modelo animal y otra en modelo humano en la cual se evaluará el efecto en la velocidad de tránsito intestinal. En el modelo animal se hará uso 78 ratas quienes recibirán nada, 50 y 100 mg de biopolímero por cada 10 gramos de su peso corporal por medio de sonda orogástrica de manera diaria durante seis semanas. Los procedimientos para llevar a cabo son la evaluación de la materia fecal con aparición de coloración dada la incorporación de un colorante en la muestra de biopolímero, y, al final del ensayo la evaluación de velocidad de tránsito intestinal parcial para la cual serán sacrificados y eviscerados los roedores para obtener su tracto gastrointestinal desde el esófago hasta la válvula ileocecal, la cual será efectuada por personal entrenado para dicha actividad. Para el modelo humano, se realizará un examen médico, llevado a cabo por un médico general y una valoración nutricional, efectuada por profesionales en nutrición y dietética entrenados para dicha actividad y la evaluación de tránsito intestinal total por medio del consumo de un producto con o sin adición del biopolímero, al cual se le añadirá un colorante marcador para determinar el efecto en el tiempo del tránsito intestinal.

Los procedimientos que se llevarán a cabo, como examen médico general y valoración nutricional, así como las intervenciones que hacen parte de esta investigación, serán explicadas a los sujetos que participarán en el ensayo; también se les informará

mediante reuniones grupales los posibles riesgos y beneficios derivados del estudio, y el carácter confidencial y privado de la información recolectada. En constancia de lo anterior, se solicitará a los participantes que lean y firmen el correspondiente consentimiento (Ver Anexo) de su participación voluntaria en el ensayo.

Teniendo en cuenta los aspectos enumerados en el Artículo 6 de la Resolución Número 8430 de 1993

y con base en los ensayos toxicológicos y las pruebas biológicas preliminares, se puede considerar que este estudio representa un mínimo riesgo de efectos adversos para la vida y para la integridad física, mental y/o psicosocial de los individuos participantes.

**Anexo 4. Consentimiento Informado**

Yo \_\_\_\_\_ identificado(a)  
con cédula de ciudadanía número \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ acepto participar  
como voluntario(a) en el estudio “Evaluación fisicoquímica y funcional de un dextrano de  
origen microbiano”.

Se me explicaron los procedimientos de:

Consumo de cada uno de los tratamientos definidos como alimentos de estudio  
(producto patrón o con adición de fibra) en 10 ocasiones.

Observación de materia fecal y contabilización de tiempo en aparición de colorante.

Se me ha informado que los anteriores procedimientos y el consumo de alimentos  
de estudio no constituye ningún peligro para mi integridad física y mental, no me genera  
costos adicionales, y la información obtenida se divulgará solo con fines científicos y  
académicos, preservando mi identidad.

He recibido una copia de este documento y he tenido la oportunidad de leerlo,  
después de lo cual procedo a firmar mi consentimiento.

Fecha \_\_\_\_\_

Teléfono \_\_\_\_\_

Cedula de ciudadanía \_\_\_\_\_

Firma \_\_\_\_\_

Firma del responsable de la investigación \_\_\_\_\_

### Anexo 5. Formato de Anamnesis Nutricional

Fecha		Participante #	
Identificación			
Nombre			
Antropometría			
Peso		Kg	
Talla		m	
IMC		Kg/m <sup>2</sup>	
Perímetro de cintura		cm	
Masa muscular		Kg	
Grasa corporal		%	
Antecedentes			
¿Recibe algún régimen especial de alimentación?			
¿Cuáles son los cambios?			
¿Ha cambiado su alimentación en su último semestre?			
¿Toma agua o líquidos en el día? ¿Qué cantidad consume?			
¿Consume algún suplemento nutricional?		¿Cuál?	
¿Consume alguna infusión o producto para lograr tener deposiciones efectivas?			
¿Presenta algún síntoma gastrointestinal asociado al consumo de algún alimento?			
¿Cuántos tiempos de comida consume habitualmente?			
¿A que hora suele desayunar?			
¿Varía su alimentación en fines de semana y festivos?			
Cuales son los cambios que presenta?			
¿Alergias alimentarias?			
Observaciones adicionales			

Global Rescordatorio 24 horas					
Tiempo de comida (Hora)	Lugar de consumo	Preparación		Ingredientes	
		Nombre	Medica casera	Nombre	Peso
Desayuno (_:_)					
Nueves (_:_)					
Almuerzo (_:_)					
Onces (_:_)					
Cena (_:_)					
Refrigerio Nocturno (_:_)					

Frecuencia de consumo de alimentos				
¿Cada cuanto consume los siguientes alimentos y en que tamaño de porción?				
Grupo de alimentos	Ejemplos		Tamaño de porción	Frecuencia
Cereales, raíces, tubérculos y plátanos	Arroz, pasta yuca, pan, galletas, plátano..			
	Altos en fibra	Avena en hojuelas		
		Arroz Integral		
		Cereales integrales		
		Granola		
		Linaza		
		Salvado de trigo		
Hortalizas, verduras y legumbres	Altos en fibra	Galletas integrales		
		Verduras en sopa		
		Ensaladas frías o crudas		
		Verdura caliente o cocida		
Frutas	Altos en fibra	Tortas, purés, potecas		
		Enteras		
		Frutas en ensalada		
		Frutas en jugo		
Carnes, huevos y leguminosas	Altos en fibra	Jugos con adición de fibra		
		Res, pollo, huevos		
		Pescado y mariscos		
		Frijol		
		Lenteja		
		Garbanzo		
Lácteos	Altos en fibra	Arveja seca		
		Soya y derivados		
		Leche, yogurt, kumis, queso		
	Altos en fibra	Leche con adición de fibra		
		Yogurt con adición de fibra		
Grasas	Margarina, aceite, mantequilla, manteca			
Azúcares	Azúcar, miel, panela			
	Chocolate, arequipe, bocadillo			
	Gaseosas			
Otros	Comidas rápidas			
	Embutidos			
	Fibra aislada y purificada			

## Anexo 6. Formato de valoración médica

Fecha				Participante #	
<b>Identificación</b>					
Nombre					
Tipo de identificación		Número		de	
FN			Edad		años
Estado civil		Ocupación		e-mail	
Dirección actual					
Contacto					
<b>Conductas de riesgo</b>					
Hábito	Alcohol		Cigarrillo		SPA
Frecuencia					
<b>Antropometría</b>					
Peso		Kg			
Talla		m			
IMC		Kg/m2			
T.A.		mmHg			
<b>Antecedentes</b>					
Antecedentes familiares					
Le han diagnosticado alguna de las siguientes enfermedades					
Diabetes					
Hipoglucemia					
Intolerancia a la glucosa					
Sobrepeso - Obesidad					
Enfermedad renal					
Enfermedad hepática					
Enfermedad cardíaca					
Trastornos gastrointestinales (enfermedad de crohn, diarrea funcional)					
¿Consume algún medicamento? ¿Cuál?					
¿Presenta algún trastorno del sueño? ¿Duerme bien?					
<b>Evaluación de sistema Gastrointestinal</b>					
Frecuencia de deposición				¿Qué textura tiene?	
¿Su deposición es satisfactoria? (Si o no)					
¿Presenta dificultades al momento de realizarla? (Si o no)					
¿Su deposición es completa? (Si o no)					
¿Presenta alguno de los siguientes síntomas gastrointestinales?					
Náuseas					
Vómito					
Diarrea					
Estreñimiento					
Dolor abdominal					
Distensión					
Flatulencia					
Observaciones adicionales					
El individuo cumple con los criterios para participar en el estudio					
Médico:		Firma:		Sello:	

## Anexo 7. Ficha Técnica del Colorante



### PRODUCT SPECIFICATION

#### PRODUCT: SPECTRAL CONCENTRATED PASTE – ROYAL BLUE

Sugarflair Product Number: A135

Product Barcode: 0610370673928

This material is manufactured from the following ingredients/colours

Humectant: E422 Glycerol

Thickener: E551 Silica

Colour: E122 (Carmoisine), E133 (Brilliant blue).

E122, may have an adverse effect on activity and attention in children.

Guidance: For every 1kg of cake decoration, you should not use more than 4.7g of paste colour.

#### **GB Concentrated colour paste for food use**

Ingredients: Humectant: E422, Thickener: E551, Colour: E122 (Carmoisine), E133 (Brilliant blue).

E122: may have an adverse effect on activity and attention in children

Maximum usable dose: 4,7 g/kg. Best before 31-12-2028. Storage: Store in a dark place.

#### **ES colorante concentrada en pasta destinado a la alimentación.**

Ingredientes: Humectante: E422, Espesante: E551,

Colorante: E122 (Azorrubina), E133 (Azul brillante).

E122: puede tener efectos negativos sobre la actividad y la atención de los niños.

Dosis máxima de empleo: 4,7 g/kg. Consumir preferentemente antes del: 31-12-2028.

Almacenamiento: conservar en un sitio oscuro.

**DE konzentrierte Farbpaste für Lebensmittel,**

Zutaten: Feuchthaltemittel: E422, Verdickungsmittel: E551, Farbstoff: E122 (Azorubin), E133 (Leuchtendes Blau).

E122: Kann Aktivität und Aufmerksamkeit bei Kindern beeinträchtigen.

Verwendungshöchstmengen: 4,7 g/kg. Mindestens haltbar bis: 31-12-2028.

Lagerung: Dunkel lagern.

**NL geconcentreerde kleurstofpasta voor gebruik in levensmiddelen**

Ingrediënten: Bevochtigingsmiddel: E422, verdikkingsmiddel: E551, kleur: E122 (Karmozijn), E133 (Briljant blauw).

E122: kan de activiteit of oplettendheid van kinderen nadelig beïnvloeden.

Maximale gebruiksdosis 4,7 g/kg. Ten minste houdbaar tot: 31-12-2028.

Bewaaraadvies: donker bewaren.

**F - Colorant concentré en pâte pour utilisation dans les denrées alimentaires.**

Ingredients : humectant : E422, épaississant : E551, colorant : E122 (Carmoisine), E133 (Bleu brillant). E122: peut avoir des effets indésirables sur l'activité et l'attention chez les enfants. Doses maximales d'emploi: 4,7 g/kg. À consommer de préférence avant fin : 31-12-2028. Stockage : conserver dans un endroit sombre.

This material conforms to the specification for food additives in commission regulation No 231/2012

It is confirmed that the product listed above does not contain any of the allergens listed in Directive 1169/2011

Country of Origin: United Kingdom

STORAGE CONDITIONS: Store in sealed containers in a dry place.

SHELF LIFE: Minimum 5 years under correct storage conditions.  
See product for best before date.

**Anexo 8. Parámetros reológicos estimados a partir del modelo lo de ley de potencia**

Conc. (%)	Temp. (°C)	Día	$\kappa$	$n$	$R^2$	
<b>Maracuyá</b>						
<b>0%</b>	11,5	0	0,0499	0,4458	0,959	
		1	0,0714	0,2539	0,9052	
		2	0,055	0,4081	0,9388	
	26,6	0	0,0498	0,2659	0,9209	
		1	0,0644	0,2736	0,9409	
		2	0,0647	0,2656	0,9313	
	51,5	0	0,0268	0,2167	0,8434	
		1	0,0738	0,1354	0,903	
		2	0,0544	0,2125	0,9063	
	<b>2%</b>	11,5	0	0,2493	0,675	0,9831
			1	0,2596	0,7266	0,9903
			2	0,2104	0,7632	0,9852
26,6		0	0,2522	0,5543	0,9592	
		1	0,1837	0,7391	0,9603	
		2	0,1357	0,8136	0,9708	
51,5		0	0,0748	0,6761	0,9181	
		1	0,1528	0,6861	0,9933	
		2	0,1288	0,724	0,9766	
<b>4%</b>		11,5	0	1,6869	0,6069	0,9888
			1	0,756	0,7668	0,9958
			2	0,4763	0,7614	0,9971
	26,6	0	1,0948	0,5742	0,9951	
		1	0,4737	0,766	0,9942	
		2	0,3732	0,7628	0,9961	
	51,5	0	0,2976	0,6871	0,9728	
		1	0,4245	0,695	0,9952	
		2	0,3504	0,6851	0,9901	
	<b>6%</b>	11,5	0	2,2608	0,7338	0,9994
			1	0,8964	0,7912	0,9971
			2	0,8059	0,7867	0,9976
26,6		0	2,9054	0,6208	0,9983	
		1	0,8391	0,7446	0,9976	
		2	0,7161	0,7468	0,9967	
51,5		0	1,314	0,6588	0,9887	
		1	0,6551	0,7163	0,9963	
		2	0,5269	0,7308	0,9949	
<b>Fresa</b>						
<b>0%</b>		11,5	0	0,667	0,7531	0,9633
			1	0,0648	0,7254	0,904
	2		0,0407	0,7891	0,9584	

Conc. (%)	Temp. (°C)	Día	$\kappa$	n	R <sup>2</sup>
2%	26,6	0	0,0856	0,6079	0,9011
		1	0,0706	0,6502	0,9219
		2	0,0411	0,7751	0,9315
	51,5	0	0,0555	0,5879	0,9011
		1	0,09	0,4683	0,901
		2	0,0608	0,5413	0,9179
	11,5	0	0,4438	0,6876	0,9911
		1	0,3801	0,7748	0,9906
		2	0,4241	0,7449	0,9922
	26,6	0	0,3457	0,6967	0,9861
		1	0,336	0,7369	0,9873
		2	0,2668	0,7979	0,9789
		0	0,2515	0,669	0,9748
		1	0,2789	0,6704	0,9797
		2	0,1997	0,7621	0,9787
	51,5	0	3,5709	0,5582	0,9872
		1	1,4369	0,7096	0,9931
		2	1,4426	0,7044	0,9942
0		2,2122	0,5851	0,9975	
1		1,3011	0,6802	0,9934	
2		1,148	0,6857	0,994	
26,6	0	1,8738	0,5426	0,9951	
	1	0,7415	0,7286	0,9904	
	2	0,8807	0,6576	0,9952	
	0	7,0397	0,5483	0,9843	
	1	2,4898	0,6797	0,9983	
	2	2,4153	0,6675	0,9975	
51,5	0	4,4592	0,5786	0,999	
	1	2,2178	0,6602	0,997	
	2	1,7947	0,6843	0,9962	
	0	2,8221	0,5947	0,9922	
	1	1,6008	0,6541	0,9941	
	2	1,3816	0,6578	0,9962	

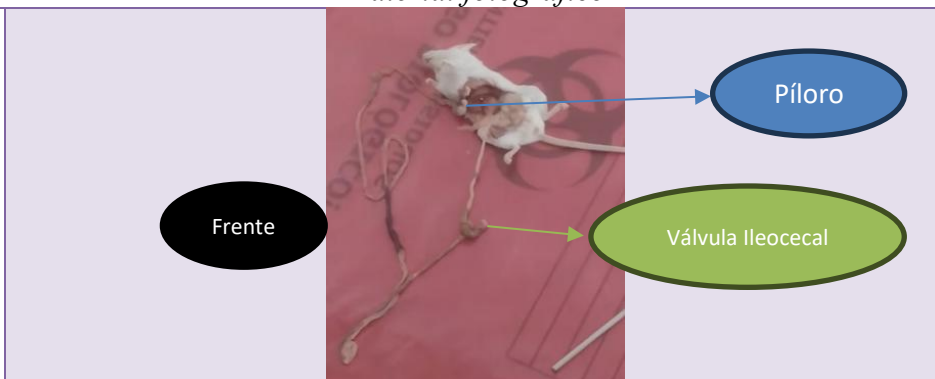
Fuente: Elaboración propia

**Anexo 9. Seguimiento fotográfico del protocolo experimental con roedores**

<i>Procedimiento</i>	<i>Material fotográfico</i>
<i>Ayuno por 12 horas</i>	
<i>Administración de sustancia a estudiar, reposo de 30 minutos</i>	
<i>Administración del suspensión de colorante, reposo por 60 minutos</i>	
<i>Sacrificio por dislocación cervical</i>	
<i>Resección del intestino delgado (píloro – Válvula Ileocecal)</i>	

*Procedimiento*

*Material fotográfico*



Blanco



Patrón Inulina

*Medición del frente para los diferentes tratamientos aplicados*



Dextrano 100 mg/kg



Dextrano 200 mg/kg



**Anexo 10. Seguimiento fotográfico de la evaluación de tránsito total de roedores**

<i>Procedimiento</i>	<i>Material fotográfico</i>
<i>Preparación de muestras (En orden de izquierda a derecha: Solución salina, inulina, dextrano, rojo fenol)</i>	
<i>Cajas de almacenamiento de roedores</i>	
<i>Seguimiento de la deposición de los roedores hasta evidenciar deposición con coloración</i>	