



---

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE QUÍMICA**

**DESARROLLO DE UNA BEBIDA CON PROTEÍNA VEGETAL  
UTILIZANDO MUCÍLAGO DE NOPAL (*Opuntia ficus indica*) COMO  
ESTABILIZANTE.**

**TESIS**  
**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**  
**QUÍMICA DE ALIMENTOS**

**PRESENTA**  
**PEÑA TAPIA DIANA XIWITZIN**



**CDMX**

**2024**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**JURADO ASIGNADO:**

**PRESIDENTE:**           **Profesor:** GABRIELA ALATORRE GARCÍA  
**VOCAL:**                   **Profesor:** RODOLFO FONSECA LARIOS  
**SECRETARIO:**       **Profesor:** ISADORA MARTÍNEZ ARELLANO  
**1er. SUPLENTE:**      **Profesor:** ANA KARINA ELIAS PATIÑO  
**2º SUPLENTE:**       **Profesor:** ZAIRA BERENICE GUADARRAMA ALVAREZ

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:** GRUPO DE INGENIERÍA DE PROCESO DEL INSTITUTO DE CIENCIAS APLICADAS Y TECNOLOGÍA (ICAT), CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO CDMX.

**ASESOR DEL TEMA:**

DRA. ISADORA MARTÍNEZ ARELLANO

**SUPERVISOR TÉCNICO:**

DRA. CÓRDOVA AGUILAR MARÍA SOLEDAD

**SUSTENTANTE (S):**

PEÑA TAPIA DIANA XIWITZIN

**ÍNDICE**

<b>RESUMEN</b> .....	7
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	9
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	10
2.1 Objetivo general .....	10
2.2 Objetivos particulares .....	10
<b>3. MARCO TEÓRICO</b> .....	11
3.1 Nopal.....	11
3.1.1 Mucílago.....	11
3.2 Hidrocoloides .....	12
3.2.1 Goma guar .....	12
3.2.2 Pectina .....	13
3.3 Edulcorantes .....	13
3.3.1 Isomalt.....	13
3.3.2 Sucralosa.....	14
3.4 Legumbres.....	15
3.5 Pseudocereal.....	15
3.6 Bebidas funcionales .....	16
3.6.1 Bebidas funcionales a base de lácteos.....	17
3.6.2 Bebidas funcionales a base de frutas o vegetales.....	18
3.6.3 Bebidas funcionales deportivas.....	19
3.6.4 Bebidas funcionales: tendencias de mercado. ....	20
3.7 Pruebas fisicoquímicas.....	21
3.7.1 Grados Brix.....	21
3.7.2 Índice de refracción.....	21
3.7.3 Densidad .....	22
3.7.4 Tamaño de partícula.....	23
3.7.5 Potencial Z.....	23
3.7.6 pH.....	25
3.8 Análisis microbiológico.....	26
3.9 Análisis químico proximal .....	27
3.10 Reología .....	27

3.11 Pruebas de estabilidad a la temperatura .....	30
3.12 Tribología.....	30
3.12.1 Fricción.....	31
3.12.2 Curva de Stribeck.....	31
3.13 Evaluación sensorial .....	32
3.13.1 Nivel de agrado en general y de sabor .....	33
3.13.2 Justo como lo esperaba (JAR).....	34
<b>4. METODOLOGÍA.....</b>	<b>35</b>
4.1 Estrategia experimental.....	35
4.2 Recepción de la materia prima .....	36
4.2.1 Nopal .....	36
4.2.2 Legumbres y pseudocereal .....	36
4.3 Obtención del mucílago .....	36
4.4 Obtención de las harinas de las legumbres y del amaranto.....	36
4.4.1 Remojo y cocción.....	37
4.4.2 Secado .....	37
4.4.3 Molienda y tamizado.....	37
4.5 Pruebas fisicoquímicas.....	37
4.5.1 Nopal y mucílago .....	37
4.5.2 Harinas de legumbres y harina de pseudocereal .....	39
4.6 Diseño de mezclas. ....	40
4.7 Pruebas fisicoquímicas de las formulaciones.....	41
4.7.1 pH.....	41
4.7.2 Grados Brix.....	41
4.7.3 Índice de refracción.....	41
4.7.4 Densidad .....	42
4.7.5 Distribución del tamaño de las partículas.....	42
4.8 Pruebas de estabilidad.....	43
4.8.1 Formulaciones.....	44
4.9 Prueba de estabilidad a la temperatura. ....	45
4.10 Tribología.....	45
4.11 Evaluación sensorial .....	45

4.11.1 Agrado en general y de sabor .....	46
4.11.2 Justo como lo esperaba (JAR).....	46
<b>5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.</b> .....	<b>47</b>
5.1 Obtención del mucílago .....	47
5.2 Caracterización del mucílago .....	48
5.3 Caracterización de las harinas de las legumbres y de la harina del pseudocereal .....	49
5.4 Caracterización de las formulaciones .....	50
5.5 Distribución del tamaño de las partículas. ....	51
5.6 Pruebas de estabilidad.....	52
5.6.1 Gomas.....	52
5.6.2 Formulaciones.....	55
5.7 Pruebas de estabilidad a la temperatura .....	61
5.8 Tribología.....	61
5.9 Análisis microbiológico.....	62
5.10 Análisis Químico Proximal .....	63
5.11 Evaluación sensorial .....	65
5.11.1 Agrado en general y de sabor .....	65
5.11.2 Justo como lo esperaba (JAR).....	66
<b>6. CONCLUSIONES</b> .....	<b>70</b>
<b>7. BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>71</b>
<b>8. ANEXOS</b> .....	<b>81</b>
ANEXO 1. <i>t de student</i> de las pruebas de sedimentación para las harinas de haba, amaranto, lenteja y garbanzo. ....	81
ANEXO 2. Tamaño de partícula.....	83
ANEXO 3. ANOVAS de las gomas utilizadas en dos diferentes matrices .....	86
ANEXO 4. Pruebas <i>a posteriori</i> de LSD para las gomas utilizadas en dos diferentes matrices.....	86
ANEXO 5. ANOVAS de las nueve diferentes formulaciones en dos matrices diferentes .....	87
ANEXO 6. Pruebas <i>a posteriori</i> de LSD para nueve formulaciones en dos matrices diferentes.....	88
ANEXO 7. Curvas de amplitud de las nueve diferentes formulaciones .....	90
ANEXO 8. <i>t de student</i> de las pruebas de la estabilidad a la temperatura .....	92

ANEXO 9. <i>t de student</i> de las pruebas de tribología.....	92
ANEXO 10. Fotos del análisis microbiológico del día 1 y 7.....	94
ANEXO 11. ANOVA de las pruebas de evaluación sensorial: agrado en general y de sabor.....	100
ANEXO 12. ANOVAS de las pruebas de evaluación sensorial: JAR .....	100
ANEXO 13. Resumen del trabajo para el congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería. ....	102

## RESUMEN

La malnutrición proteico-energética (MPE) es uno de los problemas nutricionales más serios y de mayor prevalencia en casi todos los países, por lo que, una alternativa para enfrentar este problema es introducir productos innovadores al mercado que cautiven al consumidor con estas deficiencias, como son los alimentos funcionales. Estos alimentos son aquellos que proporcionan un beneficio específico en la salud de las personas además de su aporte natural de sustancias nutritivas. Dentro de este concepto se encuentran las bebidas adicionadas con proteínas.

Las legumbres y los pseudocereales constituyen una fuente importante de proteína en la dieta de amplios segmentos de la población mundial, particularmente en aquellos países en los que el consumo de proteína animal es limitado sea por falta de disponibilidad o por hábitos religiosos o culturales. El valor nutritivo de las proteínas de los diversos cereales y pseudocereales varía, pero es común para todos, los bajos contenidos en lisina si se compara con la proteína de referencia (la FAO ha propuesto la proteína del huevo y la proteína de la leche humana (González et al, 2007)), por lo que se las considera de valor biológico limitado. De la misma forma sucede con las legumbres, las cuales presentan bajos contenidos de metionina. Puesto que existe una complementación entre aminoácidos esenciales de los cereales y las legumbres, juntos son de alto valor biológico. La adición de proteína vegetal le da valor agregado a la bebida, sin embargo, al añadirla, se presenta el problema de sedimentación, por lo que se requiere buscar un estabilizante que mantenga las proteínas suspendidas en la matriz. En este contexto, el mucílago de nopal es un polisacárido complejo que tiene aplicaciones múltiples, como espesante, estabilizante y modificador de la viscosidad en productos alimenticios, además de que su utilización es una alternativa a las aplicaciones que se le dan a los cladodios del nopal sobre todo a los de desecho.

En la formulación de bebidas (sistemas alimenticios completos) es necesario considerar su comportamiento reológico para determinar la consistencia y la estabilidad, propiedades importantes para el agrado de los consumidores, el cual se evaluará por medio del análisis sensorial.

En este proyecto se desarrollaron dieciocho formulaciones adicionadas con proteína vegetal de tres legumbres: haba, lenteja y garbanzo; y un pseudocereal: amaranto, utilizando dos

matrices: nueve formulaciones con matriz de una bebida vegetal de arroz y nueve formulaciones con la matriz de agua, y se estabilizaron con mucílago de nopal con el fin de darle un uso alternativo a los cladodios de nopal aprovechando el mucílago y sus propiedades de hidrocoloide utilizándolo como estabilizante en las bebidas para obtener la o las formulaciones con una buena consistencia y estabilidad, posteriormente se realizaron pruebas sensoriales para conocer la aceptabilidad por parte del consumidor. La metodología del proyecto incluyó la extracción mecánica y secado del mucílago de nopal; la obtención de las harinas de las legumbres y del pseudocereal por un método estandarizado en el Laboratorio de Ingeniería de Proceso, ICAT-UNAM; se realizó un diseño de mezclas y las formulaciones se evaluaron reológicamente para seleccionar la más estable, a la cual se le aplicaron las pruebas sensoriales (escala hedónica y pruebas JAR) para conocer la aceptabilidad y preferencia.

## 1. INTRODUCCIÓN

Cada año en México se desperdicia 37% de la producción de 34 productos, entre ellos, el nopal (Becerril y Ballinas, 2017), debido a lo cual se busca una alternativa para el aprovechamiento de este alimento. Los cladodios (pencas), en particular, son ricos en mucílago que es un polímero complejo, con capacidad para absorber agua, considerado una fuente potencial de hidrocoloides industriales (León et al, 2010). Este polisacárido tiene múltiples aplicaciones, como espesante de alimentos, emulsionante, como adhesivo para cal ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), como plastificante natural y como modificador de la viscosidad en productos alimenticios (Medina et al, 2000). Por su parte, las legumbres, son una especie vegetal de la familia *leguminosae*, de las más relevantes para el consumo humano son: el haba (*Vicia faba L.*), el garbanzo (*Cicer arietinum L.*), diversas variedades de lenteja (*Lens culinaris Medik*), entre otras. Suelen contener alrededor del doble de la cantidad de proteínas que se encuentra en los cereales de grano entero. Además de existe una complementación entre los aminoácidos lisina y metionina de los cereales y legumbres (FAO, 2016). Por su parte el amaranto es un recurso muy valioso y aplicable en el combate de la malnutrición (Contreras et al, 2011). El término malnutrición abarca dos grupos amplios de afecciones: una es la desnutrición, que comprende el retraso del crecimiento (estatura inferior a la que corresponde a la edad), la emaciación (peso inferior al que corresponde a la estatura), la insuficiencia ponderal (peso inferior al que corresponde a la edad) y las carencias o insuficiencias de micronutrientes (falta de vitaminas y minerales importantes). La otra es el sobrepeso y la obesidad con sus consecuentes enfermedades no transmisibles tales como cardiopatías, accidentes cerebrovasculares, diabetes y cánceres (OMS, 2016).

Todos los países del mundo están afectados por una o más formas de malnutrición. Combatir todas las formas de malnutrición es uno de los mayores problemas sanitarios a escala mundial; la pobreza multiplica el riesgo de sufrir malnutrición y sus consecuencias, las personas que viven en condiciones de pobreza tienen una mayor probabilidad de tener las distintas formas de malnutrición (OMS, 2020), debido a ello, es necesario introducir productos innovadores al mercado que atraigan al consumidor con estas deficiencias. Los alimentos funcionales pueden ser utilizados con el fin de combatir este problema, ya que son productos alimenticios que además de su aporte natural de sustancias nutritivas,

proporcionan un beneficio específico en la salud de la persona (Benavente, 2012). Dentro de estos alimentos funcionales se encuentran las bebidas adicionadas con proteína. En este proyecto se desarrolló una bebida funcional con un contenido de proteína del 5% y, dirigida principalmente a personas con malnutrición.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo general**

Desarrollar dos formulaciones adicionadas con proteína de varias legumbres y de amaranto, una matriz de bebida vegetal de arroz y otra de agua, utilizando mucílago de nopal, goma guar y pectina como agentes estabilizantes.

### **2.2 Objetivos particulares**

- Obtención y caracterización fisicoquímica del mucílago de nopal de *Opuntia ficus indica*.
- Obtención y caracterización fisicoquímica de las harinas de tres legumbres y amaranto.
- Diseño de mezclas para obtener las formulaciones con diferentes proporciones de harinas
- Evaluación al mucílago de nopal como agente estabilizante en las formulaciones
- Caracterización de las formulaciones.
- Evaluación sensorial de las formulaciones.

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1 Nopal

El nopal es una fruta que se obtiene de un cactus llamado *Opuntia ficus-indica*, crece de manera silvestre en gran parte de Latinoamérica, teniendo su epicentro en México, donde mejor provecho se le ha dado (SIAP, 2017) Las *Opuntias* de México presentan la diversidad genética más amplia y el más alto consumo del mundo (Reyes Agüero et al, 2005). La SADER (2019) reporta que México es el principal productor de nopal fresco para consumo humano a nivel mundial, con unas 12.000 hectáreas cultivadas y una cosecha que ronda las 825.000 toneladas anuales, 90% de las cuales son cosechadas en la zona centro del país, sobre todo en los estados de México y Morelos. Para el 2017 según la SIAP el nopal se encontró entre las 15 hortalizas más importantes.

Actualmente, la producción de nopal está distribuida en varios estados, principalmente Morelos, Estado de México, CDMX, Jalisco, Puebla, Michoacán y Aguascalientes (SIAP, 2019).

Las pencas o cladodios de nopal se encuentran protegidos por una cutícula gruesa que almacena considerables cantidades de agua. Por ello, el papel de los mucílagos es la capacidad de retener el agua (García, 2013).

##### 3.1.1 Mucílago

Los cladodios de nopal, en particular, son ricos en mucílago, este es un polímero lineal compuesto de polisacáridos emparentados con las pectinas. La composición del mucílago es de L-arabinosa (47%), D-xilosa (23%), D-galactosa (18%), L-ramnosa (7%) y ácido D-galacturónico (5%) (Sepúlveda et al, 2007), altamente ramificada (McGarvie y Parolis, 1981) y con un peso molecular en el orden de  $2.3 \times 10^4$  (Medina et al, 2000) a  $4.3 \times 10^6$  Da (Trachtenberg y Mayer, 1981). Debido a su viscosidad el mucílago es considerado importante para la industria de los alimentos (Sepúlveda et al, 2007). Tiene la capacidad de formar redes moleculares que incrementan la capacidad de retención de agua en el sistema, además de modificar las propiedades de viscosidad, elasticidad y textura, es un buen gelificante, espesante y emulsificante, para algunos productos alimenticios (Sáenz et al, 2004). De acuerdo a Toxtle et al, (2018), el mucílago puede utilizarse como un agente dispersante en suspensiones de proteína vegetal a una concentración del 10% p/p.

## 3.2 Hidrocoloides

La sedimentación de partículas es un fenómeno común en dispersiones alimentarias, que está asociado con una calidad deficiente del producto final y que se puede controlar utilizando diferentes aditivos, dentro de los cuales, se destacan el uso de hidrocoloides (Contreras et al, 2019).

Los hidrocoloides son polímeros de alto peso molecular que actúan como estabilizantes, espesantes y/o gelificantes en sistemas alimenticios. Los hidrocoloides de origen vegetal más utilizados en la industria de alimentos son la carragenina, la pectina y la goma guar (Rodríguez et al, 2003).

### 3.2.1 Goma guar

La goma guar se obtiene del endospermo de la semilla del *Cyamopsistetragonolobus*, planta que pertenece a la familia de las leguminosas (Penna, 2002 y Dziezak, 1991), es un polímero hidratable en agua fría, calentando la solución de goma guar, se reduce el tiempo necesario para alcanzar su potencial total de viscosidad, el agua es el único solvente común para la goma guar, aunque puede tolerar concentraciones de solventes miscibles en agua, como alcoholes, es el espesante acuoso más eficiente que se conoce, las soluciones de goma guar y sus derivados son no newtonianos, se vuelven fluidas de forma reversible cuando se les aplica calor, pero se degradan irreversiblemente cuando se les aplica altas temperaturas y tiempo prolongado (Dinesh, 2001). La goma guar no es un agente gelificante y se usa principalmente como agente espesante, estabilizador y retenedor de agua (Dziezak, 1991 y Dinesh, 2001). Se emplea en situaciones donde se necesita espesamiento, estabilización, control reológico, suspensión, formación de cuerpo, modificación de estructura y consistencia y retención de agua (Rodríguez et al, 2003).

Las soluciones acuosas que contienen goma guar tienen altas viscosidades a muy bajas concentraciones. El nivel de uso recomendado es generalmente de 1%, ya que a concentraciones mayores la viscosidad se vuelve excesiva para la mayoría de las aplicaciones. Las soluciones de goma guar son estables en un intervalo alto de pH, la viscosidad es casi constante a un intervalo de 1.0 a 10.5 s<sup>-1</sup>. Esta estabilidad se debe a la carga no iónica de la molécula, aunque el pH no afecta la viscosidad final. La velocidad de hidratación varía con el pH, siendo la mayor velocidad entre 8 y 9. La velocidad de

hidrataciones es más lenta a un pH arriba de 10 y debajo de 4 (Kök et al, 1999 y Wang et al, 2000).

### 3.2.2 Pectina

Los ácidos pectínicos son los ácidos poligalacturónicos coloidales que contienen una proporción de grupos éster metilo. El término pectina designa a los ácidos pectínicos solubles en agua con diversos contenidos de grupos éster metilo y diferente grado de neutralización, los cuales forman geles con azúcar y ácido bajo condiciones apropiadas (Rodríguez et al, 2003). Actualmente, la principal materia prima para la producción de pectina son los subproductos de la manufactura de jugos de frutas, como residuos de manzana y cáscaras de cítricos (Pilnik, 1971 y Sakai, 1993).

La pectina es un aditivo esencial en la producción de muchos alimentos por sus propiedades gelificantes, espesantes y estabilizantes. Las pectinas estabilizantes se emplean en productos proteínicos ácidos, tales como, yogurt, suero y bebidas de soya (IPPA, 2001).

Por su parte los edulcorantes son un aditivo alimentario que tienen sabor dulce pero que proporcionan un bajo o nulo aporte calórico con respecto al azúcar común por lo que se les llama “sustitutos de azúcar”. Cada uno de ellos tiene sus propias características y ventajas.

### 3.3 Edulcorantes

El Acuerdo de aditivos (2012), define como edulcorantes a aquellas sustancias diferentes de los monos y disacáridos, que imparten un sabor dulce a los productos; se clasifican en dos subclases: edulcorantes naturales y edulcorantes artificiales. Por otro lado, el *Codex Alimentarius* los define como aquellas sustancias diferentes al azúcar que confieren a un alimento un sabor dulce (FAO, 2000). Los edulcorantes se pueden categorizar de diferentes formas, con base a su naturaleza, su aporte calórico y su estructura (García-Garibay y López-Munguía, 1993).

El Isomalt y la Sucralosa son dos ejemplos de edulcorantes con bajo y nulo aporte calórico respectivamente.

#### 3.3.1 Isomalt

El Isomalt pertenece a la categoría de carbohidratos conocido químicamente como polioles o alcoholes de azúcar. El término "sustitutos del azúcar", que de manera más descriptiva explica su uso, ahora es utilizado por muchos técnicos de alimentos y nutriólogos para este

grupo de edulcorantes cuando se comunica con personas que no son familiares con nomenclatura química. Los beneficios de consumir Isomalt incluyen:

- Su valor energético es como máximo 2 kcal/g, en lugar de 4 kcal/g, como lo es para el azúcar.
- No promueve la caries dental.
- No aumenta significativamente la glucosa en la sangre.

Una de las ventajas de utilizar Isomalt como endulzante es que puede combinarse con edulcorantes intensos, y a su vez es que tiende a enmascarar el sabor amargo (McNutt y Sentko, 2003).

Según la NOM-086-SSA1-1994 y las Buenas Prácticas de Fabricación (BPF), el Isomalt se permite utilizar como sustituto de azúcar en bebidas no alcohólicas.

### **3.3.2 Sucralosa**

La sucralosa es un edulcorante descubierto en 1976. a la mezcla de dextrosa, maltodextrina y sucralosa se le conoce como Splenda. En la Unión Europea, la Sucralosa es también conocida bajo el código E955 (Velásquez, 2006). Es el único endulzante de bajas calorías que se fabrica a partir del azúcar, se le usa en todo el mundo como ingrediente de alimentos procesados, bebidas de bajas calorías o como endulzante de mesa (Alimentar el Consumo de Fibra, 2001). Se obtiene del azúcar a través de un proceso patentado que crea un compuesto excepcionalmente estable y 600 veces más dulce que el azúcar (Valencia, 2014). La sucralosa no es utilizada como fuente de energía, por lo tanto, no aporta calorías. A diferencia de otros edulcorantes bajos en calorías, su gran estabilidad lo hace apto para ser utilizado en procesos de cocción y horneado, sin sufrir degradación. Puede ser conservado durante largos períodos de tiempo, es estable en soluciones con diferentes pH, y a temperaturas elevadas (Vives, 2006). Se ha demostrado que la sucralosa tiene un sabor similar al del azúcar, sin el resabio amargo que se ha asociado a endulzantes no calóricos, como sacarina y acesulfame K. Un estudio sugiere que la sucralosa interactúa con los receptores del gusto dulce de manera similar a los azúcares naturales (Conn et al, 2005).

Según la NOM-086-SSA1-1994 la Sucralosa se permite emplear como sustituto de azúcar dentro de los siguientes límites: No más de 0.025% en bebidas como se consumen.

Mientras que la OMS 2019, reporta que la Ingesta diaria admisible (IDA) de sacarosa es de 0-15 mg/kg de peso corporal.

Por su parte las legumbres se consumen en todo el planeta, empleándose en guisos, harinas, purés, guarniciones, aperitivos o postres. Son una fuente rica de proteínas y aminoácidos esenciales que sirve de complemento perfecto a los cereales. Aportan una cantidad importante de hidratos de carbono y micronutrientes, así como fibra alimentaria de calidad (FAO, 2016).

### **3.4 Legumbres**

Las legumbres se consumen en todo el planeta, son una fuente rica de proteínas y aminoácidos esenciales que sirve de complemento perfecto a los cereales y contienen el doble de la cantidad de proteínas que el trigo y el triple que el arroz. Aportan una cantidad importante de hidratos de carbono y micronutrientes, así como fibra alimentaria de calidad. Su bajo contenido en grasas y la interacción de sus esteroides se ha demostrado eficaz para mantener niveles bajos de colesterol LDL y reducir la presión arterial (FAO, 2016). En México, se destinan alrededor de 1.93 millones de hectáreas al cultivo de cinco legumbres: frijol (91.7% de esa superficie), garbanzo (6.4%), haba (1.4%), lenteja (0.4%) y chícharo (0.1%). Debido a la importancia de las legumbres desde la perspectiva agrícola, alimentaria y nutricional, es necesario promover su producción y consumo, a fin de aprovechar mejor el potencial de este tipo de cultivos (El Economista, 2016).

### **3.5 Pseudocereal**

El amaranto se trata de un "pseudocereal" debido a que no pertenece a la familia de las Gramíneas sino a la familia de las *Amaranthaceas*; sin embargo, tiene un sabor y una cocción similares a las de los cereales, no contienen gluten y es bueno para las enfermedades cardiovasculares, el dolor de estómago y la anemia (Peralta, 2009). Según criterios de la FAO, la OMS y otras instituciones internacionales, se considera al amaranto como un alimento de excelente calidad proteica, ya que se asemeja a la proteína ideal propuesta por la FAO y con una digestibilidad similar a la del pan blanco.

En México el amaranto se ha utilizado en una amplia variedad de alimentos, entre ellos en productos de confitería y en bebidas tradicionales (Contreras et al, 2011).

### 3.6 Bebidas funcionales

Con el paso del tiempo ha crecido la demanda de productos funcionales o nutraceuticos como resultado de la preocupacion de los consumidores por la calidad de los alimentos y los cambiantes estilos de vida de nuestra sociedad moderna. Estos alimentos brindan un beneficio para la salud más allá de la función de los alimentos (Chandra, 2014).

La idea de alimentos que promueven la salud no es nueva: Hipócrates escribió hace 2400 años "Que la comida sea tu medicina y la medicina sea tu comida" (Otles y Cagindi, 2012), y las comunidades asiáticas estaban familiarizados con el concepto de funcionalidad de productos alimenticios y hierbas (Valls et al, 2013). Hoy en día, los avances en la investigación científica respaldan la idea de que el plan alimenticio puede satisfacer las necesidades nutricionales y ejercer un papel beneficioso en algunas enfermedades (Otles y Cagindi, 2012). El concepto de alimentos funcionales se introdujo por primera vez en Japón a mediados de la década de 1980 para alimentos que contienen ingredientes con funciones para la salud (Lau et al, 2013).

En los Estados Unidos, los alimentos funcionales se definen como "alimentos y componentes alimentarios que proporcionan un beneficio para la salud más allá de la "nutrición básica" (Serafini et al, 2012). La Comisión Europea generó una actividad llamada Ciencia funcional de alimentos en Europa (FuFoSE por sus siglas en inglés) para explorar el concepto de los alimentos funcionales a través de un enfoque basado en la ciencia. Como resultado, la Comisión Europea declaró que "un producto alimenticio solo puede considerarse funcional si, junto con el impacto nutricional básico, tiene efectos beneficiosos sobre una o más funciones del organismo humano, mejorando así las condiciones generales y físicas y/o disminuyendo el riesgo de la evolución de enfermedades " (Ozen et al, 2012). Por lo tanto, un alimento funcional puede ser aquel que:

- Es natural no modificado.
- Al que se le ha mejorado un componente a través de condiciones especiales de cultivo, reproducción o medios biotecnológicos.
- Al que se le ha agregado un componente para proporcionar beneficios.
- Al que se ha eliminado un componente por medios tecnológicos o biotecnológicos para que el proporcione beneficios que de otro modo no estarían disponibles.

- En el que un componente ha sido reemplazado por otro alternativo con propiedades favorables.
- En el que un componente ha sido modificado por medios enzimáticos, químicos o tecnológicos para proporcionar un beneficio.
- En el que se ha modificado la biodisponibilidad de un componente.

Para merecer la inclusión de funcional cualquier bebida debe contar con alguna de las posibilidades anteriores o cualquier combinación de ellas (Pravst, 2012).

Existe una gran variedad de alimentos y bebidas funcionales de origen vegetal y animal. En específico las bebidas funcionales son bebidas no alcohólicas formuladas con ingredientes como las proteínas y otros compuestos bioactivos como ácidos grasos, péptidos y esteroides de origen vegetal o animal que brindan beneficios específicos para la salud humana (Chandra, 2014 y Corbo et al, 2014).

Los componentes bioactivos o funcionales son los componentes en alimentos o bebidas funcionales que tienen ciertos beneficios para la salud y son responsables de la funcionalidad de los alimentos o bebidas funcionales (Mudgil y Barak, 2019). Dentro de esta clasificación, existen diferentes tipos de bebidas tales como: lácteas incluyendo probióticas y enriquecidas con minerales y omegas; de frutas y vegetales; energizantes y deportivas (Corbo et al, 2014).

Las operaciones de procesamiento, como la homogenización, la acidificación, el calentamiento, etc., tienen ciertos efectos sobre los componentes como la desnaturalización y la coagulación de las proteínas, etc. El uso de estabilizadores o hidrocoloides en la elaboración de bebidas es esencial, ya que previene la separación de fases o la sedimentación. La tendencia de salud actual en la elaboración de bebidas implica el desarrollo de bebidas bajas en azúcar, bajas en grasas, de composición modificada de grasas, de composición modificada de proteínas y fortificadas (Paquin, 2009).

### **3.6.1 Bebidas funcionales a base de lácteos.**

La leche es un sistema coloidal que consta de glóbulos de grasa, lactosa, proteínas, vitaminas y minerales. Las proteínas de la leche comprenden proteínas de caseína, proteínas de suero, albúmina sérica e inmunoglobulinas. La cantidad de contenido de proteína en la leche depende de la raza, la etapa de lactancia, así como del alimento o la nutrición de los animales. Las razas que producen leche con un alto contenido de grasa también tienen una mayor

concentración de proteínas (Mudgil y Barak, 2019). Las bebidas a base de leche contienen varios componentes con funciones fisiológicas beneficiosas, como péptidos, oligosacáridos, enzimas, vitaminas y minerales, estos componentes pueden ser utilizados como ingrediente funcional para el desarrollo de productos alimenticios funcionales y nutracéuticos con ciertos beneficios para la salud (Ozer y Kirmaci, 2010). Los ingredientes bioactivos de la leche se clasifican en calostro, glicomacropéptido o caseinomacropéptido, lactoferrina, lactoperoxidasa, caseína e hidrolizado de proteína de suero, minerales de la leche,  $\alpha$ -lactoalbúmina, etc (Mudgil y Barak, 2019). La funcionalidad de estas bebidas se debe a la presencia o fortificación de ciertos componentes bioactivos o funcionales. Las bebidas funcionales a base de lácteos se pueden clasificar en tres grupos principales en función de su ingrediente lácteo principal, es decir, bebidas funcionales a base de leche, a base de suero y a base de suero de mantequilla (Roy, 2008). Asimismo, se pueden clasificar en subclases, es decir, bebidas bajas en calorías, bebidas deportivas, leche hiperinmune, bebidas probióticas, bebidas fortificadas, etc. (Paquin, 2009).

Dado que las empresas de bebidas tradicionales se esfuerzan por diferenciar sus productos, la leche y los ingredientes lácteos se pueden mezclar con una variedad de bebidas tradicionales, lo que permite a las empresas de bebidas capitalizar los beneficios nutricionales y funcionales de la leche y los ingredientes derivados de la leche (Mudgil y Barak, 2019).

### **3.6.2 Bebidas funcionales a base de frutas o vegetales.**

Muchas plantas o sus componentes con un fisiológica activan han sido investigados por su relación en la prevención de enfermedades y el garantizar salud. Naturalmente las frutas y los vegetales son ricos en carbohidratos, fibra, vitamina, minerales y fitoquímicos (Prothon et al, 2003). Por enlistar algunas de las características funcionales de algunas frutas y vegetales:

- Los tomates y los tomates procesados son ricos en licopeno y  $\beta$ -caroteno, que son poderosos antioxidantes, y es hasta ahora el único vegetal que se ha asociado con la reducción del riesgo del cáncer de próstata (Que et al, 2008). Los antioxidantes son sustancias que cuando están presentes en concentraciones bajas con respecto a sustratos oxidables, inhiben o retrasan el proceso de oxidación (Aktumseka, 2013),

es por ello que se aplican ampliamente en los alimentos para combatir el estrés oxidativo.

- Las cerezas, uvas rojas, frutas del bosque, y aquellas frutas y vegetales con un coloración roja o morada son ricos en flavonoides, que son compuestos bioactivos con un importante rol de prevenir y reducir el riesgo de varios tipos de cáncer y enfermedades cardiovasculares. Por su parte las manzanas y las peras son ricas en fibra dietética que son los componentes endógenos de las plantas, como los polisacáridos, que son resistentes a la digestión por las enzimas digestivas en humanos; y en compuestos fenólicos que son buenos para la salud del corazón. (Chen et al, 2005)
- Las frutas del bosque son ricas en antocianinas y un alto espectro de antioxidantes, los plátanos y los frijoles son ricos en potasio, Muchas frutas son ricas en vitamina C. Fácilmente se encuentran algunos micronutrientes como calcio, retinol, vitamina E, ácido fenólico, ácido pantoténico, entre otros.

Las bebidas basadas en frutas y vegetales son naturalmente ricas en micro y macronutrientes esenciales y han sido propuestas como un vehículo adecuado para la entrega de probióticos, dándoles la característica de bebidas funcionales.

### **3.6.3 Bebidas funcionales deportivas**

La Organización Mundial de la Salud (OMS) define la actividad física como cualquier movimiento corporal producido por los músculos esqueléticos que requiere gasto de energía (OMS, 2022). La actividad física mejora la salud, ya que se ha asociado con un menor riesgo de enfermedad coronaria, obesidad, diabetes tipo 2, y otras enfermedades. Por otro lado, la inactividad física ha sido identificada como el cuarto factor de riesgo de mortalidad global (6% de las muertes a nivel mundial) (Garcia y Hernandez, 2011).

Los atletas, así como los sujetos físicamente activos, necesitan asegurar cantidades adecuadas de proteínas para equilibrar la síntesis de proteínas musculares (MPS) y la descomposición (MPB). Con respecto a la disponibilidad de AA a partir de fuentes de proteínas, se debe tener en cuenta el tipo de proteína y su tasa de digestión y cinética. Las fuentes de proteínas de alta calidad son la leche, los huevos, la soya, el trigo y los chicharos. La leche desnatada se

considera la mejor bebida proteica natural que contiene todos los aminoácidos esenciales necesarios para los seres humanos y favorece la MPS después del ejercicio de resistencia.

Hoy en día, el mercado ofrece una amplia gama de proteínas y AA en polvo para diluir, así como bebidas proteicas listas para beber, a menudo mezcladas con otros macronutrientes (principalmente CHO), micronutrientes (vitaminas, minerales) y/o sabores. y edulcorantes para conseguir un producto final más palatable. Además, algunos de ellos son 100% compatibles con regímenes dietéticos específicos, por ejemplo, las bebidas funcionales que contienen proteínas de huevo, concretamente la albúmina de huevo, se eligen por su alto contenido en aminoácidos esenciales y por no contener lactosa, mientras que las bebidas deportivas que contienen soya, trigo, o las proteínas de guisante son la mejor opción vegetariana, al estar libres de lactosa y colesterol, siendo este último también libre de gluten (Orrú et al, 2018)

#### **3.6.4 Bebidas funcionales: tendencias de mercado.**

En el mundo actual, los consumidores son más conscientes hacia su salud y quieren mantenerse sanos mediante la inclusión de alimentos funcionales en la dieta en lugar de gastar dinero en medicamentos (Mudgil y Barak, 2019).

En cuanto las bebidas, ha habido varios cambios e innovación en este mercado, en los últimos años los consumidores buscan nuevos beneficios en este tipo de productos como lo son los beneficios a la salud. El mercado para las bebidas funcionales ha crecido rápidamente, vinculadas principalmente a la aportación de energía, la digestión, el envejecimiento, la saciedad, las habilidades cognitivas, la hidratación, el manejo del sobrepeso, la fatiga, entre otras. (Shahidi y Alasalvar, 2016). En la actualidad, las bebidas son, la categoría de alimentos funcionales más activa debido a su comodidad y posibilidad de satisfacer las demandas de los consumidores en cuanto a contenido, tamaño, forma y apariencia de los envases, así como a la facilidad de distribución y almacenamiento de productos refrigerados y no perecederos. Además, son un excelente medio de suministro de nutrientes y compuestos bioactivos (Corbo et al, 2014).

### **3.7 Pruebas fisicoquímicas**

#### **3.7.1 Grados Brix**

Los grados Brix ( $^{\circ}\text{Bx}$ ) representan una escala arbitraria para medir densidades de soluciones de azúcares y equivalen al porcentaje en peso de sólidos solubles de una muestra que principalmente son azúcares (Bautista et al, 2011).

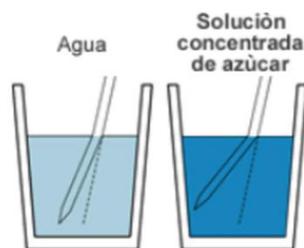
Un grado Brix corresponde a un gramo de sacarosa diluido en 100 gramos de solución y, por lo tanto, representa la concentración de la solución como porcentaje en peso (% w/w) (en sentido estricto, en masa); se han utilizado tradicionalmente para medir la concentración de azúcares en vinos, jugos de frutas, miel, bebidas, mermeladas y en otros alimentos y se miden con un refractómetro (Morales, 2014).

Un  $^{\circ}\text{Bx}$  correspondería a un índice de refracción de una solución de sacarosa en agua al 1% (Refractómetro: Medición Brix en la industria de bebidas y zumos. Recuperado de: [https://www.kruess.com/documents/Applikationsberichte/AP130710\\_001\\_Medicion\\_Brix\\_en\\_la\\_industria\\_de\\_bebidas\\_ES.pdf](https://www.kruess.com/documents/Applikationsberichte/AP130710_001_Medicion_Brix_en_la_industria_de_bebidas_ES.pdf))

#### **3.7.2 Índice de refracción**

La refractometría se basa en la medición del índice de refracción (IR) de sustancias líquidas o sólidas. Actualmente se tiene una aplicación importante de la refractometría en pruebas de control de calidad de jarabes, jugos, aceites, entre otros, así como en las áreas de investigación y desarrollo de nuevos productos, de la industria alimenticia, química, petroquímica, farmacéutica, etc. (Determinación del índice de refracción en líquidos. Recuperado de: [file:///C:/Users/User/Downloads/recursos\\_archivos\\_70589\\_70589\\_478\\_recursos-archivos-70589-70589-157-capitulo-2-0418%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/recursos_archivos_70589_70589_478_recursos-archivos-70589-70589-157-capitulo-2-0418%20(1).pdf))

La refracción es el cambio de dirección que sufre un rayo de luz al pasar oblicuamente de un medio a otro de densidad distinta siempre que el segundo medio sea ópticamente más denso que el primero, a su vez los ángulos formados son directamente proporcionales a las velocidades de la luz en los dos medios. En la Figura 1 se muestra el fenómeno de refracción ilustrado en donde al introducir un lápiz en agua, se observa un ángulo de inclinación, y al introducirlo en una solución acuosa de azúcar se observa el aumento de ángulo de inclinación, debido al aumento de la densidad de la solución (Metrología de Refracción, 2008).



**Figura 1.** Fenómeno de refracción. *Copyright 2008 Publicado por MetAs y Metrologos Asociados.*

La temperatura es un parámetro que influye en las mediciones del índice de refracción, en general, la disminución del índice de refracción con el aumento de temperatura, se debe a la disminución de la densidad y constante dieléctrica del medio (Metrología de refracción, 2008).

### 3.7.3 Densidad

Una variación en la materia prima, indicada por un cambio en la densidad, podría tener un resultado perjudicial para el funcionamiento o la calidad del producto final. La medición de la densidad de materias primas puede usarse para confirmar la pureza del material. Si se ha adulterado una sustancia con una alternativa más barata, la densidad medida del material compuesto será diferente de la de la sustancia pura, la densidad también puede servir para garantizar la homogeneidad (Medición de la densidad. Recuperado de: [https://www.mt.com/mx/es/home/applications/Laboratory\\_weighing/density-measurement.html](https://www.mt.com/mx/es/home/applications/Laboratory_weighing/density-measurement.html))

La densidad, se define como la masa (m) dividida entre su volumen (V):

$$\text{Densidad} = \frac{m}{V}$$

Es una propiedad intensiva y no depende de la cantidad de masa presente por lo que la proporción de masa sobre volumen permanece sin cambio para un material dado, es decir el volumen aumenta conforme aumenta la masa (Chang, 2010).

Los procedimientos gravimétricos de laboratorio habituales para la determinación de la densidad son la técnica de empuje de Arquímedes, el principio del desplazamiento y el

método con el picnómetro (Medición de la densidad. Recuperado de: [https://www.mt.com/mx/es/home/applications/Laboratory\\_weighing/density-measurement.html](https://www.mt.com/mx/es/home/applications/Laboratory_weighing/density-measurement.html))

Esta propiedad influye en el IR, en la distribución del tamaño de partícula y en la percepción sensorial por parte de los consumidores.

#### **3.7.4 Tamaño de partícula**

El diámetro de una partícula es la representación que mejor describe la dimensión del grado de conminución (proceso por el que se produce la reducción de las partículas de un material, por trituración o molienda (RAI, 2018)), es decir, la forma mínima en la que se puede subdividir una partícula después de varios procesos de reducción (Riyad y Clayton, 1963).

El tamaño que las partículas tienen en determinados procesos tiene efecto sobre algunas propiedades como: adsorción, área superficial, consistencia, densidad, dispersión de la luz, reactividad química y solubilidad entre otras, de tal manera que el tamaño de partícula es un valioso indicador de calidad (Ruiz, 2020).

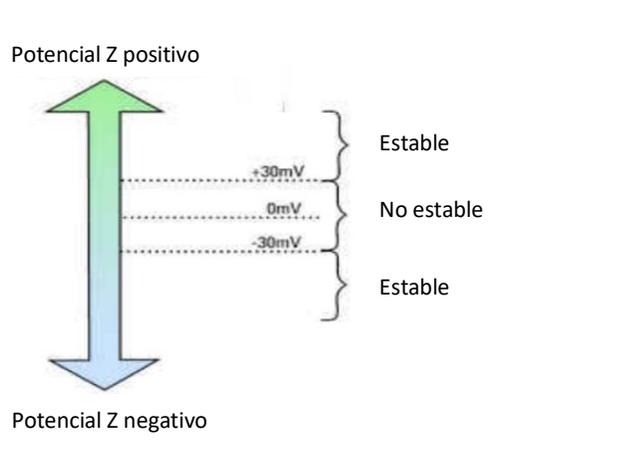
El equipo que se utiliza para determinar el tamaño de las partículas es un analizador de partícula por difracción láser el cual proporciona valores de  $D_x(10)$ ,  $D_x(50)$  y  $D_x(90)$ .  $D_x(10)$  se refiere al diámetro en el que el 10% de la masa de la muestra se compone de partículas con un diámetro menor que este valor;  $D_x(50)$  representa el tamaño medio basado en la superficie específica por unidad de volumen y permite caracterizar las partículas pequeñas y de forma esférica, y, el último, representa el tamaño medio basado en la unidad de peso de las partículas, y representa las partículas de mayor tamaño y formas irregulares (Pérez et al, 2017).

#### **3.7.5 Potencial Z**

Muchas de las propiedades importantes de los sistemas coloidales están determinadas directa o indirectamente por la carga eléctrica (o potencial) de las partículas. La propia distribución de potencial determina la energía de interacción entre las partículas, y esta es en muchos casos responsable de la estabilidad de las partículas frente a la coagulación y de muchos aspectos del comportamiento de flujo de la suspensión coloidal, también es posible correlacionarlo con el comportamiento de sedimentación. El potencial Z es un indicador de

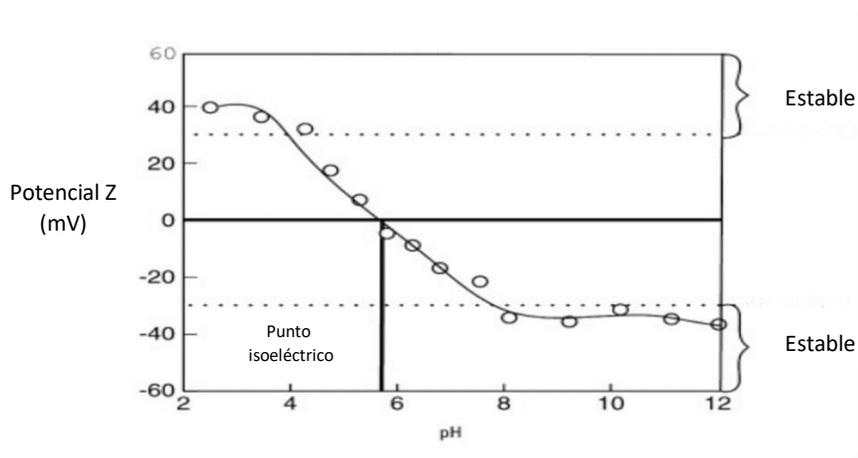
la magnitud de la interacción entre las partículas de un sistema. muy bueno de la magnitud de la interacción entre partículas (Hunter, 2013)

Estas mediciones se utilizan para evaluar la estabilidad de los sistemas coloidales y se refiere a la carga total que adquiere una partícula en un medio específico. Como se muestra en la Figura 2, si todas las partículas tienen un gran potencial negativo (más que  $-30$  mV) o positivo (más que  $+30$  mV), se repelerán entre sí y habrá estabilidad de dispersión mientras que, si las partículas tienen valores de potencial bajos, entonces no hay fuerza para evitar que las partículas se junten y habrá inestabilidad (Khoshnevisan y Barkhi, 2015).



**Figura 2.** Potencial Z. *Copyright 2015 Publicado por Institute of Agricultural Biotechnology, Nano Department, Karaj, Tehran, Iran.*

El factor más importante que afecta el potencial Z es el pH. En general, una curva de potencial Z vs pH será positivo a pH ácido y más bajo o negativo a pH básico (Figura 3). Puede haber un punto donde la curva pasa a través del potencial cero, este punto se denomina isoelectrico y es normalmente donde el sistema coloidal es menos estable (Khoshnevisan y Barkhi, 2015).



**Figura 3.** Potencial Z. *Copyright 2015 Publicado por Institute of Agricultural Biotechnology, Nano Department, Karaj, Tehran, Iran.*

### 3.7.6 pH

El pH es una escala numérica que mide el grado de acidez o alcalinidad de una sustancia. Desde el punto de vista químico, el pH se define como la capacidad que tiene una sustancia ácida de liberar protones hidrógeno ( $H^+$ ) o de una sustancia básica de liberar aniones hidroxilo ( $OH^-$ ) (Basáez, 2009).

El pH de una disolución aumenta a medida que  $[H^+]$  disminuye. En la realidad la concentración varía en forma inversa, a través de un factor exponencial. Se define como el logaritmo negativo de la concentración del ion hidrógeno mediante la siguiente expresión:  $pH = -\log [H^+]$  (Chang, 2010). Las disoluciones ácidas y básicas a  $25^\circ C$  se identifican por sus valores del pH como sigue:

Disoluciones ácidas:  $pH < 7$

Disoluciones básicas:  $pH > 7$

Disoluciones neutras:  $pH = 7$

Hay distintas formas de medir el pH de una solución, pero la más exacta es utilizando un potenciómetro (Basáez, 2009).

En alimentos, específicamente en bebidas, es de suma importancia tener controlado el pH debido a que una ligera variación puede afectar seriamente la calidad del producto en cuanto a sabor, solubilidad, color y parámetros microbiológicos, por lo que controlando el pH se puede garantizar la calidad del producto final, además de impedir el desarrollo de microorganismos patógenos y perjudiciales para la salud humana.

Cuando a una bebida se le han añadido sólidos provenientes de fuentes proteicas de origen vegetal es fundamental conocer el punto isoeléctrico de éstas, que, según López, 2014, es el pH en donde las proteínas presentan su menor solubilidad y por lo tanto precipitan, para evitarlo se requiere tener controlado este parámetro, ya que el precipitado en una bebida no es aceptado sensorialmente por los consumidores.

Garantizar la inocuidad alimentaria es un proceso complejo que empieza en la explotación agrícola y termina con el consumidor, por lo que para certificarla se necesitan realizar análisis microbiológicos específicos para asegurar que el alimento es seguro para consumo.

### **3.8 Análisis microbiológico**

Los alimentos pueden ser el transporte de diversos microorganismos y metabolitos microbianos, algunos de ellos patógenos para el hombre. En ocasiones, estos microorganismos se encuentran en los alimentos como consecuencia de su presencia en los tejidos de los animales vivos o de los vegetales antes de su recolección. Sin embargo, con mayor frecuencia, los microorganismos llegan a los alimentos durante su obtención o en las operaciones a que se someten (Arthur, 2002 y EFSA, 2007). La contaminación de los alimentos con microorganismos patógenos tiene implicaciones graves desde un punto de vista de salud pública. Por ello, es importante el establecimiento de sistemas barrera en los que la acción sinérgica de diversos factores subletales (tratamiento térmico, temperatura de almacenamiento, atmósferas modificadas, aditivos, bacteriocinas, radiación, etc.) permita la obtención de alimentos seguros. Otro hecho a tener presente es la marcada tendencia de estos microorganismos a formar biopelículas (De Santos, 2010). Los microorganismos se adhieren a las superficies mediante la síntesis de polisacáridos extracelulares y son numerosas las experiencias que ponen de manifiesto la gran protección que encuentran los microorganismos en las biopelículas frente al uso de desinfectantes como el cloro y otros antimicrobianos (Schludt, 2002).

Además del control en los alimentos de la presencia de microorganismos patógenos, la comercialización de alimentos exentos de alteraciones constituye también una de las principales preocupaciones de las industrias alimentarias. Se considera que la principal causa de alteración de los alimentos se debe a la proliferación de bacterias, levaduras, mohos y

coliformes. Estos tres microorganismos se denominan microorganismos indicadores y permiten un enfoque de prevención de riesgos ya que, al estar presentes, advierten manejo inadecuado y/o contaminación (Pierson y Smoot, 2001; García, 2016). La alteración generalmente se manifiesta por la aparición de olores y sabores anómalos, defectos en el color, apariencia y textura, y otras características que hacen que el alimento sea inaceptable para su consumo (De Santos, 2010).

### **3.9 Análisis químico proximal**

El análisis proximal está basado en el sistema Weende que fue desarrollado en la Estación Weende en Alemania. Este sistema fue diseñado con el fin de simular el proceso de digestión del animal. Respecto a este sistema resulta importante mencionar que hoy es criticado por ser un poco antiguo; pero hasta la fecha no se ha desarrollado un análisis alternativo que demuestre ser mejor, práctico y aceptable. A pesar de esto, el sistema continúa en uso ya que ha demostrado su efectividad en la recopilación considerable de datos presentados en términos de análisis proximal. La mayoría de los requisitos legales para productos alimenticios se basan en análisis hechos mediante el sistema Weende. El mismo incluye humedad, proteína cruda, extracto etéreo, cenizas y extracto libre de nitrógeno (CINA, 2015). se aplican en primer lugar a los materiales que se utilizan para formular una dieta como fuente de proteína o de energía y a los alimentos terminados, como un control para verificar que cumplan con las especificaciones o requerimientos establecidos durante la formulación (FAO, 1993).

### **3.10 Reología**

La reología se utiliza como una herramienta de diseño esencial en la ingeniería de alimentos, ya que es importante para el procesamiento, la estabilidad de almacenamiento y la percepción sensorial, incluida la textura y la sensación en la boca, y puede sondear la estructura general y la interacción entre los componentes coloidales individuales (Stokes et al, 2013).

La reología es el estudio del flujo y la deformación de los materiales bajo la aplicación de una fuerza externa. Las propiedades reológicas determinan cambios estructurales y de composición de los materiales, que pueden ser factores críticos de estabilidad y comportamiento del producto (IESMAT, 2019). La evaluación del comportamiento

reológico, es relevante en la formulación para el desarrollo de productos, estudio de la textura y consistencia y estabilidad de productos alimenticios relacionado con el agrado del consumidor.

Existen los fluidos:

- a) **newtonianos:** (Figura 4), Existe una relación lineal entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación. Esto significa que la viscosidad  $\mu$  es constante e independiente de la velocidad de deformación. Ejemplos: agua y leche (Ramírez, 2006).

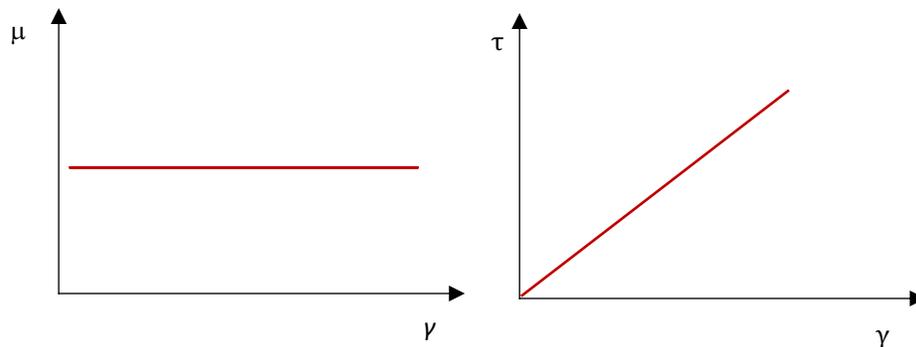
Ecuación 1

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

$\mu$  = Viscosidad [ Pa.s]

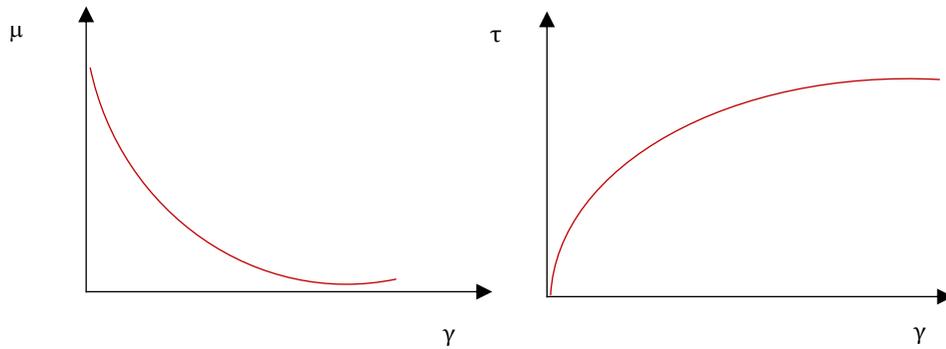
$\tau$  = Esfuerzo de corte [ Pa]

$\gamma$  = Velocidad de deformación [  $s^{-1}$ ]



**Figura 4.** Curvas de flujo del comportamiento en fluidos newtonianos.

- b) **No newtonianos:** la viscosidad  $\mu$  está en función de la velocidad de deformación. Un tipo de fluido no newtoniano es un fluido reofluidizante, en el cual, disminuye la viscosidad con la velocidad de deformación (Figura 5). Ejemplos: ketchup y mostaza (Ramírez, 2006).



**Figura 5.** Curvas de flujo de fluidos no newtonianos, tipo reofluidizante.

Distintos factores influyen en la selección del modelo reológico utilizado para describir la conducta del flujo de los fluidos no newtonianos. Dos de ellos se presentan a continuación:

- Modelo de la ley de potencia:

$$\sigma = \kappa \gamma^n$$

$\sigma$  = Esfuerzo de cizalla [Pa]

$\kappa$  = Coeficiente de consistencia [ Pa.s]

$\gamma$  = Velocidad de deformación [ $s^{-1}$ ]

$n$  = índice de consistencia de flujo (adimensional)

Ecuación 2

Cuando la magnitud de  $n < 1$ , el fluido tiene comportamiento reofluidizante (Soto, 2015).

- Modelo de Sisko:

$$\eta = \kappa \gamma^{n-1} + \eta^\infty$$

Ecuación 3

Donde  $\eta^\infty$  corresponde con la viscosidad a elevados valores de la velocidad de deformación. Este modelo describe la región de velocidad de deformación media y alta (Lucena, 2017).

### **3.11 Pruebas de estabilidad a la temperatura**

La viscosidad es fuertemente dependiente de la temperatura. La mayoría de los materiales disminuyen su viscosidad con la temperatura; la dependencia es exponencial y puede haber variaciones de hasta un 10% por cada °C modificado. (Ramírez, 2006).

### **3.12 Tribología**

La textura de los alimentos se considera una propiedad sensorial multidimensional que está influenciada por la estructura y las propiedades de la superficie de los alimentos (Stokes, 2013).

Según lo definido por la Organización Internacional de Normalización (ISO, 1994), la textura se define como: "todos los atributos mecánicos, geométricos y de superficie de un producto perceptibles por medio de receptores mecánicos, táctiles y, cuando sea apropiado, visuales y auditivos".

La percepción sensorial de muestras de alimentos puede describirse mediante paneles sensoriales humanos con un conjunto de atributos de textura. Algunos de estos atributos, como la firmeza o la elasticidad, están dominados principalmente por la matriz y pueden correlacionarse bien con los métodos clásicos de análisis de textura como las mediciones reológicas o de atributos de perfil de textura (TPA). Sin embargo, estos métodos llegan a su límite cuando se describen los atributos dominados por la sensación en la boca, como la pegajosidad. Un tribosistema imita el sistema lengua / paladar-salival y es más adecuado para describir estos atributos sensoriales (Rother, 2019).

La tribología también llamada "reología de película delgada" es el estudio de la fricción y la lubricación entre las superficies que interactúan en movimiento relativo, y la cantidad de superficies que tienen una interacción en la boca durante el consumo de alimentos es abundante (Stokes, 2012); es decir, la tribología es una disciplina que contribuye para comprender el procesamiento oral, la textura y la sensación en la boca de los alimentos (Chen y Stokes, 2012), se aplica comúnmente en ingeniería mecánica y ciencia de materiales. Durante los últimos años, la tribología también se ha empleado en la investigación de alimentos (Chojnicka et al, 2012)

### 3.12.1 Fricción

La fuerza de fricción está presente en todos los sistemas donde dos superficies están en contacto directo. La fuerza de fricción es proporcional a la carga normal y viene dada por:

$$\mu = F/W$$

- Donde  $\mu$  es el coeficiente de fricción
- F es la fuerza de fricción
- W es la carga normal perpendicular a la dirección de fricción.

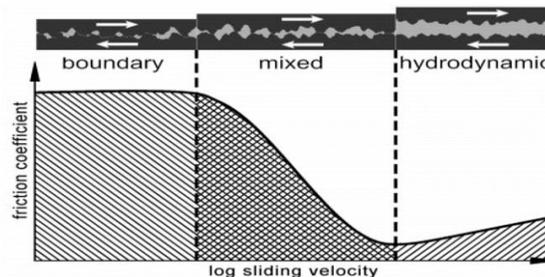
Ecuación 4

Describe cómo cambia la dependencia de la fuerza-carga con parámetros como temperatura, velocidad, etc.

El coeficiente de fricción depende de la velocidad de arrastre del lubricante que puede proporcionar un soporte diferente para las dos superficies de fricción (debido a la presión que ejerce sobre las dos superficies). Esta dependencia de la velocidad se usa comúnmente para describir las propiedades de fricción de un lubricante y se llama curva de Stribeck (Bongaerts, 2007; Cassin, 2001; De Vicente, 2005).

### 3.12.2 Curva de Stribeck

El lubricante líquido que ingresa dinámicamente a la zona de contacto entre dos superficies de fricción genera una presión que proporciona cierto soporte a estas superficies. Cuanto más rápido sea el arrastre, más fuerte será el soporte menor será la fricción. En la curva de Stribeck se distinguen tres regímenes dependiendo del grado de separación de los planos de fricción: el límite, el régimen mixto y el régimen hidrodinámico (Chojnicka, 2009). La Figura 6 muestra una imagen esquemática de la curva de Stribeck que marca los tres regímenes y la forma típica de la curva.



**Figura 6.** La curva de Stribeck y tres regímenes de lubricación: el límite, el régimen mixto y el régimen hidrodinámico. Los paneles superiores muestran una imagen esquemática de la separación de asperezas en cada régimen. *Copyright 2009 Publicado por Utrecht University.*

#### 3.12.2.1 Lubricación límite

Cuando la velocidad del movimiento relativo de las superficies es pequeña (y el lubricante tiene una viscosidad baja), no hay suficiente lubricante que entre y permanezca entre ellas. En este caso, la separación entre las superficies es pequeña y las asperezas están en contacto directo (Butt et al, 2013).

#### 3.12.2.2 Régimen mixto

Con el aumento de la velocidad de movimiento, se arrastra más lubricante entre las superficies, por lo que se ejerce una presión de soporte más alta que las separa mejor. En este caso, solo grandes asperezas están en contacto y se reduce la fricción. Este comportamiento continúa con una velocidad cada vez mayor, que se refleja en la curva de Stribeck como una tendencia decreciente a medida que aumenta la velocidad. Varios estudios han sugerido que el comportamiento tribológico de los alimentos durante el procesamiento oral se encuentra esencialmente en el régimen de lubricación mixta (Chojnicka et al, 2012).

#### 3.12.2.3 Régimen Hidrodinámico

Una vez que el arrastre de lubricante es lo suficientemente alto debido al aumento de la velocidad o la viscosidad en masa para separar las dos superficies completamente se da el régimen hidrodinámico. En este régimen, la fricción entre las superficies está determinada principalmente por las propiedades globales del lubricante, como la viscosidad y la estructura (Chojnicka et al, 2012). Asimismo, se utiliza principalmente la tribología para proporcionar una descripción cuantitativa de los procesos mecánicos en el entorno oral y en paralelo se hace una cuantificación de las puntuaciones sensoriales, para poder saber cuáles son las propiedades de la superficie más importantes que son relevantes para predecir mejor los atributos sensoriales.

### 3.13 Evaluación sensorial

La evaluación sensorial es la disciplina científica que permite evocar, medir, analizar e interpretar reacciones a aquellas características de los alimentos y materiales; cómo son percibidas por los sentidos: vista, olfato, gusto, tacto, temperatura, etc. (IFT, 1975). Es posible analizar estadísticamente los resultados obtenidos de una evaluación sensorial,

gracias al empleo de métodos de prueba científicos. Aunque en la actualidad existen instrumentos de medición sofisticados y altamente sensibles, como el espectrofotómetro UV y de resonancia, estos instrumentos no tienen la capacidad de realizar una evaluación integral del producto (Severiano et al, 2010). El instrumento empleado en la evaluación sensorial son jueces entrenados y/o consumidores. Los métodos sensoriales pueden ser separados en dos grupos: métodos analíticos y métodos efectivos, para el primer método se requieren jueces entrenados y se evalúan las características de los alimentos, mientras que, para el segundo método, se requiere de los consumidores y se evalúa la respuesta o lo que el alimento analizado les provoca (Calí, 2010).

Las pruebas afectivas o hedónicas se refieren al grado de preferencia y aceptabilidad de un producto, dentro estas pruebas podemos encontrar: pruebas de preferencia y pruebas de aceptabilidad. Una de las principales ventajas es que provee de información esencial del producto. Asimismo, permite identificar el grado de gusto o disgusto del producto y relaciona el perfil descriptivo y otras variables para poder optimizarlo o mejorarlo.

### **3.13.1 Nivel de agrado en general y de sabor**

Consiste en pedirles a los consumidores que den su informe sobre el grado de satisfacción que tienen de un producto, al presentárseles una escala hedónica que pueden ser verbales o gráficas. La escala verbal va desde me gusta muchísimo hasta me disgusta muchísimo, entonces las escalas deben ser impares con un punto intermedio de ni me gusta ni me disgusta y la escala gráfica consiste en la presentación de caritas o figuras faciales. La escala más empleada para el desarrollo de esta prueba es la escala de Peryamm&Pilgrim, 1957 (Lawless, 2010) (Figura 7).

<p><b>NOMBRE:</b> _____ <b>FECHA</b> _____</p> <p><b>NOMBRE DEL PRODUCTO</b> _____</p> <p>Pruebe el producto que se presenta a continuación. Por favor marque con una X, el cuadrado que esta junto a la frase que mejor describa su opinión sobre el producto que acaba de probar.</p> <table border="1"> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Me gusta muchísimo</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Me gusta mucho</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Me gusta moderadamente</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Me gusta ligeramente</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Ni me gusta ni me disgusta</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Me disgusta ligeramente</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Me disgusta ligeramente</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Me disgusta moderadamente</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Me disgusta mucho</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>Me disgusta muchísimo</td></tr> </table> <p><b>COMENTARIOS.</b></p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p style="text-align: center;"><b>MUCHAS GRACIAS!</b></p>	<input type="checkbox"/>	Me gusta muchísimo	<input type="checkbox"/>	Me gusta mucho	<input type="checkbox"/>	Me gusta moderadamente	<input type="checkbox"/>	Me gusta ligeramente	<input type="checkbox"/>	Ni me gusta ni me disgusta	<input type="checkbox"/>	Me disgusta ligeramente	<input type="checkbox"/>	Me disgusta ligeramente	<input type="checkbox"/>	Me disgusta moderadamente	<input type="checkbox"/>	Me disgusta mucho	<input type="checkbox"/>	Me disgusta muchísimo
<input type="checkbox"/>	Me gusta muchísimo																			
<input type="checkbox"/>	Me gusta mucho																			
<input type="checkbox"/>	Me gusta moderadamente																			
<input type="checkbox"/>	Me gusta ligeramente																			
<input type="checkbox"/>	Ni me gusta ni me disgusta																			
<input type="checkbox"/>	Me disgusta ligeramente																			
<input type="checkbox"/>	Me disgusta ligeramente																			
<input type="checkbox"/>	Me disgusta moderadamente																			
<input type="checkbox"/>	Me disgusta mucho																			
<input type="checkbox"/>	Me disgusta muchísimo																			

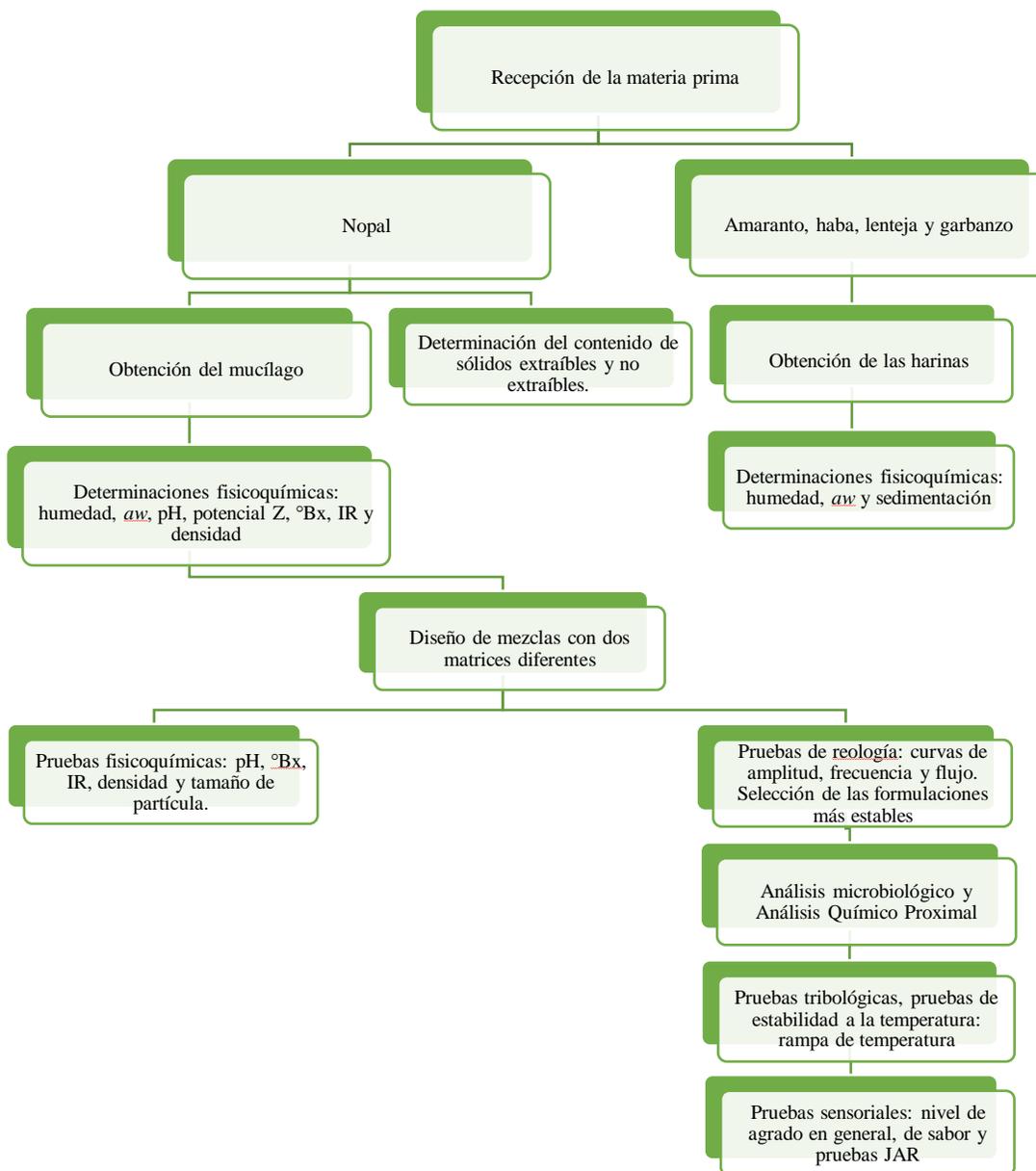
**Figura 7.** Escala hedónica verbal. *Copyright 2005 Publicado por Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)*

### 3.13.2 Justo como lo esperaba (JAR)

Estas escalas son comúnmente usadas en análisis sensorial para identificar si los atributos de un producto son percibidos como muy bajos, muy altos o justo como me gusta. Son escalas útiles para determinar el nivel óptimo de un atributo y por lo tanto optimizar un producto (Severiano et al, 2010). Los resultados de las escalas pueden hacerse en porcentajes o de manera más compleja (Rothman, 2009). Es posible realizar una serie de preguntas en formajusto como lo esperaba, pero es importante resaltar que existen atributos con connotación negativa como “sal” o “grasa” en donde hay un sesgo importante en la respuesta del consumidor. Aunque la escala JAR más usada es de 5 puntos, también existen otras opciones, desde 3 hasta 9 puntos (Rothman, 2009).

## 4. METODOLOGÍA

### 4.1 Estrategia experimental



## **4.2 Recepción de la materia prima**

### **4.2.1 Nopal**

Los cladodios frescos provenientes de la delegación Milpa Alta CDMX de *Opuntia ficus indica* se seleccionaron por las siguientes características: ser frescos, limpios, sanos, enteros y bien formados; tener color y olor característico, así como presentar una consistencia firme; exentos de humedad exterior anormal, materia extraña visible y plagas; libres de descomposición o pudrición. Todos aquellos cladodios que no cumplieron con dichas especificaciones fueron descartados (NMX-FF-068-SCFI-2006).

### **4.2.2 Legumbres y pseudocereal**

De las legumbres de marca San Lázaro ® se descartaron las resacas y la materia extraña presente en el empaque.

Del pseudocereal se descartó la materia extraña.

## **4.3 Obtención del mucílago**

Para la obtención de mucílago se siguió el procedimiento reportado por Reyes et al (2019), quienes proponen un proceso de extracción mecánica libre de solventes. La extracción de mucílago se llevó a cabo de la siguiente manera: los cladodios frescos fueron lavados y después cortados en trozos pequeños con un cuchillo de acero inoxidable, posteriormente se molieron en una licuadora genérica industrial durante 5 minutos. El extracto obtenido de la molienda se centrifugó; el mucílago obtenido de la centrifugación se filtró a través de papel filtro (Whatman® 40) a 50 Hg cm de presión de vacío, tres veces, posteriormente reposó durante 24 h a 4 °C con lo que pudo lograrse la sedimentación de los sólidos que no se lograron separar en las filtraciones. Después se realizó una decantación para separar el mucílago sin sólidos, y, por último, el mucílago se secó en un secador por aspersión Niro Atomizer (GEA, Düsseldorf, Alemania).

## **4.4 Obtención de las harinas de las legumbres y del amaranto.**

Para este trabajo las harinas se obtuvieron de las diferentes legumbres de acuerdo con lo establecido por Velázquez et al (2018).

#### 4.4.1 Remojo y cocción

250 g de cada una de las legumbres se remojaron durante 24 h a temperatura ambiente por separado, posteriormente, se cocieron en una Olla Eléctrica (T-Fal) a  $95 \pm 5$  °C durante 90 minutos, de igual manera por separado. Dicha olla no cuenta con un sistema de presión.

#### 4.4.2 Secado

Las legumbres cocidas se sometieron a un proceso de secado en un deshidratador de charolas (deshidratador de alimentos Industrial de 10 charolas Avantco) a  $50 \pm 5$  °C. El tiempo de secado para cada una de las legumbres varió de entre 20 y 24 horas, el secado se detuvo hasta que se alcanzó un  $a_w$  entre 0.2 a 0.3

#### 4.4.3 Molienda y tamizado

Tanto las legumbres secas como el amaranto se sometieron a una molienda en una licuadora Vorwerk (Thermomix®) durante 1 minuto a velocidad 10 (10700 rpm), para reducir el tamaño de partícula, posterior a ello, se tamizaron las distintas harinas en un tamiz malla 80 (Cole-Parmer), para obtener partículas del mismo tamaño.

### 4.5 Pruebas fisicoquímicas

#### 4.5.1 Nopal y mucílago

##### 4.5.1.1 Sólidos extraíbles y no extraíbles de nopal *Opuntia ficus-indica*

La cuantificación fue de acuerdo a la metodología descrita por Castillo et al (2016), la cual está basada en términos de las fracciones másicas de agua ( $x_{F3}$ ), de sólidos extraíbles ( $x_{F2}$ ) y de sólidos no extraíbles ( $x_{F1}$ ) de los cladodios frescos. La determinación se obtuvo por medio de la siguiente ecuación:

$$x_{F1} = \frac{w_0(1-x_{F3})-w_I}{w_0} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde  $w_0$  y  $w_I$  son la masa inicial y final de la muestra, respectivamente. La fracción másica extraíble ( $x_{F2}$ ) se estimó por diferencia:

$$x_{F2} = 1 - x_{F1} - x_{F3}$$

Ecuación 6

#### 4.5.1.2 pH

La determinación de este parámetro se le realizó directamente al mucílago recién extraído por triplicado, utilizando un potenciómetro (Science, MED). Primero se calibró el potenciómetro con las soluciones reguladoras de pH 4 y pH 7, posteriormente se tomó una porción de la muestra y se realizó la medición, el valor de pH de la muestra se leyó directamente del potenciómetro

#### 4.5.1.3 Potencial Z

La determinación se le realizó directamente al mucílago recién extraído, por triplicado. Se utilizó un equipo ZetaSizer Nano (Malvern Instruments, Malvern, UK).

#### 4.5.1.4 Grados Brix

Este parámetro se realizó por triplicado directamente al mucílago recién extraído. Se utilizó un refractómetro (RHB-32ATC, Fujian China). Primero se calibro el refractómetro con agua destilada, posteriormente se tomó una porción de la muestra preparada y homogenizada y se prosiguió a observar el valor directamente del refractómetro.

#### 4.5.1.5 Índice de refracción

Esta determinación se le realizó directamente al mucílago recién extraído por triplicado, se utilizó un refractómetro ATAGO (NAR-1T solid, Tokio Japón) y se prosiguió a calibrarlo con agua destilada. Las condiciones de medición fueron los grados Brix o °Bx del mucílago que fueron 4.6°Bx. Se tomó una porción de la muestra homogenizada, se ajustaron los °Bx y se observó el valor directamente del refractómetro.

#### 4.5.1.6 Densidad

Esta determinación se le realizó directamente al mucílago recién extraído, por triplicado, para ello, se utilizó un picnómetro (LabGlass), de 5 mL a 20°C. Primero se pesó el picnómetro vacío con tapón, después se llenó con muestra cerca del borde y se colocó el tapón el cual se dejó caer sin apretar; la cantidad de muestra que salió por los bordes se limpió con mucho cuidado teniendo en cuenta que no se pueden dejar fibras adheridas y se pesó. La densidad se calculó de la siguiente manera:

$$\frac{\text{Pesodelpicnómetroconmuestra} - \text{pesodelpicnómetrovacío}}{\text{Volúmen}}$$

Ecuación 7

#### 4.5.1.7 Humedad y $a_w$

Estos parámetros se le determinaron al mucílago seco por triplicado. Para determinar el porcentaje de humedad se utilizó una termobalanza (MA37 Sartorius), colocando de 1 a 5 g de mucílago. Para la determinación del  $a_w$  se utilizó el medidor de actividad de agua (Aqualab Series 4TE) a 25°C.

#### 4.5.2 Harinas de legumbres y harina de pseudocereal

##### 4.5.2.1 Humedad y $a_w$

Estos parámetros se realizaron por triplicado a cada una de las cuatro harinas. Para determinar el porcentaje de humedad se utilizó una termobalanza (MA37 Sartorius), colocando de 1 a 5 g de muestra. Para la determinación del  $a_w$  se utilizó el medidor de actividad de agua (Aqualab Series 4TE) a 25°C

##### 4.5.2.2 Sedimentación

Se pesó 1g de cada una de las cuatro harinas empleadas (harina de amaranto, haba, lenteja y garbanzo) por triplicado, posterior a ello, el gramo pesado de cada harina se vertió en un matraz aforado de 10 mL KIMAX®, se llevó a la marca de aforo. Después se agregó en un tubo falcón antes pesado sin muestra y se pesó una vez más con la muestra, se centrifugó a 3000rpm (PowerSpin LX centrifuga, Unico) a 25°C durante 15 minutos. Posteriormente, se decantó conservando y pesando el sedimento, a éste se le determino la humedad, colocando en una termobalanza (MA37 Sartorius) de 1.5 a 2g. Esto se realizó tanto con agua como con la bebida vegetal de arroz.

Primero se obtuvo el porcentaje de solubilidad con la siguiente fórmula propuesta por Eastman et al, (1984):

$$\text{Porcentaje de solubilidad} = \frac{(\text{Peso de los sólidos}) \times 4}{\text{Peso de la muestra} \left( \frac{100\% \text{ Humedad}}{100} \right)} \times 100$$

Y finalmente el porcentaje de sedimentación se obtuvo por diferencia:

$$100 - \text{porcentaje de solubilidad}$$

#### 4.6 Diseño de mezclas.

Las formulaciones se realizaron por medio de un diseño de mezclas (*Statgraphics*), obteniendo diferentes proporciones de proteína a agregar para cada una (Tabla 1). A las formulaciones que tuvieron como matriz una bebida vegetal de arroz, se les añadió goma guar al 0.08%, ya que, a pesar de contener gránulos de almidón provenientes del arroz, los cuales actúa como gelatinizante (Castillo et al, 2019), para obtener una suspensión más estable y con un tiempo más extenso de sedimentación-fue necesario la asistencia de la goma, también se les añadieron 200  $\mu$ L de saborizante de mango y 0.6 g de colorante amarillo. A las formulaciones que tuvieron como matriz agua, ya que al no ser formuladas con la bebida vegetal de arroz, carecen de almidón, por lo que para lograr la suspensión de las partículas para la obtención un sistema estable, fue necesario añadir goma guar y pectina al 0.1% en mayor proporción que las formulaciones con la matriz de la bebida vegetal de arroz, sólo en el caso de la goma guar, ya que a estas últimas no se les agrego pectina, y, por su parte, a las formulaciones con matiz agua se les añadió 200  $\mu$ L de saborizante de uva y 0.6 g de colorante morado, todo ello con base al Acuerdo de aditivos Alimentarios, 2012.

En cuanto a la concentración a añadir de mucílago para las formulaciones con una matriz de bebida vegetal de arroz y agua, fue de 3% y 4% respectivamente, como ya se refirió anteriormente, fue necesario agregar mayor cantidad de goma y de pectina a las formulaciones con matriz como agua, asimismo se les añadió más mucílago, debido a la misma premisa explicada arriba.

A todas las formulaciones se les agregó 20 g de Isomalt.

**Tabla 1.** Formulaciones para 200 mL

<b>Formulación</b>	<b>Haba (g)</b>	<b>Amaranto (g)</b>	<b>Lenteja (g)</b>	<b>Garbanzo (g)</b>
1	1	4	1	4
2	1	1	4	4
3	1	3	3	3
4	4	1	4	1
5	1	4	4	1
6	3	3	3	1
7	1	7	1	1
8	2.5	2.5	2.5	2.5
9	1	1	7	1

## 4.7 Pruebas fisicoquímicas de las formulaciones

### 4.7.1 pH

La determinación de este parámetro se les realizó a las dieciocho formulaciones por triplicado, utilizando un potenciómetro (Science, MED). Primero se calibró el potenciómetro con las soluciones reguladoras de pH 4 y pH 7, posteriormente se tomó una porción de la muestra ya preparada y homogenizada y se realizó la medición de pH, el valor de pH de la muestra se leyó directamente del potenciómetro.

### 4.7.2 Grados Brix

Este parámetro se realizó por triplicado a las dieciocho formulaciones. Se utilizó un refractómetro (RHB-32ATC). Primero se calibro el refractómetro con agua destilada, posteriormente se tomó una porción de la muestra preparada y homogenizada y se prosiguió a observar el valor directamente del refractómetro.

### 4.7.3 Índice de refracción

Esta determinación se les realizó a las dieciocho formulaciones por triplicado, se utilizó un refractómetro ATAGO (NAR-1T solid, Tokio Japón) y se prosiguió a calibrarlo con agua destilada. Las condiciones de medición fueron los °Bx (Tabla 2). Se tomó una porción de la muestra preparada y homogenizada, se ajustaron los °Bx y se observó el valor directamente del refractómetro.

**Tabla 2.** Condiciones de medición de cada formulación

Formulación	Matriz: bebida vegetal de arroz	Matriz: agua
	°Bx	°Bx
1	18.0 ±0.0	15.8 ±0.0
2	17.0 ±0.0	15.0 ±0.0
3	16.0 ±0.6	14.5 ±0.1
4	16.3 ±0.3	13.7 ±0.1
5	16.8 ±0.4	14.3 ±0.1
6	15.8 ±0.4	14.4 ±0.0
7	17.7 ±0.1	15.7 ±0.1
8	16.5 ±0.1	14.4 ±0.0
9	16.0±0.4	14.0 ±0.0

#### 4.7.4 Densidad

Esta determinación se les realizó a las dieciocho formulaciones, por triplicado, para ello, se utilizó un picnómetro (LabGlass), de 5 mL a 20°C. Primero se pesó el picnómetro vacío con tapón, después se llenó con muestra cerca del borde y se colocó el tapón el cual se dejó caer sin apretar; la cantidad de muestra que salió por los bordes se limpió con mucho cuidado teniendo en cuenta que no se pueden dejar fibras adheridas y se pesó. La densidad se calculó de la siguiente manera:

$$\frac{\text{Pesodelpicnómetroconmuestra} - \text{pesodelpicnómetrovacío}}{\text{Volúmen}} \text{ Ecuación 8}$$

#### 4.7.5 Distribución del tamaño de las partículas

Para determinar en las dieciocho formulaciones el tamaño de las partículas se utilizó un analizador de partícula por difracción láser (Malvern Panalytical Mastersizer 3000) utilizando el Hidro EV dispersión de vía húmeda de volumen flexible (Malvern Panalytical). Las condiciones de la determinación se establecieron como tipo de partícula no esférica, densidad, índice de refracción o IR (determinados experimentalmente) e índice de absorción (valor recomendado por el fabricante), ver Tabla 3. La duración de la medición de fondo fue de aproximadamente 10s, está se realizó con 400 mL de agua purificada en un vaso de precipitados.

Las muestras se sometieron a una agitación manual de 1 min, posterior a ello con una jeringa se tomó de 1 a 1.2 mL y se vertieron en los 400 mL de agua purificada a la que se le realizó la medición de fondo, con lo cual se alcanzó un oscurecimiento de entre 10 a 15% con una presión de aire de 3 bar, y se realizó la medición con una duración aproximada de 5 min por muestra. Entre cada repetición el equipo se sometió a un ciclo de limpieza normal y al finalizar todas las mediciones se sometió a un ciclo de limpieza extensivo, ambos ciclos se realizaron con agua purificada. La determinación se realizó por quintuplicado en cada muestra.

**Tabla 3.** Condiciones de medición de cada formulación

Formulación	Matriz: bebida vegetal de arroz			Matriz: agua		
	IR	Densidad (g/mL)	Índice de absorción <sup>1</sup>	IR	Densidad (g/mL)	Índice de absorción <sup>1</sup>
1	1.360 ±0.0004	1.0289 ±0.0016	0.1	1.357 ±0.000	1.0846 ±0.0022	0.1
2	1.359 ±0.0004	1.0270 ±0.0023	0.1	1.355 ±0.0004	1.0816 ±0.0010	0.1
3	1.356 ±0.0005	1.0223 ±0.0007	0.1	1.355 ±0.0003	1.0746 ±0.0051	0.1
4	1.357 ±0.0001	1.0509 ±0.0003	0.1	1.353 ±0.0002	1.0800 ±0.0007	0.1
5	1.359 ±0.0003	1.0240 ±0.0099	0.1	1.354 ±0.0002	1.0794 ±0.0048	0.1
6	1.357 ±0.0002	1.0230 ±0.0005	0.1	1.354 ±0.0001	1.0728 ±0.0007	0.1
7	1.360 ±0.0003	1.0255 ±0.0036	0.1	1.357 ±0.0003	1.0702 ±0.0033	0.1
8	1.358 ±0.0001	1.0275 ±0.0047	0.1	1.355 ±0.0003	1.0745 ±0.0043	0.1
9	1.358 ±0.0004	1.0276 ±0.0037	0.1	1.354 ±0.0001	1.0724 ±0.0036	0.1

<sup>1</sup>González, 2017.

#### 4.8 Pruebas de estabilidad

Se realizaron pruebas de estabilidad para las matrices y para las formulaciones con tres gomas suspendidas en ambas matrices. También, se efectuaron las pruebas a las dieciocho formulaciones desarrolladas: nueve en matriz agua y nueve en la matriz de la bebida vegetal de arroz. Asimismo, a cada harina suspendida en cada matriz, también se le determinó la estabilidad. Todas las pruebas de estabilidad fueron llevadas a cabo utilizando un reómetro de esfuerzo controlado (Anton Paar Physica Austria MCR101) a 25°C, utilizando la configuración de cilindros concéntricos para aquellas pruebas que tuvieron como matriz una bebida vegetal de arroz, y la configuración de doble gap para aquellas pruebas que tuvieron matriz agua. Los datos se analizaron con el software *Rheoplus 3.5* para obtener las curvas de viscosidad. Cada una de las muestras se sometieron a una agitación manual de 1 minuto, posteriormente, se tomaron 20 mL en el caso de la configuración de círculos concéntricos y 6 mL en el caso de la configuración de doble gap. Para cada una de las pruebas se utilizó una rampa de 20 minutos considerando el intervalo de velocidad de deformación de 0.1-500 s<sup>-1</sup>.

Se observó que el comportamiento de los datos se ajustó a los modelos de la Ley de Potencia o de Sisko, para los cuales se determinaron los parámetros  $k$  y  $n$ , además, de  $\eta_{\infty}$  correspondiente al promedio de los valores que tienden a ser Newtonianos. Cada una de las gráficas presentadas corresponde al promedio del cuadruplicado de cada una de las pruebas.

### **4.8.1 Formulaciones**

Para todas las formulaciones, se obtuvo la curva de amplitud. Aquellas formulaciones que presentaron elasticidad, se le determinó la región viscoelástica lineal y se obtuvo la curva de frecuencia, se determinó el módulo de almacenamiento ( $G'$ ) o módulo elástico y el módulo de pérdida ( $G''$ ) o viscoso, se calculó el módulo complejo ( $G^*$ ) y el ángulo de desfase.

La selección de las formulaciones se dio con base a las pruebas reológicas de frecuencia, eligiendo los extremos: formulación débil reofluidizante a frecuencias bajas, y una rígida reofluidizante a frecuencias altas, ambas formulaciones de la matriz con agua y de la matriz de la bebida vegetal de arroz, lo que dio un total de cuatro formulaciones elegidas.

#### **4.8.1.1 Análisis microbiológico**

El análisis microbiológico correspondiente a mesófilos aerobios, enterobacterias, hongos y levaduras se llevó de acuerdo con las NOM-092-SSA1-1994, NOM-114-SSA1-1994 y NOM-111-SSA1-1994, respectivamente y se les realizó a las cuatro formulaciones seleccionadas. Con respecto al NOM-110-SSA1-1994, se tomó un volumen de 10 mL de cada una de las muestras y se homogenizó en 90 mL de solución salina isotónica al 0.9% siendo esta la dilución  $10^{-1}$ , posteriormente se realizaron diluciones seriadas obteniendo la última de  $10^{-4}$ . Se sembraron en cajas Petri por duplicado las diluciones  $10^{-1}$ ,  $10^{-3}$  y  $10^{-4}$  de cada una de las cuatro muestras a analizar, cada una de las muestras se distribuyeron con perlas de ebullición *Soviquim*, en medio Agar Triptona-Extracto de Levadura para mesófilos aerobios incubando a  $35^{\circ}\text{C}/48\text{h}$ , Agar Verde Brillante para enterobacterias incubando a  $35^{\circ}\text{C}/24\text{h}$  y medio Agar Papa-Dextrosa para hongos y levaduras incubando a  $25^{\circ}\text{C}/5$  días. Los medios fueron incubados en el equipo Labnet International Inc Modelo 151110.

El análisis microbiológico se realizó del día en que se hicieron las formulaciones y posteriormente se guardaron a  $4^{\circ}\text{C}/7$  días, al término de este periodo, se volvió a realizar con el método arriba descrito. Todos los análisis se realizaron por duplicado.

#### **4.8.1.2 Análisis Químico Proximal**

El AQP se realizó en el Laboratorio para Análisis Químicos de Alimentos del Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica de la UNAM, determinando el contenido de humedad, cenizas, proteína, extracto etéreo y fibra cruda, de acuerdo a los métodos de la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales: AOAC 2015, 934.01; AOAC 2015, 942.05; AOAC 2015,

2001.11; AOAC 1990, 920.39 y AOAC 2015, 962.09, respectivamente. Los carbohidratos se determinaron por diferencia. Esta determinación se hizo a las cuatro formulaciones seleccionadas.

#### **4.9 Prueba de estabilidad a la temperatura.**

Para determinar la estabilidad a la temperatura de cada una de las cuatro formulaciones seleccionadas, se realizó una rampa de temperatura en un reómetro de esfuerzo controlado (AntonPaar Physica Austria MCR101) en un intervalo de 15°C a 60°C utilizando la configuración de cilindros concéntricos para las dos formulaciones que tuvieron como base una bebida vegetal de arroz y la configuración de doble gap para las dos formulaciones con base agua. La determinación se realizó por triplicado para cada una de las muestras.

#### **4.10 Tribología**

Las pruebas tribológicas se llevaron a cabo en un reómetro de esfuerzo controlado (AntonPaar Physica Austria MCR101), con una celda de tribología MCR. Cada muestra que se evaluó con una bola de vidrio y tres clavijas (tribopair) de polidimetilsiloxano (PDMS), las cuales, antes de utilizarlas se limpiaron con un paño terso con acetona. Esto se realizó con cada cambio de tribopair. Las pruebas se realizaron utilizando 1 mL de muestra y por triplicado.

Las pruebas de Stribeck realizadas comprenden tres pasos:

En el primer paso es en donde el eje de medición desciende hasta que la bola entre en contacto con los pasadores. La carga máxima alcanzada durante esta fase está restringida a 0.5N para evitar la carga de choque o el impacto repentino en las superficies, se fija una temperatura de 37°C.

En el segundo paso es el aumento de la carga gradualmente hasta que la fuerza normal alcance el valor de 3N hasta realizar los puntos requeridos.

En el tercer paso la velocidad de deslizamiento se incrementa logarítmicamente. Dependiendo de la muestra, algunas pruebas se limitan a velocidades de deslizamiento más bajas.

#### **4.11 Evaluación sensorial**

La evaluación sensorial tuvo lugar en el Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología (ICAT). Esta prueba se efectuó para las cuatro formulaciones seleccionadas (ver sección

6.9.2); se realizó con 92 consumidores en un intervalo de edad de 14 a 66 años. El análisis estadístico fue ANOVA.

#### **4.11.1 Agrado en general y de sabor**

Se realizó una prueba de nivel de agrado general y de sabor, utilizando una escala del 1 al 9, donde 1 fue “me disgusta muchísimo” y 9 “me gusta muchísimo”

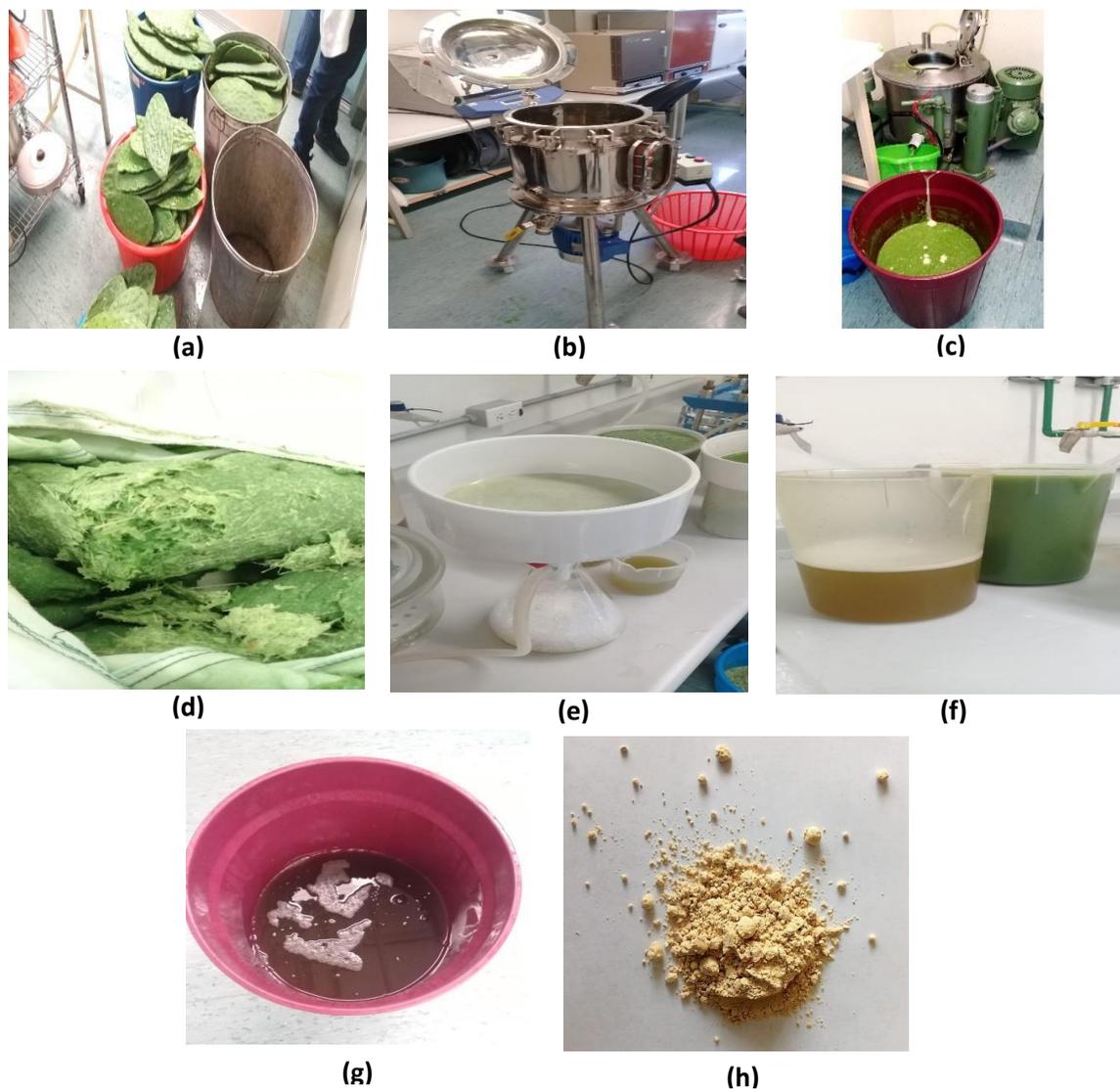
#### **4.11.2 Justo como lo esperaba (JAR)**

Se realizó una prueba de “justo como lo esperaba” (JAR por sus siglas en inglés), donde se evaluaron las cuatro formulaciones distintas los atributos de dulzor, acidez, sabor mango y sabor uva. tales como.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

### 5.1 Obtención del mucilago

En la figura 8 se muestran las imágenes obtenidas de cada etapa del proceso de extracción mecánica de mucilago de nopal.



**Figura 8.** (a) Lavado del nopal, (b) Molienda del nopal, (c) Proceso de centrifugación, (d) Bagazo obtenido después de la centrifugación, (e) Filtración del mucilago, (f) Comparación entre el mucilago sin filtrar y el mucilago con una primera filtración, (g) Reposo del mucilago extraído con la que se dio la sedimentación de los sólidos que no se pudieron separar en las filtraciones y (h) Mucilago seco.

## 5.2 Caracterización del mucílago

Se realizó la caracterización del mucílago de nopal líquido y en polvo. El pH del mucílago (Tabla 4) fue ácido debido a que su estructura está compuesta además de azúcares, por ácido galacturónico. Los datos obtenidos en este trabajo coinciden con lo reportado en literatura, donde Lee et al, 1998, reportan un pH del mucílago de 4.2 mientras que Rodríguez et al, 2011 reporta un pH de 4.45.

El  $a_w$  del mucílago seco fue de 0.2044 y la humedad de 9.63%, De acuerdo con la NOM-247-SSAI-2008, un  $a_w$  menor al 0.55 y una humedad menor a 15% reducen la presencia de microorganismos y previenen el deterioro del heteropolisacárido. Asimismo, se realizó la determinación del potencial Z, como se observa en la Tabla 4, el mucílago obtuvo un valor negativo de potencial Z = -6.18mV. Este valor define al mucílago como un hidrocoloide con poca estabilidad (Khoshnevisan y Barkhi, 2015). Para que un hidrocoloide sea estable, el valor de potencial Z del sistema tiene que ser mayor de -30mV o de +30mV. Significa que valores por debajo corresponden a sistemas coloidales poco estables.

Por otro lado, en la Tabla 4 se observan los resultados que se obtuvieron experimentalmente en este trabajo relativos a la composición de los cladodios, sólidos extraíbles y no extraíbles. Los resultados coincidieron con lo reportado previamente por Guzmán (2018): 88-95 % de humedad, 3-7 % de carbohidratos (sólidos extraíbles) y 1-4 % de fibra y cenizas (sólidos no extraíbles).

**Tabla 4.** Caracterización fisicoquímica de mucílago de nopal *Opuntia ficus indica*

Parámetro	Mucílago	Mucílago seco
pH	4.27±0.0058	-
Aw	1.0020±0.0004	0.2044±0.0026
Humedad (%)	92±1.28	9.63±0.13
Densidad (g/mL)	1.0172±0.0006	-
°Brix	4.6	-
Índice de refracción a 21.4°C	1.339	-
Potencial Z (-mV)	6.18±0.58	-
Sólidos no extraíbles (%)	1.830 ± 0.106	-
Sólidos extraíbles (%)	3.370 ± 0.106	-
Agua	94.800 ± 0.173	-

### 5.3 Caracterización de las harinas de las legumbres y de la harina del pseudocereal

La selección de las harinas de legumbres para la adición de proteína vegetal a las formulaciones fue debido al alto porcentaje de proteína digestible, además de ser muy consumidas y fáciles de adquirir (El economista, 20016). De las harinas seleccionadas, la que más proteína digestible aportó fue la harina de lenteja (Tabla 5), después la harina de haba y finalmente la de garbanzo. Así mismo, la harina de pseudocereal (amaranto) utilizado en este trabajo presentó un aporte de proteína digestible similar a la harina de haba. El Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán, en sus tablas de composición de alimentos y productos alimenticios, 2015, reporta que la harina lenteja, haba, garbanzo y amaranto, contienen 24.60%, 27.60%, 21.35% y 14.50% de proteína cruda respectivamente, comparando con los resultados obtenidos en la Tabla 5, se observa que se obtuvieron resultados más bajos del porcentaje de proteína digestible.

**Tabla 5.** Análisis Químico Proximal de diversas harinas de legumbres y la harina de un pseudocereal

MUESTRA	MATERIA SECA (%)	HUMEDAD (%)	PROTEÍNA DIGESTIBLE (%)	EXTRACTO ETÉREO (%)	CENIZAS (%)	FIBRA CRUDA (%)	EXTRACTO LIBRE DE N (%)	ENERGÍA (kcal)
<b>Lenteja</b>	98.02	1.98	20.48	0.29	2.53	4.07	68.06	367.13
<b>Haba</b>	93.61	6.39	15.20	4.23	2.68	3.28	64.89	371.75
<b>Garbanzo</b>	95.98	4.02	13.01	6.65	2.73	0.50	69.26	404.29
<b>Amaranto</b>	95.21	4.79	15.05	5.75	2.96	4.90	66.77	378.15

En cuanto al valor de  $a_w$  (en el intervalo de 0.2 a 0.3; Tabla 6), representa el contenido de humedad donde se minimizan las reacciones bioquímicas (Ramírez et al, 2014). El  $a_w$  para el crecimiento de mohos y levaduras es de aproximadamente 0.61 con el límite inferior para el crecimiento de mohos micotoxigénicos a 0.78 (Fontana, 1998). En cuanto al rendimiento, se observa que fue mayor al 50% como consecuencia del número de tamiz utilizado que fue del #80. El rendimiento también está relacionado con factores físicos, como peso, dureza, tamaño y forma (Graybosch et al, 1996), de las legumbres y el pseudocereal utilizados.

**Tabla 6.** Rendimiento y  $a_w$  de las harinas de las legumbres y del pseudocereal

MUESTRA	SECO (g)	HARINA (g)	RENDIMIENTO (%)	$a_w$
Haba	250.2	154.5	61.8	0.3249
Lenteja	250.0	222.0	88.8	0.2369
Garbanzo	250.1	162.6	65.0	0.2900
Amaranto	102.4	78.5	76.7	-

Por otro lado, se realizó la prueba de sedimentación de las cuatro harinas (Tabla 7), todas presentaron un porcentaje de sedimentación por arriba del 50%, lo que quiere decir que las harinas no son solubles en las matrices. Se realizó la prueba de *t de student* (ver Anexo 1) para determinar que hay una diferencia estadísticamente significativa de sedimentación debido a la matriz utilizada ( $p < 0.05$ ). La bebida de arroz presentó un 98.18% de sedimentación para la harina de amaranto, menor que el 99.14% para la harina de haba. Esto debido a que el arroz tiene aproximadamente 86% de carbohidratos, de los cuales más del 50% es almidón, lo que le confiere la capacidad de hidratación y gelatinización (Badui, 2006), por lo que las proteínas quedan suspendidas en la red formada por el almidón al momento de gelatinizarse, con lo que se obtiene un porcentaje de sedimentación ligeramente menor para lenteja, amaranto y haba.

**Tabla 7.** Porcentajes de sedimentación de las harinas en dos matrices diferentes

MATRIZ	HARINA	SEDIMENTACIÓN (%)
AGUA	Haba	99.79±0.010
	Amaranto	99.98±0.003
	Lenteja	99.80±0.024
	Garbanzo	99.73±0.027
BEBIDA VEGETAL DE ARROZ	Haba	99.14±0.146
	Amaranto	98.18±0.543
	Lenteja	98.89±0.252
	Garbanzo	98.97±0.216

#### 5.4 Caracterización de las formulaciones

En la Tabla 8 se presentan los datos de la caracterización fisicoquímica de las formulaciones. Las formulaciones con la matriz de arroz presentaron mayor porcentaje de sólidos solubles,

provenientes principalmente del arroz además de las gomas, el edulcorante y las harinas añadidas, mientras que las formulaciones con matriz agua sólo contenían los sólidos de las gomas, el edulcorante y las harinas, lo cual se ve reflejado en los °Bx

En cuanto al índice de refracción (IR) que se relaciona directamente con el contenido de sólidos en la mezcla. En todas las formulaciones, el IR es mayor a 1 y cercano al IR del agua que es 1.333 (Cienytech, 2017), por lo que, en todas las formulaciones la luz viaja más rápido en el vacío que en las suspensiones.

El pH de las formulaciones matriz agua es ligeramente más ácido con respecto a las formulaciones con matriz de la bebida vegetal de arroz, debido al mayor porcentaje de mucílago agregado. La densidad también fue mayor para las formulaciones que tuvieron como matriz agua, por tener mayor porcentaje de goma guar, mucílago y pectina.

**Tabla 8.** Caracterización fisicoquímica de las formulaciones en dos matrices diferentes

Formulación	Matriz: bebida vegetal de arroz				Matriz: agua			
	°Bx	IR	pH	Densidad (g/mL)	°Bx	IR	pH	Densidad (g/mL)
1	18.0 ±0.0	1.360 ±0.0004	4.98 ±0.5	1.0289 ±0.0016	15.8 ±0.0	1.357 ±0.0000	4.95 ±0.065	1.0846 ±0.0022
2	17.0 ±0.0	1.359 ±0.0004	4.97 ±0.1	1.0270 ±0.0023	15.0 ±0.0	1.355 ±0.0004	5.00 ±0.035	1.0816 ±0.0010
3	16.0 ±0.6	1.356 ±0.0005	4.90 ±0.5	1.0223 ±0.0007	14.5 ±0.1	1.355 ±0.0003	4.88 ±0.005	1.0746 ±0.0051
4	16.3 ±0.3	1.357 ±0.0001	4.42 ±0.5	1.0509 ±0.0003	13.7 ±0.1	1.353 ±0.0002	4.79 ±0.015	1.0800 ±0.0007
5	16.8 ±0.4	1.359 ±0.0003	4.33 ±0.0	1.0240 ±0.0099	14.3 ±0.1	1.354 ±0.0002	4.90 ±0.14	1.0794 ±0.0048
6	15.8 ±0.4	1.357 ±0.0002	4.42 ±0.5	1.0230 ±0.0005	14.4 ±0.0	1.354 ±0.0001	4.68 ±0.06	1.0728 ±0.0007
7	17.7 ±0.1	1.360 ±0.0003	4.42 ±0.1	1.0255 ±0.0036	15.7 ±0.1	1.357 ±0.0003	4.98 ±0.01	1.0702 ±0.0033
8	16.5 ±0.1	1.358 ±0.0001	4.44 ±0.1	1.0275 ±0.0047	14.4 ±0.0	1.355 ±0.0003	5.01 ±0.01	1.0745 ±0.0043
9	16.0 ±0.4	1.358 ±0.0004	4.45 ±0.5	1.0276 ±0.0037	14.0 ±0.0	1.354 ±0.0001	4.75 ±0.01	1.0724 ±0.0036

### 5.5 Distribución del tamaño de las partículas.

El análisis de distribución de tamaño de las partículas determinó la homogeneidad de las diferentes formulaciones. En la Tabla 9 se muestran los resultados obtenidos expresados los valores en Dx (10), Dx (50) y Dx (90).

Se observa que todas las formulaciones son homogéneas debido a que se realizó un tamizado en una malla #80 (equivalente métrico de 180 µm) de las harinas de las legumbres y del pseudocereal con el fin de obtener tamaños de partícula menores y homogéneos para lograr una suspensión adecuada en las matrices líquidas.

La distribución de tamaño de partícula en todas las formulaciones concuerda con lo esperado. Los valores de Dx (90), van de 167-179  $\mu\text{m}$ , y hay un mayor porcentaje de partículas con dicho tamaño en toda la suspensión (ver Anexo 2), lo que se asocia a las harinas de legumbres y del pseudocereal, debido al tratamiento previo de tamizado con lo que se obtuvieron partículas mayormente homogéneas.

**Tabla 9.** Dx (10), Dx (50) y Dx (90) para cada formulación en dos matrices diferentes

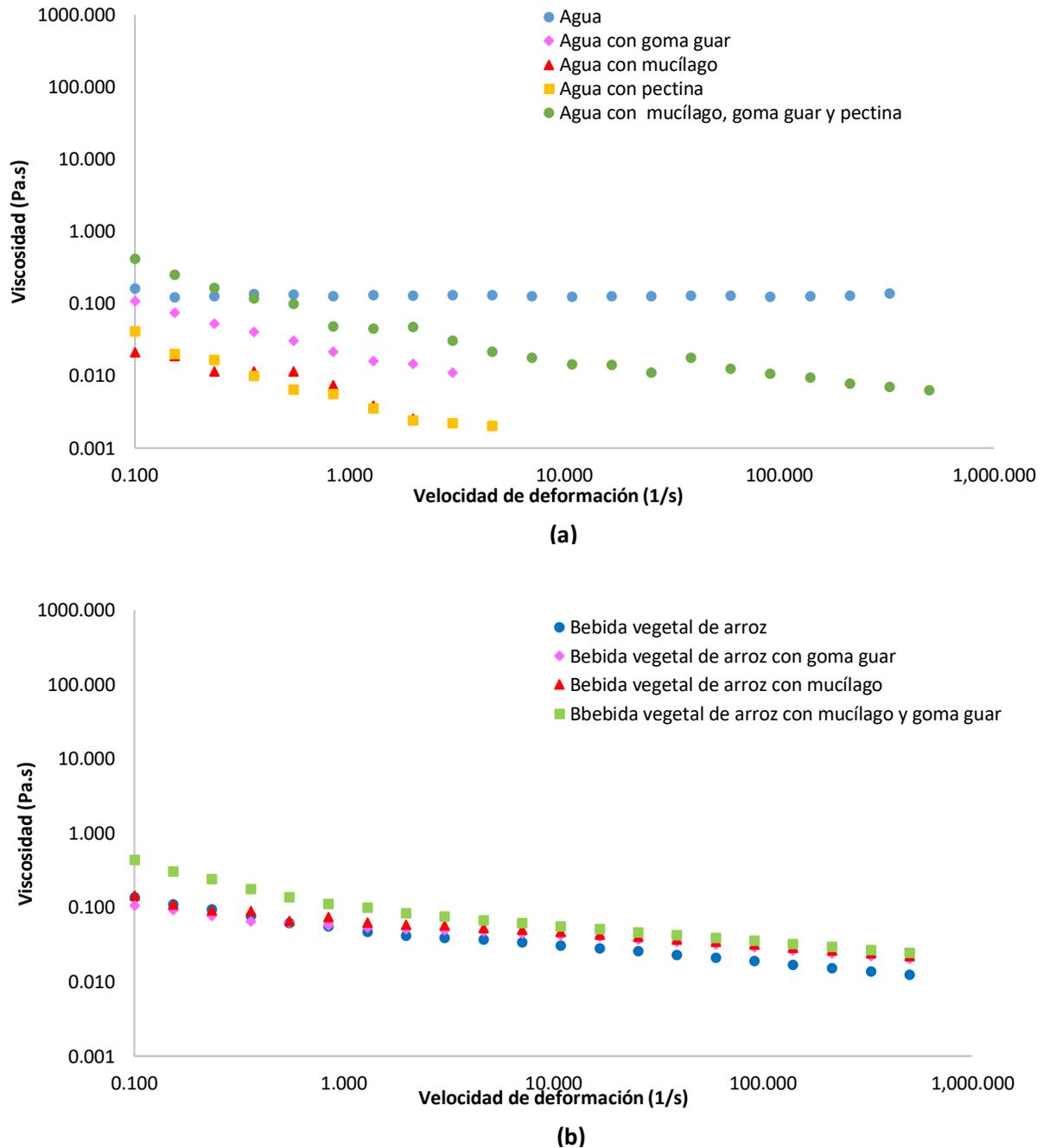
Formulación	Matriz: bebida vegetal de arroz			Matriz: agua		
	Dx (10) ( $\mu\text{m}$ )	Dx (50) ( $\mu\text{m}$ )	Dx (90) ( $\mu\text{m}$ )	Dx( 10) ( $\mu\text{m}$ )	Dx (50) ( $\mu\text{m}$ )	Dx (90) ( $\mu\text{m}$ )
1	5.8 $\pm$ 0	56.7 $\pm$ 0	153 $\pm$ 0	8.5 $\pm$ 0	82.4 $\pm$ 0	172 $\pm$ 0
2	5.3 $\pm$ 0	67.0 $\pm$ 0	149 $\pm$ 0	13.2 $\pm$ 0	82.3 $\pm$ 0	167 $\pm$ 0
3	5.9 $\pm$ 0	82.9 $\pm$ 0	170 $\pm$ 0	11.6 $\pm$ 0	82.9 $\pm$ 0	171 $\pm$ 0
4	10.2 $\pm$ 0	85.5 $\pm$ 0	171 $\pm$ 0	13.2 $\pm$ 0	87.6 $\pm$ 0	175 $\pm$ 0
5	5.6 $\pm$ 0	80.1 $\pm$ 0	167 $\pm$ 0	10.4 $\pm$ 0	91.3 $\pm$ 0	179 $\pm$ 0
6	7.8 $\pm$ 0	86.1 $\pm$ 0	167 $\pm$ 0	11.4 $\pm$ 0	91.2 $\pm$ 0	177 $\pm$ 0
7	4.2 $\pm$ 0	77.0 $\pm$ 0	179 $\pm$ 0	7.02 $\pm$ 0	67.9 $\pm$ 0	173 $\pm$ 0
8	7.7 $\pm$ 0	81.9 $\pm$ 0	170 $\pm$ 0	11.6 $\pm$ 0	86.0 $\pm$ 0	177 $\pm$ 0
9	9.9 $\pm$ 0	83.7 $\pm$ 0	167 $\pm$ 0	13.9 $\pm$ 0	87.1 $\pm$ 0	177 $\pm$ 0

## 5.6 Pruebas de estabilidad

### 5.6.1 Gomas

La Figura 9 muestra las curvas de viscosidad de las dos matrices y de las gomas adicionadas. El agua presentó un comportamiento newtoniano, pero cuando se agregó goma guar, mucílago, pectina o la combinación de las tres, el comportamiento fue reofluidizante representado por el índice de comportamiento de flujo ( $n < 1$ ) (Oliag, 2016) (ver Tabla 10), como es de esperarse en las soluciones con polímeros. En la tabla 10 se presentan los parámetros reológicos de los fluidos evaluados en este trabajo.

La bebida vegetal de arroz sin gomas añadidas como con goma guar, mucílago y una combinación de ambos presentan un comportamiento reofluidizante debido a que el arroz contiene almidón que es un polímero al igual que el mucílago y la goma guar. En la Tabla 10 se presentan los parámetros reológicos de estos fluidos.



**Figura 9.** Curvas de viscosidad de tres diferentes gomas. **(a)** matriz de agua y **(b)** bebida de arroz.

La Tabla 10 muestra que la matriz agua y la bebida de arroz con la mezcla de las gomas añadidas tuvieron los índices de consistencia ( $k$ ) más elevados en comparación con el resto, esto indica que las matrices con la mezcla de las gomas son más viscosas comparadas con las matrices sin gomas o añadiendo cada goma por separado debido al aumento en la concentración de sólidos.

Para conocer el efecto significativo en la consistencia de la bebida por la incorporación de las gomas, se realizaron dos análisis de varianza (ver Anexo 3), uno por cada matriz. Para el caso de la matriz agua, se compararon los índices de consistencia de la goma guar, del mucílago, de la pectina y de la mezcla de las tres gomas, mientras que para la matriz de la bebida de arroz se compararon los índices de consistencia de la bebida vegetal sin gomas, con goma guar, con mucílago y con la combinación de ambas. Los dos ANOVAS proporcionaron diferencia significativa y la presencia de las gomas tuvo un efecto significativo en la consistencia de las bebidas, lo cual justifica la utilización de las tres gomas para la matriz agua y dos gomas en el caso de la matriz de la bebida de arroz.

Las dos matrices con la mezcla de las gomas tuvieron una mayor  $k$  y por tanto mayor viscosidad, ya que un aumento de  $k$  indica un aumento en la concentración de sólidos o una disminución del tamaño de las partículas, lo que resultó en dispersiones con mayor estabilidad; por esta razón se justifica la utilización de las tres gomas en el caso de la matriz agua y las dos gomas en el caso de la matriz de la bebida vegetal de arroz.

**Tabla 10.** Parámetros reológicos de los fluidos evaluados en este trabajo

	$k$	$n$	$R^2$
<b>Agua con goma guar</b>	0.0210±0.0001 <sup>a</sup>	0.665±0.0453	0.9898±0.9030
<b>Agua con mucílago</b>	0.0052±0.0009 <sup>a</sup>	0.673±0.1189	0.9082±0.2426
<b>Agua con pectina</b>	0.0049±0.0007 <sup>a</sup>	0.789±0.0883	0.9681±0.0645
<b>Agua con mucílago, pectina y goma guar</b>	0.0687±0.0190 <sup>b</sup>	0.446±0.0908	0.9117±0.0613
<b>Bebida vegetal de arroz</b>	0.0582±0.0006 <sup>a</sup>	0.264±0.0064	0.9737±0.0064
<b>Bebida vegetal de arroz con goma guar</b>	0.0585±0.0037 <sup>a</sup>	0.162±0.0106	0.9835±0.0105
<b>Bebida vegetal de arroz con mucílago</b>	0.0676±0.0067 <sup>a</sup>	0.170±0.0276	0.9838±0.0214
<b>Bebida vegetal de arroz con mucílago y goma guar</b>	0.1097±0.0275 <sup>b</sup>	0.255±0.0580	0.9622±0.0230

Medias del índice de consistencia ( $k$ ) en cada una de las matrices con la misma letra no tienen una diferencia estadística significativa ( $p>0.05$ ), prueba LSD.

## 5.6.2 Formulaciones

### 5.6.2.1 Flujo

Todas las formulaciones en ambas matrices tuvieron un comportamiento reofluidizante ( $n < 1$ ) (Tabla 11). Las formulaciones 7 y 8 en base agua presentaron el mayor índice de consistencia por su mayor contenido de amaranto que actuó también como agente espesante, ya que presenta los dos tipos de almidón, aglutinante y no aglutinante, que le dan las características para espesar ciertos alimentos (Espitia, 2012). En el caso de la bebida de arroz, la formulación 2 presentó el mayor índice de consistencia debido al contenido de garbanzo, que también tiene propiedades espesantes, ya que contiene alrededor de 66.3% de carbohidratos de los cuales aproximadamente 50% son almidón (Aguilar y Vélez, 2013). La consistencia más viscosa por la mezcla de polisacáridos influye de manera determinante en las propiedades sensoriales y reológicas de los alimentos, principalmente mediante su capacidad de hidratación y gelatinización (Badui, 2006).

**Tabla 11.** Parámetros reológicos de las formulaciones

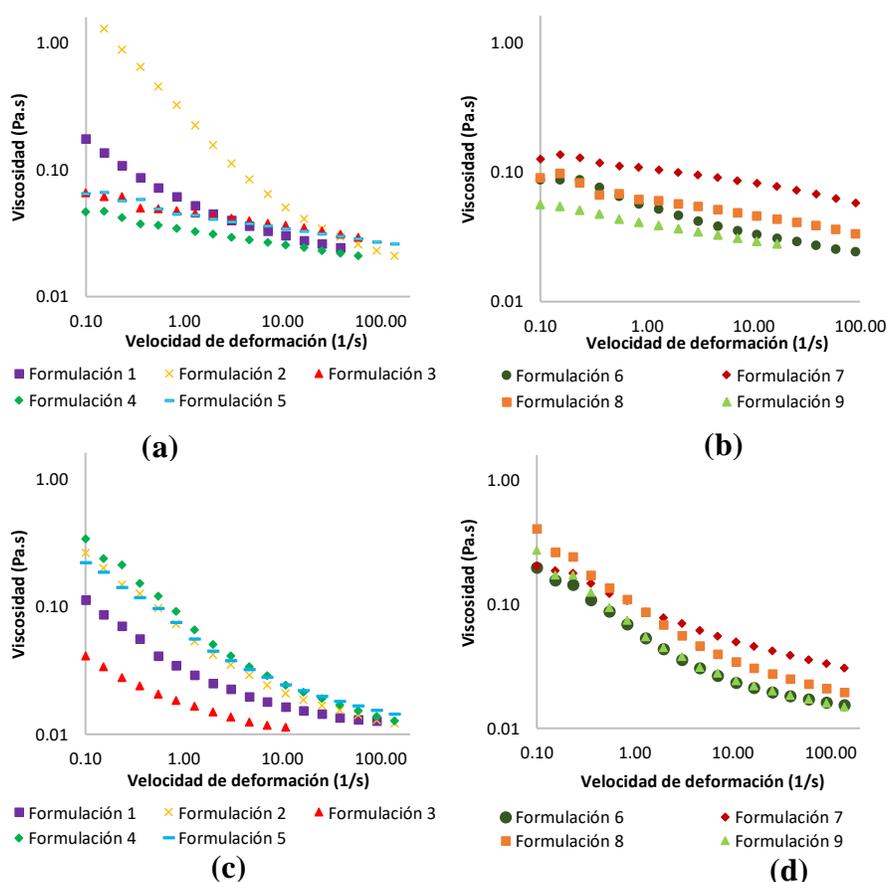
Formulación	Matriz: agua				Matriz: bebida vegetal de arroz			
	k	n	R <sup>2</sup>	$\eta_{\infty}$	K	n	R <sup>2</sup>	$\eta_{\infty}$
1	0.0305±0.0008 <sup>a</sup>	0.436±0.001	0.9962	0.0181±0.0002	0.0562 ±0.0001 <sup>a</sup>	0.527 ±0.001	0.9903	-
2	0.0648±0.0001 <sup>b</sup>	0.394±0.002	0.9952	0.021±0.0006	0.2771 ±0.0003 <sup>b</sup>	0.181 ±0.000	0.9998	-
3	0.0190±0.0005 <sup>c</sup>	0.729±0.001	0.9661	-	0.0478 ±0.0023 <sup>c</sup>	0.880 ±0.015	0.9807	-
4	0.0794±0.0001 <sup>d</sup>	0.371±0.004	0.9948	0.0217±0.00010	0.0344 ±0.0010 <sup>d</sup>	0.873 ±0.005	0.9875	-
5	0.0663±0.0008 <sup>c</sup>	0.469±0.003	0.9951	0.0237±0.0015	0.0474 ±0.0020 <sup>b</sup>	0.871 ±0.017	0.9771	-
6	0.0639±0.0012 <sup>ac</sup>	0.573±0.012	0.9723	0.0235±0.0001	0.0565 ±0.0001 <sup>b</sup>	0.792 ±0.009	0.9815	-
7	0.1029±0.0013 <sup>e</sup>	0.646±0.013	0.9854	0.0379±0.0002	0.1053 ±0.0003 <sup>e</sup>	0.877 ±0.006	0.9774	-
8	0.1002±0.0017 <sup>a</sup>	0.646±0.020	0.9923	0.0285±0.0013	0.0641 ±0.0004 <sup>e</sup>	0.855 ±0.012	0.9757	-
9	0.0656±0.0021 <sup>cd</sup>	0.403±0.001	0.9787	0.0239±0.0009	0.0406 ±0.0015 <sup>b</sup>	0.858 ±0.008	0.9956	-

Medias del índice de consistencia ( $k$ ) en cada una de las matrices con la misma letra no tienen una diferencia estadística significativa ( $p > 0.05$ ), prueba LSD.

Para comparar las  $k$  de las nueve formulaciones en cada una de las matrices, Se realizó un análisis de varianza (ver Anexo 5 y 6, Tabla 11) para la matriz agua, formando 4 grupos: formulaciones 1, 6 y 8 (1° grupo); 3, 5, 6 y 9 (2° grupo); 4 y 9 (3° grupo) y la 2 (4° grupo). Para la bebida de arroz se forman 5 grupos: formulaciones 2, 5, 6 y 9 (1° grupo); 7 y 8 (2° grupo); 1, 3 y 4 (3°, 4° y 5° grupo respectivamente). Las diferencias significativas observadas

se asocian a la matriz utilizada, la cantidad y tipo de proteína vegetal agregada a cada formulación. La formulación 7 en ambas matrices presentó el índice de consistencia más alto, debido a que contiene 7g de harina de amaranto cuyas propiedades aglutinantes y espesantes hacen que tengan mayor viscosidad.

En la Figura 10 se observa que las formulaciones con bebida vegetal de arroz como base obedecieron a la Ley de Potencia, debido a la presencia del almidón de la matriz. En cambio, las formulaciones con matriz agua, con excepción de la formulación 4, se adecuaron al modelo de Sisko, lo cual quiere decir que el fluido es reofluidizante a bajas velocidades de deformación y se vuelve newtoniano a velocidades de deformación mayores a  $100 \text{ s}^{-1}$  (Soto, 2015).



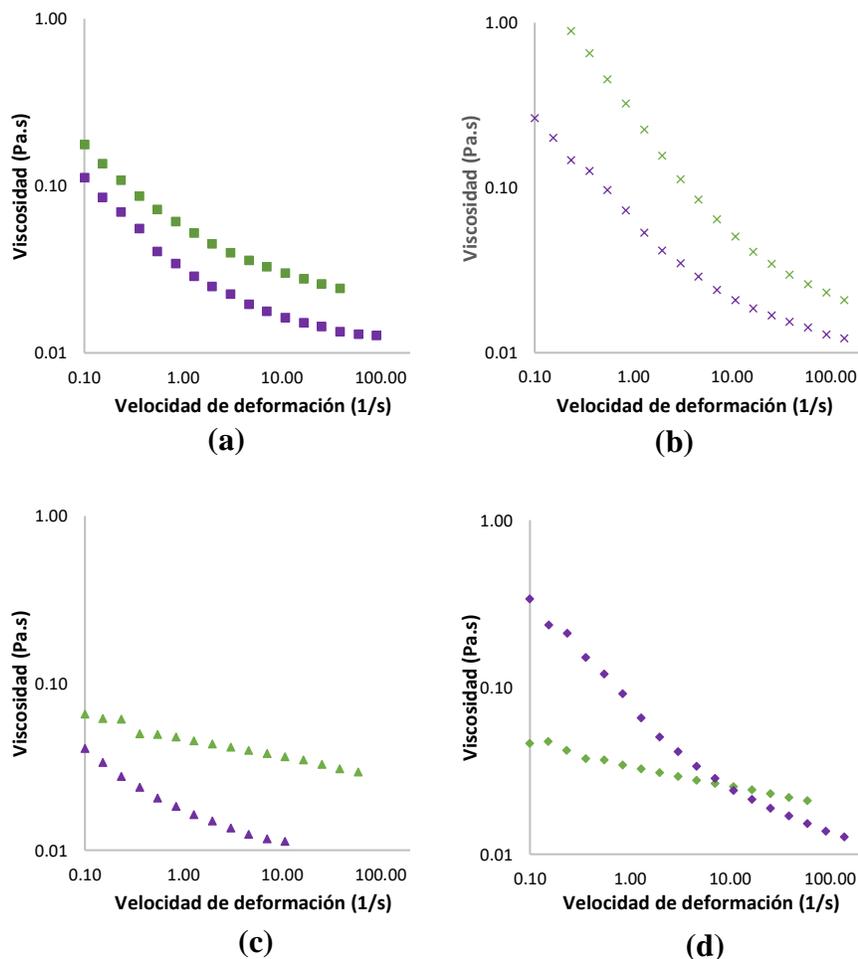
**Figura 10** (a) y (b) Curvas de viscosidad de las formulaciones que tuvieron como matriz agua, (c) y (d) Curvas de viscosidad de las formulaciones que tuvieron como matriz una bebida vegetal de arroz.

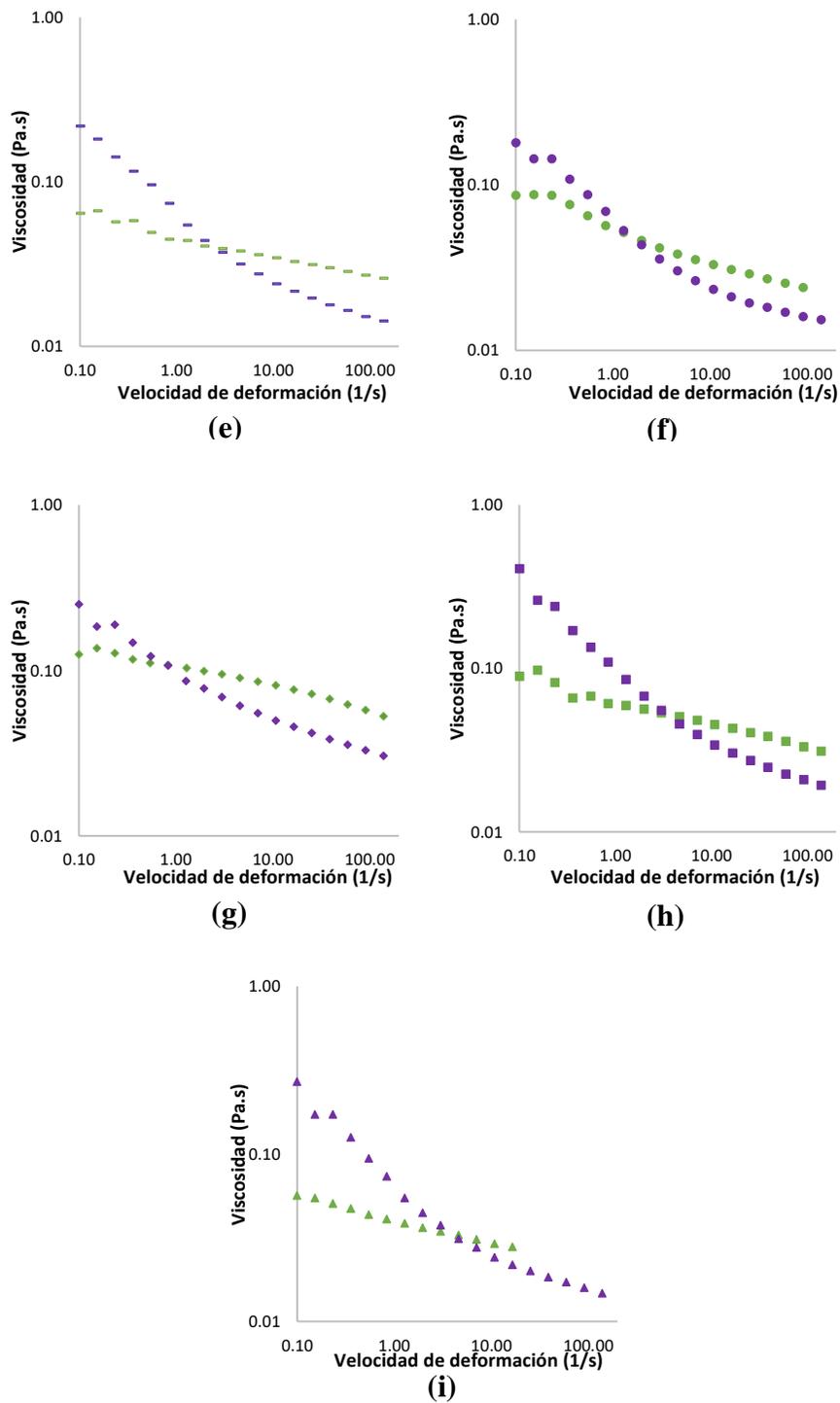
Se observa que las formulaciones 1, 2 y 3 (Figura 10a, 10b y 10c) de la bebida de arroz presentan mayor viscosidad con respecto a las formulaciones de matriz agua, debido a que

las tres formulaciones contienen en cantidad similar harinas de amaranto y garbanzo, estas dos fuentes de proteína suelen espesar las bebidas que las contengan haciéndolas más viscosas, pero en el caso de la bebida de arroz, hay mayor concentración de almidón, incrementando la consistencia de las bebidas.

Las formulaciones 4 a 9 (Figura 11d-11i) con matriz agua, fueron más viscosas con respecto a las formulaciones de arroz, debido al porcentaje y mezcla de mucílago (4%), pectina y goma guar (0.1%).

Las formulaciones elaboradas con la matriz de arroz presentaron mayor viscosidad con respecto a las formulaciones con matriz agua (Figura 11). La viscosidad dependió de la fuente y concentración de la proteína (harina de legumbres y del pseudocereal), la interacción con el almidón del arroz y con las gomas. Cabe señalar que la cantidad de almidón que contienen es diferente: para el amaranto es de entre 50-60% (Espitia, 2012), para el garbanzo es de alrededor de 50% (Aguilar y Vélez, 2013), para la lenteja es de alrededor de 46.6% (Costa et al, 2006) y para el haba, alrededor de 45% (Cristóbal et al, 2007).





**Figura 11.** Curvas de viscosidad. Los puntos en color morado y verde corresponden a las formulaciones en las matrices de agua y de la bebida vegetal de arroz, respectivamente. (a) Formulación 1; (b) Formulación 2, (c) Formulación 3; (d) Formulación 4; (e) Formulación 5, (f) Formulación 6, (g) Formulación 7, (h) Formulación 8 e (i) Formulación 9.

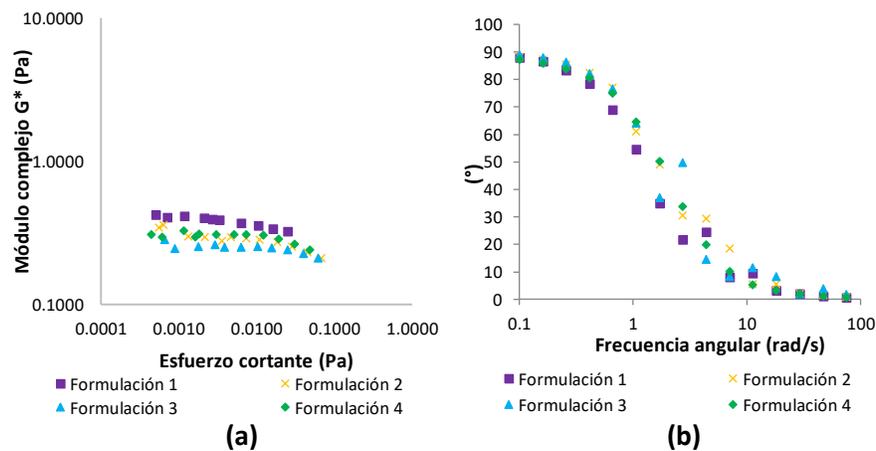
### 5.6.2.2 Módulos dinámicos

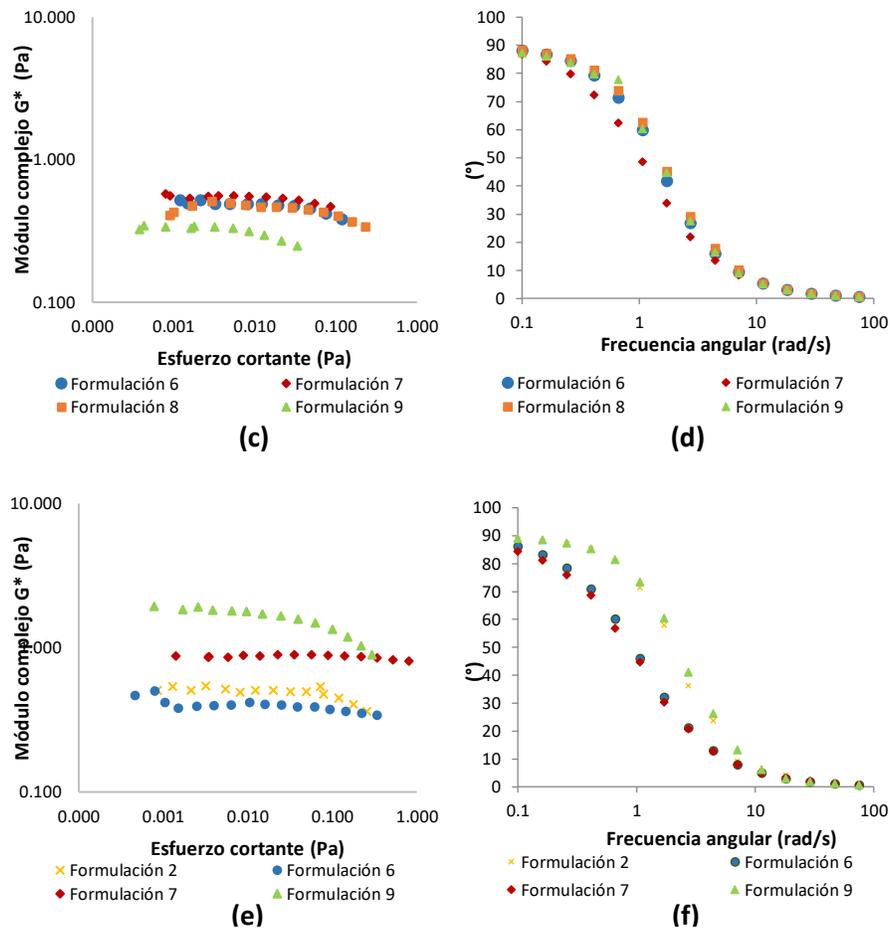
Las curvas de amplitud se presentan en el Anexo 7. Con excepción de la formulación 5, todas las formulaciones con matriz agua y las formulaciones 2, 6, 7 y 9 de la bebida de arroz presentaron viscoelasticidad (fluidos que se comportan como sólidos y como líquidos, Soto, 2015) aunque  $G'' > G'$ , lo que implica que son fluidos más viscosos que elásticos y el esfuerzo y la deformación están en desfase.

La propiedad viscoelástica de las formulaciones con la matriz agua se asocia a la goma guar, pectina y mucílago, mientras que las formulaciones de bebida de arroz, es por la sinergia entre el almidón del arroz, amaranto garbanzo, la goma guar y el mucílago.

En la figura 12 se presentan los módulos complejos de las formulaciones con viscoelasticidad. Todas las formulaciones presentan un módulo complejo característico de geles rígidos y un punto de fluencia característico de geles débiles. En la Figura 12a y 12c se observa el módulo complejo de las formulaciones con matriz agua, donde la formulación 3 es un sistema más suave y débil, por tener la misma proporción de amaranto, lenteja y garbanzo mientras que la formulación 7, es un sistema más rígido y fuerte por el mayor contenido de amaranto.

Para las formulaciones de la bebida de arroz (Figura 12e), la 6 fue la más débil y la 9 la más rígida, por tener mayor cantidad de lenteja.





**Figura 12.** A la izquierda curva de modulo complejo, a la derecha ángulo de desfase. (a), (b), (c) y (d) Formulaciones que tienen como matriz agua, (e) y (f) Formulaciones que tienen como matriz una bebida de arroz.

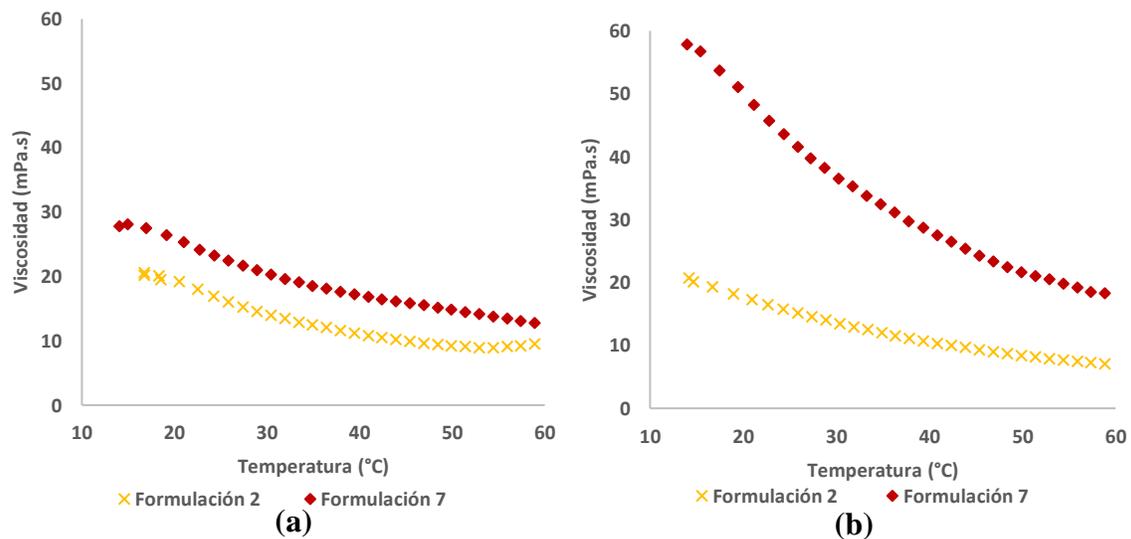
Los barridos de frecuencia muestran el tipo de gel de cada formulación: se puede establecer que si el valor del ángulo está comprendido entre  $0^\circ$  y  $45^\circ$ , el fluido es un sólido elástico y de  $45^\circ$  a  $90^\circ$  es un líquido viscoso (Lugo, 2014). Observando la Figura 12b, 12d y 12f, todas las formulaciones se comportan como líquido viscoso a bajas frecuencias, pero al incrementar la frecuencia se observa un comportamiento de un sólido elástico. La concentración de proteína vegetal determina la transición del gel. A mayor porcentaje de proteína, una mayor frecuencia angular para la transición del gel.

La selección de las formulaciones a evaluar por consumidores fue eligiendo los sistemas más suaves y débiles: 2 y 7 de la matriz con agua y de la bebida de arroz, lo que dio un total de cuatro formulaciones.

### 5.7 Pruebas de estabilidad a la temperatura

Se les realizaron pruebas de estabilidad a la temperatura, en la Figura 13 se presentan las curvas de las cuatro formulaciones seleccionadas. En todas, conforme aumenta la temperatura disminuye la viscosidad, comportamiento típico de líquidos debido a la actividad molecular y de la cohesión (Duarte y Niño, 2004). La formulación que tuvo una mayor viscosidad fue la formulación 7 y la de menor viscosidad fue la formulación 2, para ambas matrices.

Para conocer si existía una diferencia se realizó una *t de student* (ver Anexo 8) en donde se indica que existe diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre las dos formulaciones de cada matriz en el intervalo de temperatura de 15°C a 60°C.



**Figura 13.** Dependencia de la viscosidad con la temperatura. **(a)** Formulaciones que tuvieron como matriz agua y **(b)** Formulaciones que tuvieron como matriz una bebida vegetal de arroz.

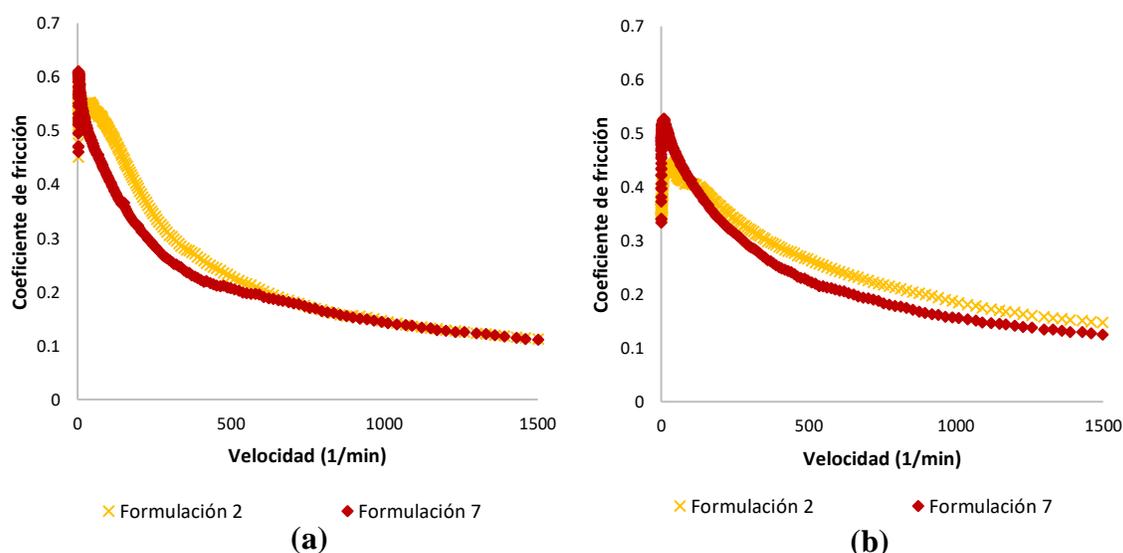
### 5.8 Tribología

En la Figura 14 se muestra la curva de Stribeck (coeficiente de fricción en función de la velocidad de deslizamiento) para las formulaciones seleccionadas,

Paras las formulaciones con matriz agua, la *t de studet* (ver Anexo 9) no encontró diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) entre los coeficientes de fricción. En ambas formulaciones, la fricción, el desgaste y la lubricación son iguales, debido a la distribución homogénea del tamaño de

las partículas presentes en las muestras (167 $\mu\text{m}$  para la formulación 2 y 173 $\mu\text{m}$  para la formulación 7).

En el caso de la bebida de arroz, la matriz funciona como como lubricante. La *t de student* (ver Anexo 9), encontró diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre los coeficientes de fricción. Por tanto, la fricción, el desgaste y la lubricación son diferentes para cada una de las dos formulaciones. La de menor coeficiente de fricción fue la formulación 2, debido a que el tamaño de partícula fue de 149  $\mu\text{m}$  mientras que la formulación 7 tuvo el mayor coeficiente de fricción con un tamaño de partícula de 179  $\mu\text{m}$ . Aunque ambas formulaciones son homogéneas, las partículas del arroz no tuvieron un tratamiento previo para homogenizar su tamaño.



**Figura 14.** Curva de Stribeck. (a) Formulaciones que tuvieron como matriz agua y (b) Formulaciones que tuvieron como matriz una bebida vegetal de arroz

### 5.9 Análisis microbiológico

De acuerdo con la Tabla 12, se observa que las cuatro formulaciones tanto en el día 1 como en el día 7 cumplieron con los límites establecidos en la normatividad vigente (ver fotos en Anexo 10). Sin embargo, en la primera prueba todas las formulaciones en el día 1 y en el día 7, las unidades formadoras de colonias (UFC) fueron incontables, por lo que se realizó un control de materias primas y de material para saber qué era lo que contaminaba las muestras. La harina de lenteja ocasionó la contaminación. Para reducir la carga inicial microbiana, la harina de lenteja se sometió a un proceso de irradiación ultravioleta por 1.5 h (dosis UV,

24mJ/cm<sup>2</sup>), la radiación UV produce cambios fotoquímicos, cuyos efectos pueden variar según la especie de microorganismo que se trate. El mecanismo de acción letal depende de su absorción por el ADN, pudiendo detener el crecimiento celular y provocar la muerte, esta técnica no afecta las propiedades organolépticas de los productos y se reduce el uso de sustancias químicas (Domínguez y Parzanese, 2011), además, para evitar la contaminación microbiana, se deben cuidar condiciones tales como la humedad, la temperatura y el tiempo de almacenamiento, los cuales son controles críticos, así como también el control higiénico de los equipos. (Downes e Ito, 2001).

Finalmente, se logró que las formulaciones cumplieron con buenas prácticas de manufactura y con la normatividad vigente.

**Tabla 12.** Unidades formadoras de colonias (UFC) en cuatro formulaciones del día 1 y 7

		Hongos y levaduras			Mesófilos aerobios			Enterobacterias			
		Dilución	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>
Día 1	Matriz agua	Formulación 2	<10	<10	<10	<25	<25	<25	Ausente	Ausente	Ausente
		Formulación 7	<10	<10	<10	<25	<25	<25	Ausente	Ausente	Ausente
	Matriz de la bebida vegetal de arroz	Formulación 2	<10	<10	<10	<25	<25	<25	Ausente	Ausente	Ausente
		Formulación 7	<10	<10	<10	<25	<25	<25	Ausente	Ausente	Ausente
Día 7	Matriz agua	Formulación 2	<10	<10	<10	<25	<25	<25	Ausente	Ausente	Ausente
		Formulación 7	<10	<10	<10	<25	<25	<25	Ausente	Ausente	Ausente
	Matriz de la bebida vegetal de arroz	Formulación 2	<10	<10	<10	<25	<25	<25	Ausente	Ausente	Ausente
		Formulación 7	<10	<10	<10	<25	<25	<25	Ausente	Ausente	Ausente

### 5.10 Análisis Químico Proximal

En la Tabla 13 se muestran los resultados del análisis químico proximal obtenido para las cuatro formulaciones. Según la NOM-086-SSA1-1994 declara que para los límites mínimos y máximos permitidos para la adición, fortificación y enriquecimiento de alimentos y bebidas no alcohólicas será del 5 al 100% por porción de la ingestión diaria recomendada o IDR (ver Tabla 14), siempre y cuando el aporte del nutrimento en las condiciones normales o usuales de consumo no sobrepase la IDR. Los cálculos teóricos indican que las formulaciones cubren el 5% de la IDR para personas de entre 50 y 60 kg, que según la Tabla 14 su IDR de proteínas sea de entre 0.83 a 1 g/kg/día, considerando porciones de 250 mL. En el caso de las mujeres embarazadas la IDR de proteínas adicional se cubre entre un 51.25 y un 28% en el 2° y 3°

trimestre respectivamente con la formulación 2 con la matriz de bebida vegetal de arroz, las tres restantes formulaciones también cubren la IDR adicional para mujeres embarazadas en estos trimestres en menor proporción. Como se puede observar en la Tabla 13, el porcentaje de proteína fue mayor en aquellas dos formulaciones que tuvieron como matriz la bebida vegetal de arroz, esto es porque el arroz posee alrededor de 6.29 g de proteína por cada 100 g de fracción comestible (Miranda et al, 2015) por lo que se esperaba que el porcentaje proteico fuera mayor en esas formulaciones con respecto a las que tuvieron como matriz agua. Así mismo las formulaciones se compararon con una bebida comercial con proteína (Bebida del Valle nutri vegetales) y se observó que las cuatro formulaciones desarrolladas contienen alrededor del doble de la cantidad de proteína que la bebida comercial (Tabla 15), esta última no alcanza a cubrir al menos el 5% de la IDR en ninguna de las etapas de crecimiento, pero sí logra cubrir la IDR adicional de proteínas para mujeres embarazadas en un 23 y un 12.8% en el 2° y 3° trimestre respectivamente.

La cantidad de cenizas y de fibra correspondiente a cada una de las formulaciones se justifica debido al origen de las legumbres y el pseudocereal utilizado.

**Tabla 13.** Análisis químico proximal de cuatro formulaciones en base húmeda

Parámetro	Matriz agua		Matriz bebida vegetal de arroz	
	Formulación 2	Formulación 9	Formulación 2	Formulación 9
Humedad (%)	83.66	82.65	81.59	80.43
Proteína cruda (Nitrógeno*6.25) (%)	1.02	1.08	1.23	1.18
Cenizas (%)	1.53	1.34	1.08	2.52
Fibra cruda (%)	1.16	1.22	0.09	0.83
Extracto libre de nitrógeno (%)	0.01	0.02	0.04	0.04
Extracto etéreo (%)	12.61	13.69	15.20	15.00

**Tabla 14.** Recomendaciones de ingestión diaria de proteínas para la población mexicana.  
*Copyright 2015. Publicado por el Instituto Nacional de la Nutrición "Salvador Zubirán"*

Edad	Ingesta diaria recomendada g/kg peso corporal/día	
Niños	0-6 meses	2.00
	6-12 meses	1.10
	1-2 años	1.00
	2-3 años	1.00
	3-4 años	1.00
	5-8 años	1.00
Hombres	9-13 años	1.00
	14-18 años	0.95

<b>Mujeres</b>	19-30 años	0.83
	31-50 años	0.83
	51-60 años	0.83
	61-70 años	1.00
	70 y más años	1.00
<b>Embarazadas</b>	9-13 años	0.95
	14-18 años	0.85
	19-30 años	0.83
	31-50 años	0.83
	51-60 años	0.83
	61-70 años	1.00
	70 y más años	1.00
	1° trimestre	1.00
	2° trimestre	+6.00 g
	3° trimestre	+11.00 g

**Tabla 15.** Comparación de las cuatro formulaciones desarrolladas contra una bebida comercial

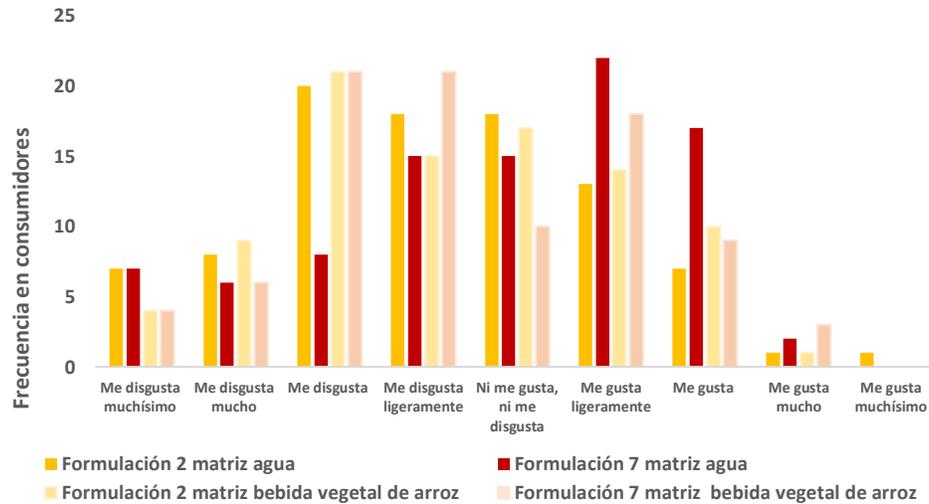
Parámetro	Matriz agua		Matriz bebida vegetal de arroz		Bebida del Valle <sup>®</sup> nutri vegetales
	Formulación 2	Formulación 9	Formulación 2	Formulación 9	
Proteína en 250 mL de bebida (g)	2.55	2.70	3.08	2.95	1.40

## 5.11 Evaluación sensorial

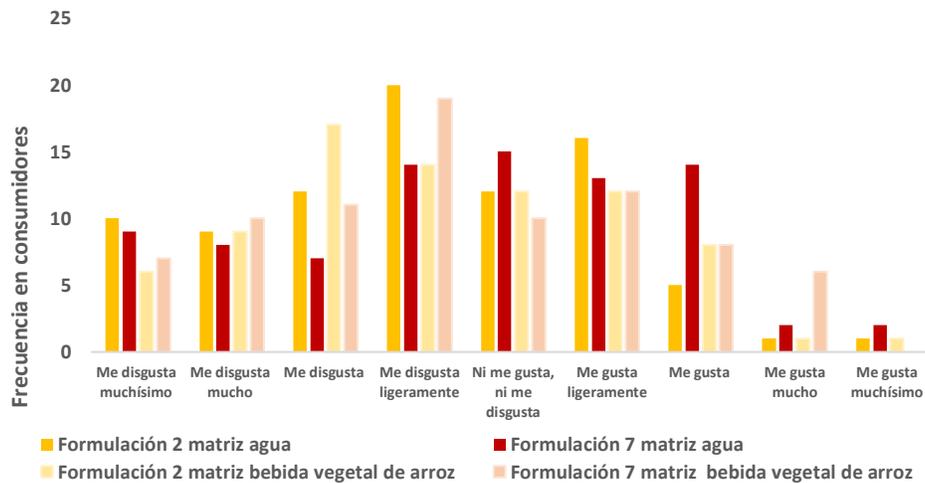
Las cuatro formulaciones fueron sometidas a una evaluación sensorial para poder determinar cuál de ellas era la que el consumidor consideraba que contaba con las características sensorialmente aceptables.

### 5.11.1 Agrado en general y de sabor

De acuerdo con los resultados obtenidos del estudio, se realizó un análisis de varianza para el nivel de agrado en general y de sabor (ver Anexo 11) en donde se muestra que ninguna formulación presentó diferencia significativa ( $p > 0.05$ ), para ninguna de las dos variables. Para el agrado en general, la media fue de entre 4.0 y 4.6, mientras que, para el nivel de agrado en sabor, entre muestras, la media fue de entre 4.1 y 4.8, lo que indica que las formulaciones les disgustaron ligeramente. La frecuencia de los consumidores para el nivel de agrado en general y de sabor se muestra en la Figura 15a y 15b, respectivamente.



(a)



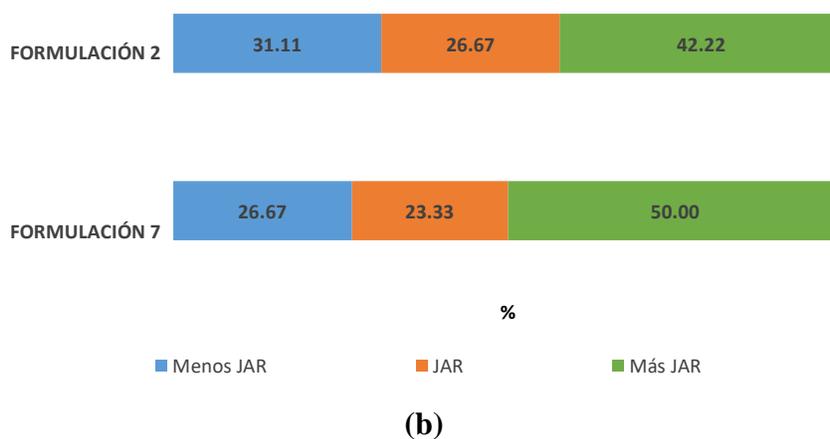
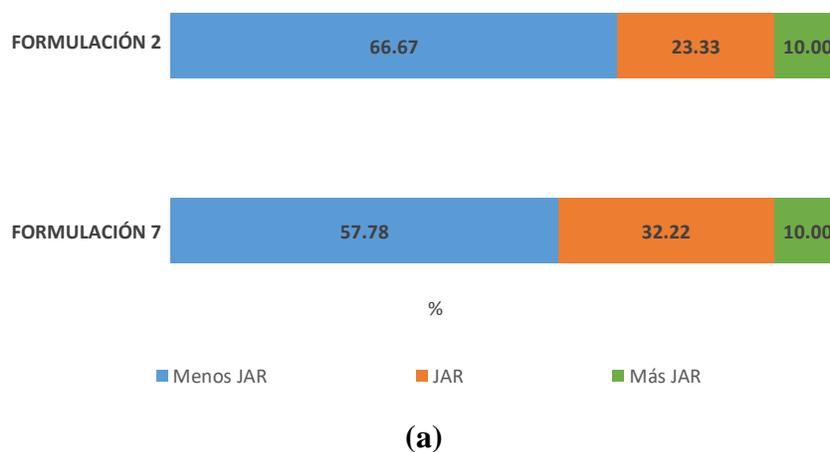
(b)

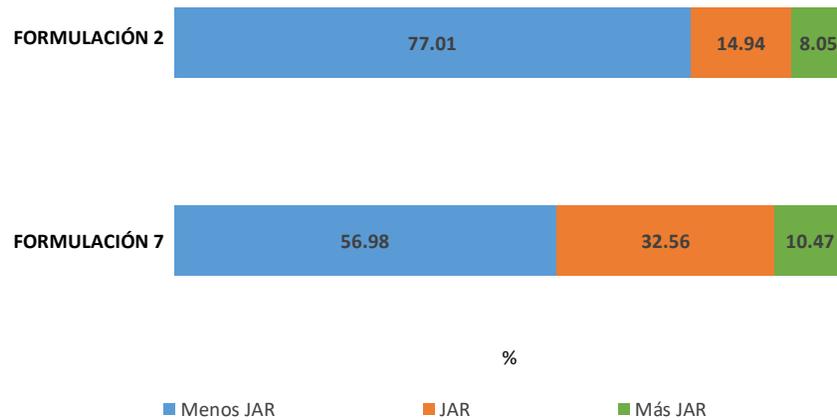
**Figura15.** Graficas de nivel de agrado en general (a) y nivel de agrado en sabor (b), para cuatro formulaciones en dos matrices diferentes.

### 5.11.2 Justo como lo esperaba (JAR)

De acuerdo con los resultados obtenidos de las pruebas JAR se realizaron tres análisis de varianza (ver Anexo 12) entre las formulaciones 2 y 7 con matriz agua, en donde se compararon los atributos de dulzor, acidez y sabor uva. Los resultados de las ANOVAS indican que no existe diferencia estadísticamente significativa ( $p > 0.05$ ) para los atributos de dulzor y acidez, y, obtuvieron un “menos JAR” y un “más JAR” respectivamente en la escala (ver Figura 16a y 16b), mientras que en el atributo de sabor uva si se presentó diferencia

significativa ( $p < 0.05$ ), percibiéndose en la escala con un “menos JAR” (Figura 16c). Es posible que no existiera diferencia entre las formulaciones en los atributos de dulzor y acidez, debido a que la cantidad de edulcorante y mucílago respectivamente, se añadieron en igual proporción. Para el atributo de sabor uva, la diferencia se debió a la cantidad en microlitros que se le agregaron de dicho saborizante que fue de 200  $\mu\text{L}$  o 0.2 mL y posiblemente la interacción de este saborizante frente a las dos formulaciones; ya que, el sabor uva está conformado por polisorbato 80 que es una mezcla parcial de ésteres de sorbitol y sus mono y dianhídridos con ácido oleico comestible y condensado con aproximadamente 20 moles de óxido de etileno por mol de sorbitol y sus anhídridos (Acuerdo de aditivos, 2012) y colorantes artificiales (Rojo 5, Rojo 3, Azul 1), lo que conlleva a que estas moléculas interactúan de diferente forma en cada una de las dos formulaciones.

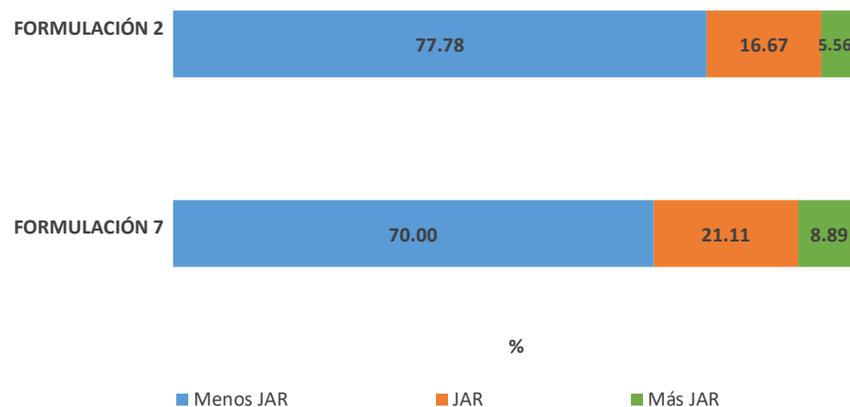




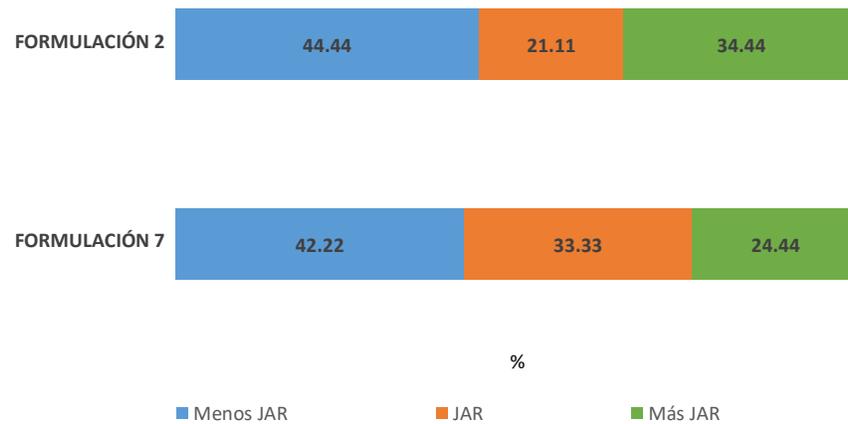
(c)

**Figura 16.** Gráficas de la prueba JAR de dos formulaciones en matriz agua. (a) Dulzor, (b) Acidez y (c) Sabor uva.

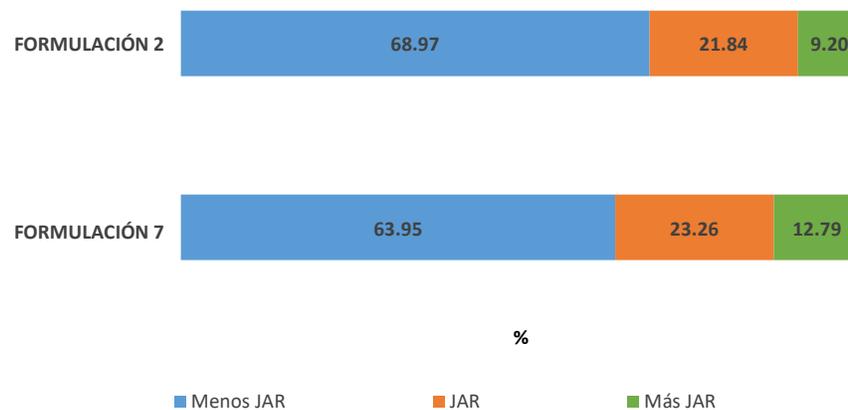
Por su parte, también se realizaron análisis de varianza entre las formulaciones 2 y 7 con la bebida de arroz (ver Anexo 12), en donde se observa que los tres atributos (dulzor, acidez y sabor mango) no presentaron diferencia significativa ( $p > 0.05$ ), y, los tres atributos obtuvieron un “menos JAR”, ver Figura 17a y 17b y 17c.



(a)



(b)



(c)

**Figura 17.** Gráficas de la prueba JAR de dos formulaciones en matriz de la bebida vegetal de arroz. (a)Dulzor, (b) Acidez y (c) Sabor mango.

Los comentarios predominantes en los cuestionarios pafueron aquellos en donde se mencionaba que a las formulaciones les hacía falta azúcar y sabor y que eran granulosas, por lo que, si se desea alcanzar una media mínima de 6 en la escala hedónica de nueve puntos que significa que el producto les gusta ligeramente, y una media mínima de 3 en la escala JAR que significa que el producto está justo como lo esperan, se sugiere reformular adicionando más edulcorante y saborizante, así como homogenizar las partículas de arroz para tener una bebida más tersa y agradable al paladar.

## 6. CONCLUSIONES

- Se logró desarrollar dos bebidas adicionadas con proteína vegetal de haba, garbanzo, lenteja y amaranto en una bebida de arroz y otra de agua, utilizando mucílago de nopal, goma guar y pectina como agentes estabilizantes.
- Se obtuvieron las materias primas con las características fisicoquímicas acorde con lo reportado previamente.
- Con un diseño de mezclas se obtuvieron diferentes formulaciones con distintas proporciones de harinas de legumbres y pseudocereal.
- El mucílago de nopal actuó como agente estabilizante a 3 y 4% dependiendo de la matriz utilizada. Mayores concentraciones de mucílago no son recomendables debido a que deja un resabio amargo muy notable que los edulcorantes con capacidad de enmascaramiento no pueden disminuir. También, se observó que el mucílago actúa en sinergia con la goma guar y la pectina, sin las cuales, las suspensiones sedimentan rápidamente y se vuelven inestables y poco agradables al consumo.
- Los fluidos con mucílago y gomas presentan un comportamiento no newtoniano, son suspensiones rígidas, poco fuertes pero viscosas por la presencia de proteína vegetal.
- Tanto el amaranto como el garbanzo actúan como agentes espesantes modificando en gran medida el comportamiento reológico de las formulaciones que los contienen en alta proporción.
- Aunque la viscosidad de las muestras cambia con respecto a la temperatura, no pierden homogeneidad.
- A mayor tamaño de partícula, mayor es la fricción de la bebida en la cavidad oral y menor es la eficiencia del lubricante (matriz).
- Se recomienda la reformulación en cuanto a sabor y tamaño de partícula para incrementar aceptación y agrado.

Este trabajo fue aceptado en el XVIII Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería, León, Guanajuato, México, 2019. (Anexo 13)

## 7. BIBLIOGRAFIA

Acuerdo por el que se determinan los aditivos y coadyuvantes en alimentos, bebidas y suplementos alimenticios, su uso y disposiciones sanitarias (2012). [http://www.salud.gob.mx/cdi/nom/compi/Acuerdo\\_aditivos\\_160712.pdf](http://www.salud.gob.mx/cdi/nom/compi/Acuerdo_aditivos_160712.pdf)

Aguilar V. y Veléz J., (20013). Propiedades nutricionales y funcionales del garbanzo (*Cicerarietinum*). Universidad de las Americas, Puebla.

AKTUMSEKA, A., ZENGINA, G., GULER, G.O., CAKMAKC, Y.S. and DURAN, A. Antioxidant potentials and anticholinesterase activities of methanolic and aqueous extracts of three endemic *Centaurea L.* species. *Food and Chemical Toxicology*, 55(1), 2013, p. 290–296

Alimentarios y Técnica. S.A de C.V, *La goma guar y su uso en alimentos*, pp. 7.

Arthur, M. H. (2002) Emerging microbiological food safety issues. *FoodTechnology*. 56: 48-51.

Barbana, C., y Boye, J. I. (2010). Angiotensin I-converting enzyme inhibitory activity of chickpea and pea protein hydrolysates. *Food Research International*, 43(6), 1642-1649.

Basáez R. L. 2009. ¿Qué es el pH?: Formas de medirlo. *Ciencia...Ahora* 23(12): 59-62

Bautista-Justo M., L. García-Oropeza, R. Salcedo-Hernández y L. A. Parra-Negrete. 2011. Azúcares en Agaves (*Agave tequilana* Weber) cultivados en el estado de Guanajuato. *Acta Universitaria*, Guanajuato, Gto. México. 11 (1): 34-35.

Becerril A. y Ballinas V. (17 de noviembre de 2017). *En México se desperdician al año 20.4 millones de toneladas de alimentos*. La jornada.

Benavente, O. (2012). *Alimentos funcionales*. Universidad de Murcia

Bhushan, B. (2013). *Friction Introduction to tribology* (pp. 199-271): John Wiley & Sons, Ltd.

Boye, J., Zare, F., & Pletch, A. (2010). Pulse proteins: Processing, characterization, functional properties and applications in food and feed. *Food research international*, 43(2), 414-431.

Butt, H.J., Graf, K., & Kappl, M. (2013). *Physics and chemistry of interfaces* (3rd ed.). Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag.

Calí M. (2010). Fructicultura y diversificación: A review: Análisis sensorial de los alimentos, 63(1)36-37

Casin, G., Heinrich E. y Spikes H.A. (2001). *Tribologyletters*, 11:95-102

Castillo Santos, K., Aguirre Alonso, R. O., Rodriguez Jimenes, G. C., Robles Olvera, V. J., Salgado Cervantes, M. A., & García Alvarado, M. A. (2016). An optimization based

algorithm for solving design problems of counter-current multistage batch solid–liquid extractors for complex systems: Application to vanilla extract. *Computers and Chemical Engineering*, 89, 53-61.

CENAM, (2017). ¿Por qué es importante medir la viscosidad? [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/cenam/articulos/por-que-es-importante-medir-la-viscosidad>

Centro de Investigación en Nutrición Animal (CINA), (2015). Laboratorio de química. [En línea]. Disponible en <http://www.cina.ucr.ac.cr/index.php/2015-10-28-20-54-43/laboratorio-de-quimica>

Chandra, N., Hegde, K., Dhillon, G. S., & Sarma, S. J. (2014). *Fruit based functional beverages: Properties and health benefits*. *Agricultura ResearchUpdates*, 7: 3467-

Chang, Raymond Química, 10ª ed McGraw-Hill, México, 2010.

Chen JS, Stokes JR. Rheology and tribology: two distinctive regimes of food texture sensation. *Trends Food Sci Tech* 2012; 25(1):4–12.

Chen, H. H., Hernandez, C. E., & Huang, T. C. (2005). A study of the drying effect on lemon slices using a closed-type solar dryer. *Solar Energy*, 78(1), 97-103.

Chojnicka, A. (2009). Tribology and sensory attributes of food dispersions. Utrecht University; pp. 7-12

Chojnicka-Paszun, A., de Jongh, H. H. J., & de Kruif, C. G. (2012). Sensory perception and lubrication properties of milk: Influence of fat content. *International Dairy Journal*, 26(1), 15-22

Cienytech. Recuperado el 04 de Diciembre de 2019, de <http://www.cienytech.com/tablas/Tabla-indices-refrac.pdf>

Conn GI, Hobbs JR, Munger SD, Nie Y, Vignes S. Distinct contributions of T1R2 and T1R3 taste receptor subunits to the detection of sweet stimuli. *CurrBiol* 2005; 15: 1948–1952.

Contreras Lozano, K. P., Ciro Velásquez, H. J., & Arango Tobón, J. C. (2019). Hidrocoloides como estabilizantes en bebidas de maíz dulce (*Zea mays* var. *saccharata*) y gel de aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller).

Contreras, E. et al (2011). Aumento del contenido proteico de una bebida a base de amaranto (*Amaranthushypochondriacus*), Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México, pp 322

Corbo, M. R., Bevilacqua, A., Petrucci, L., Casanova, F. P., & Sinigaglia, M. (2014). Functional Beverages: The Emerging Side of Functional Foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12109>

De Santos, R. M. (2010). Métodos rápidos y automatizados aplicados al análisis microbiológico de los alimentos. Monografías de la Real Academia Nacional de Farmacia.

- De Vicente, J., Stokes, J. R. y Spikes, H.A. (2005). *Tribology international*, 38:515-26+
- Dergal, Salvador. *Química de los alimentos*. Cuarta edición. Pearson Educación, México, 2006.
- Determinación del índice de refracción en líquidos. Recuperado de: [file:///C:/Users/User/Downloads/recursos archivos 70589 70589 478 recursos-archivos-70589-70589-157-capitulo-2-0418%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/recursos%20archivos%2070589%2070589%20478%20recursos-archivos-70589-70589-157-capitulo-2-0418%20(1).pdf)
- Determinación del índice de refracción en líquidos. Recuperado de: [file:///C:/Users/User/Downloads/recursos archivos 70589 70589 478 recursos-archivos-70589-70589-157-capitulo-2-0418%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/recursos%20archivos%2070589%2070589%20478%20recursos-archivos-70589-70589-157-capitulo-2-0418%20(1).pdf)
- DINESH COMPANY. (2001). *Guar Gum Properties*. India. Extraído del World Wide Web: [http:// www.dineshgum.com/index.htm](http://www.dineshgum.com/index.htm)
- Dominguez L. y Parzanese M, (2001). *Luz UV en la conservación de alimentos*. Alimentos Argentinos.
- Domínguez, M. R. L. (2007). *Guía para la evaluación sensorial de alimentos*. Instituto de Investigación Nutricional–IIN Consultora-AgroSalud.
- Downes F.P. e Ito K, (2001). *Compendium of Methods for the microbiological examination of foods*. 4ta Ed, APHA, Washington.
- DZIEZAK, J. D. (1991). A focus on gums. En: *Food Technology*. Vol. 45, No. 3, p. 117-120, 122-124, 126, 128, 130-132
- EFSA (2007) *The Community summary report on trends and sources of zoonoses, zoonotic agents, and antimicrobial resistance and foodborne outbreaks in the European Union in 2006*. The EFSA Journal. 130: 1-309.
- El Economista, (2016). *Producción y consumo de legumbres II*. [En línea] (Actualizado al 12 de octubre de 2018).
- Espitia, E. (2012). *Amaranto: ciencia y tecnología*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias Mejoramiento Genético de Cereales (Amaranto, Avena y Trigo) Celaya, Guanajuato, México. Editor Eduardo Espitia Rangel Libro Científico No. 2 [En línea]. Disponible en: <file:///C:/Users/User/Downloads/2012CapituloenlibroAMARANTO.pdf>
- EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LLUVIA Y SU POTABILIZACIÓN MEDIANTE EL USO DE LA DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULA NGRID ELIZABETH RUÍZ VELÁZQUEZ CIUDAD UNIVERSITARIA, CD.MX. AÑO 2020
- FAO (1993). *MANUAL DE TÉCNICAS PARA LABORATORIO DE NUTRICIÓN DE PECES Y CRUSTACEOS*, [En línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/AB489S/AB489S03.htm#ch3>

FAO (2000) CODEX ALIMENTARIUS. [En línea]. Disponible en: [http://www.fao.org/gsfaonline/docs/CXS\\_192s.pdf](http://www.fao.org/gsfaonline/docs/CXS_192s.pdf)

FAO (2016), *Legumbres, semillas nutritivas para un futuro sostenible*, [En línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i5528s.pdf>

FAO (2019) *Cultivos tradicionales*. [En línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/traditional-crops/amaranth/es/>

FAO. (2002). *Nutrición humana en el mundo en desarrollo* (Parte 1: Causas de la malnutrición). [En línea]. Disponible en <http://www.fao.org/3/w0073s/w0073s00.htm#Contents>

FAO. (2016). *Beneficios nutricionales de las legumbres*. [En línea]. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-i5384s.pdf>

Fernández, I.J. (2003), Polímeros en solución y aplicación de los polímeros en la industria petrolera, Revista Iberomaricana de Polímeros, 1-14.

FERNÁNDEZ-MIRANDA, C. La fibra dietética en la prevención del riesgo cardiovascular [en línea]. 2010. Disponible: [http://www.nutricion.org/publicaciones/revista\\_2010\\_02/NUTRICION-30-2.pdf](http://www.nutricion.org/publicaciones/revista_2010_02/NUTRICION-30-2.pdf).

Fontana, A. (1998). *Water activity: why it is important for food safety. Proceedings of the First NSF International Conference on Food Safety*. pp. 177-185.

García, J. C. (2008). *Fluidos viscosos*, Repositorio Institucional de la Universidad de Alicante, pp. 5.

García-Garibay, M. y López-Munguía, A. (1993). *Biotecnología Alimentaria*. Edición reimpresa. DF, Limusa.

Gomis, A. M. (2012). Estructura y Propiedades de los polímeros. In *Tecnología de polímeros. Procesado y propiedades* (p. 35). Universidad de Alicante. Servicio de Publicaciones.

González, G.J (2017). Análisis de la distribución de tamaños de partículas mediante difracción láser: aplicación para la mejora de mezclas de especies y aromas. Universidad politécnica de valencia. Escuela técnica superior de ingenieros industriales, Valencia. Trabajo fin de grado en Ingeniería Química.

Graybosch, R. A.; Peterson, C. J.; Shelton, D. R.; Baezinger, P. S. (1996). *Genotypic and environmental modification of wheat flour protein composition in relation to end-use quality*. *CropSci*. 36: 296-300.

Guinard, J.X., y Mazzucchelli R. (1996). La percepción sensorial de la textura y la sensación en la boca. *TrendsFoodSci Techno*, 7, págs. 213 - 219

<https://ciencia.unam.mx/leer/1262/el-don-del-almidon-la-particula-espesante>

<https://smbb.mx/congresos%20smbb/queretaro11/TRABAJOS/trabajos/III/carteles/CIII-71.pdf>

[https://www.incmnsz.mx/2019/TABLAS\\_ALIMENTOS.pdf](https://www.incmnsz.mx/2019/TABLAS_ALIMENTOS.pdf)

<https://www.scielo.org.mx/pdf/jbhsi/v3n2/v3n2a3.pdf>

<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/physical-activity>

Hunter, R. (2013). Zeta potential in colloid science: Principles and applications. In Colloids science. London: Academic Press ISBN 0-12-361960-2.

IESMAT (2019). Instrumentación específica de materiales, sector farmacéutico. [En línea]. Disponible en: <https://iesmat.com/wp-content/uploads/action-bt/1e40b358ba00553a7bbf30c55de5be3b/Iesmat%20Cat%C3%A1logo%20Farmac%C3%A9utico%20-%202019.pdf>

Institute of Food Technology (1975). Minutes of sensory evaluation. Chicago, IFT.

Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán (INCMNSZ). Ingestión Diaria Recomendada (IDR) de proteínas, vitaminas y nutrimentos inorgánicos para la población mexicana, 2001

IPPA. International Pectin Producers Association. (2001). Extraído del World Wide Web: [http://www.ippa.info/history\\_of\\_pectin.htm](http://www.ippa.info/history_of_pectin.htm)

J.H.H. Bongaerts, K.; Fortouni, J.R. y Stokes H.A. (2007) Tribology international, 40:1531-425

JS Chen, JR Stokes Reología y tribología: dos regímenes distintivos de sensación de textura de alimentos.

Kaleemullah, S., & Kailappan, R. (2005). Drying kinetics of red chillies in a rotary dryer. *Biosystems Engineering*, 92(1), 15-23.

Kenefick, R.W.; Cheuvront, S.N. Hydration for recreational sport and physical activity. *Nutr. Rev.* 2012, 70, S137–S142.

Khoshnevisan, Kamyar & Barkhi, Mohammad. (2015). Zeta potential. 10.13140/RG.2.1.4554.3844.

KÖK, M. S., HILL, S. E. y MITCHELL, J. R. (1999). Viscosity of galactomannans during high temperature pressing: influence of degradation and solubilisation. En: *Food Hydrocolloids*. Vol. 13, p. 535-542.

Lau T-C, Chan M-W, Tan H-P, Kwek C-L. 2013. Functional food: a growing trend among the health conscious. *Asian Soc Sci* 9:198–208.

Lawless, H. T. & Heymann, H. (2010). Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices. Chapter 14. Acceptance Testing. (Ed.) Springer, New York. pp 326

Lee, S. P., Whang, K., & Ha, Y. D. (1998). Functional properties of mucilage and pigment extracted from *Opuntia ficus-indica*. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 27(5), 821-826. <https://smbb.mx/congresos%20smbb/queretaro11/TRABAJOS/trabajos/III/carteles/CII I-71.pdf>

León Martínez, F., Méndez Lagunas, L., y Rodríguez Ramírez, J. (2010). *Spray drying of nopal mucilage (Opuntia ficus-indica): Effects on powder properties and characterization*. *Carbohydrate polymers*, pp. 81, 864-870.

López, C. Á. (2014). Determinación del punto isoeléctrico de las proteínas presentes en cuatro fuentes foliares: yuca (*Manihot esculenta* Crantz) variedades verónica y tai, jatropha (*Jatropha curcas* L.) y gmelina (*Gmelina arborea*). *Prospectiva*, 12(1), 4.

Lugo, E., (2014) *Caracterización reológica de geles de liberación modificada y su cuantificación en suero*. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, FES.

Maestro, A (2002) *Reología de espesantes celulósicos para pinturas al agua: modelización y mecanismo de espesamiento asociativo*. Tesis doctoral. Universidad de Barcelona. Facultad de Química, Barcelona.

Malvern (2017). Tamaño de partícula. Obtenido de: <http://www.malvern.com/es/products/measurement-type/particle-size>

McNutt, K. y Sentko, A. (2003). ISOMALT

Medina Torres, L., De la Fuente, B., Torrestiana, B., y Kathain, R. (2000). *Rheological properties of the mucilage gum (Opuntia ficus indica)*. *Food Hydrocolloids*, pp.14, 417-424.

Metrología de refracción 2008 recuperado de <http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-MetAs-08-12-refraccion.pdf>

Morales, V. (2014) Caracterización de algunas especies de nopales endémicos de México, productores de xoconostles y/o xocotunas, con base a su pH y grados Brix.

Mudgil, D., & Barak, S. (2019). Dairy-based functional beverages. In *Milk-based beverages* (pp. 67-93). Woodhead Publishing.

NMX-F-103-1982. ALIMENTOS. FRUTAS Y DERIVADOS. DETERMINACIÓN DE GRADOS BRIX. FOODS. FRUITS AND DERIVATIVES. DETERMINATION OF DEGREES BRIX. NORMAS MEXICANAS. DIRECCIÓN GENERAL DE NORMAS.

NMX-FF-068-SCFI-2006 HORTALIZA FRESCA - NOPAL VERDURA (*Opuntia* spp.) – ESPECIFICACIONES

NOM-247-SSA1-2008, PRODUCTOS Y SERVICIOS. CEREALES Y SUS PRODUCTOS. CEREALES, HARINAS DE CEREALES, SÉMOLAS O SEMOLINAS. ALIMENTOS A BASE DE: CEREALES, SEMILLAS COMESTIBLES, DE HARINAS, SÉMOLAS O SEMOLINAS O SUS MEZCLAS. PRODUCTOS DE PANIFICACIÓN. DISPOSICIONES

Y ESPECIFICACIONES SANITARIAS Y NUTRIMENTALES. MÉTODOS DE PRUEBA.

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-086-SSA1-1994, BIENES Y SERVICIOS. ALIMENTOS Y BEBIDAS NO ALCOHOLICAS CON MODIFICACIONES EN SU COMPOSICION. ESPECIFICACIONES NUTRIMENTALES.

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-092-SSA1-1994, BIENES Y SERVICIOS. MÉTODO PARA LA CUENTA DE BACTERIAS AEROBIAS EN PLACA.

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-111-SSA1-1994, BIENES Y SERVICIOS. MÉTODO PARA LA CUENTA DE MOHOS Y LEVADURAS EN ALIMENTOS.

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-114-SSA1-1994, BIENES Y SERVICIOS. MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DE SALMONELLA EN ALIMENTOS.

Olmo, B. G. (2015). Ensayos fisicoquímicos. Madrid: Síntesis.

OMS (2016). ¿Qué es la malnutrición? [En línea]. Disponible en: <https://www.who.int/features/qa/malnutrition/es/> [Último acceso 28/05/2020]

OMS (2019). Edulcorantes no azucarados aportan pocos beneficios a la salud. [En línea]. Disponible en: <https://codigof.mx/oms-edulcorantes-no-azucarados-aportan-pocos-beneficios-a-la-salud/>

OMS (2020). Malnutrición. [En línea]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/malnutrition> [Último acceso 28/05/2020]

Orrù, S., Imperlini, E., Nigro, E., Alfieri, A., Cevenini, A., Polito, R., ... & Mancini, A. (2018). Role of functional beverages on sport performance and recovery. *Nutrients*, 10(10), 1470.

Otles S, Cagindi O. 2012. Safety considerations of nutraceuticals and functional foods. In: McElhatton A, Sobral PJA, editors. Novel technologies in food science. New York, N.Y.: Springer, p. 121–36.

Ozen AE, Pons A, Tur JA. 2012. Worldwide consumption of functional foods: a systematic review. *Nutr Rev* 70:472–81.

Özer, B. H., & Kirmaci, H. A. (2010). Functional milks and dairy beverages. *International Journal of Dairy Technology*, 63(1), 1-15.

Paquin, P. (Ed.). (2009). *Functional and speciality beverage technology*. Elsevier.

PENNA, A. L. B. (2002). Hidrocolóides. Usos en Alimentos. En: Revista Food Ingredients: Cuaderno de Tecnología de Alimentos y Bebidas. Vol.17, p. 58-61.

Peralta I., E. (2009). Amaranto y ataco: Preguntas y respuestas. Quito, Ecuador: INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos. (Boletín Divulgativo no. 359).

Pierson, M. y Smoot, L. (2001). Indicator microorganisms and microbiological criteria. In: food microbiology. Fundamentals and Frontiers, 2nd ed. ASM Press, 71-87.

PILNIK, W. y VORGEN, G. J. (1971). Pectic Substances and other Uronides. En: «The Biochemistry of fruits and their products». Cap. 3. Editadopor: HULME, A. C. New York: Academic Press. Vol.1, p. 53-85

Pradal C, Stokes JR. Oral tribology: bridging the gap between physical measurements and sensory experience. *Curr Opin Food Sci* 2016; 9:34–41.

Pravst I. 2012. Functional foods in Europe: a focus on health claims. In: Valdez B, editor. Scientific, health and social aspects of the food industry. Rijeka, Croatia: InTech. p. 165–208.

Prothon, F., Ahrné, L., & Sjöholm, I. (2003). Mechanisms and prevention of plant tissue collapse during dehydration: a critical review.

Que, F., Mao, L., Fang, X., & Wu, T. (2008). Comparison of hot air-drying and freeze-drying on the physicochemical properties and antioxidant activities of pumpkin (*Cucurbita moschata*Duch.) flours. *International journal of food science & technology*, 43(7), 1195-1201.

RAI, 2018. Real Academia de Ingeniería-Diccionario Español de Ingeniería 1.0. [En línea] Available at: <http://diccionario.raing.es/es/lema/conminuci%C3%B3n>

Ramirez, J., (2006) Introducción a la reología de los alimentos. Universidad del Valle, Cali, Colombia. Pp 7-34

Ramírez, M., Cruz, M.T., Vizcarra, M.G. y Anaya, I. (2014). Determinación de las Isotermas de sorción y las propiedades termodinámicas de harina de maíz nixtamalizada. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 13 (1): 165-178.

Refractómetro: Medición Brix en la industria de bebidas y zumos. Recuperado de: [https://www.kruess.com/documents/Applikationsberichte/AP130710\\_001\\_Medicion\\_Brix\\_en\\_la\\_industria\\_de\\_bebidas\\_ES.pdf](https://www.kruess.com/documents/Applikationsberichte/AP130710_001_Medicion_Brix_en_la_industria_de_bebidas_ES.pdf)

Refractómetro: Medición Brix en la industria de bebidas y zumos. Recuperado de: [https://www.kruess.com/documents/Applikationsberichte/AP130710\\_001\\_Medicion\\_Brix\\_en\\_la\\_industria\\_de\\_bebidas\\_ES.pdf](https://www.kruess.com/documents/Applikationsberichte/AP130710_001_Medicion_Brix_en_la_industria_de_bebidas_ES.pdf)

Reyes Agüero, J.A. & Valiente Banuet, A. (2006). Reproductive biology of *Opuntia*: a review. *J. Arid Environ.*, 64(4): 549–585.

Reyes, I. et al, (2019), Solvent-free mechanical extraction of *Opuntia ficus-indica* mucilage. *Journal of food Processing Engineering*.42 (1): e12954-e12963.

Riyad I. & Clayton, C., 1963. Particle Size: Measurement, Interpretation, and Application. New York-London: John Wiley & Sons, Inc.

Rodríguez, E., Sandoval, A., Ayala, A. (2003). Hidrocoloides naturales de origen vegetal, Investigaciones recientes y aplicaciones en la industria de alimentos, Universidad nacional de Colombia, pp. 9.

Rother Matthias, Herbst Sarah y Kuhn Klaus (2019) Analysis of Stribeck Curves of Spreadable Food Using Rolling Correlations. AntonPaar.

Rothman, L. & Parker, M. J. (2009). Just-about-Right (JAR) Scales: Design, Usage, Benefits, and Risks. (Eds.) Rothman, L. & Jo Parker, M., (Ed.), ASTM. Pensilvania. pp, 2- 4

Roy, B.D., 2008. Milk: the new sports drink? A review. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 5, 15–21.

Sabokbar, N., Khodaiyan, F., 2015. Characterization of pomegranate juice and whey based novel beverage fermented by kefir grains. *J. Food Sci. Technol.* 52, 3711–3718.

SADER (2019) El cultivo de nopal verdura en la Ciudad de México. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura%7Ccdmx/articulos/el-cultivo-de-nopal-verdura-en-la-ciudad-de-mexico> [Último acceso 25/06/2020].

Sáenz, C., Sepúlveda, E., & Matsuhira, B. (2004) Opuntia spp. Mucilage's: a functional component with industrial perspectives. *Journal of Arid Environments*, 57(3), 275-290

SAKAI, T. SAKAMOTO, T. HALLAERT, J. y VANDAMME, E. (1993). Pectin, Pectinase, and Protopectinase: Production, properties, and applications. En: *Advances in Applied Microbiology*. Vol. 39, p. 213-294

Salazar, P., (2018) Mucílago de Opuntia ficus-indica. Extracción y aplicación como agente dispersante en suspensiones alimenticias. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química CDMX,

Schlundt, J. (2002). New directions in food borne disease prevention. *International Journal of Food Microbiology*. 78: 3-17.

Secretaría de Salud. NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-247-SSA1-2008, PRODUCTOS Y SERVICIOS. CEREALES Y SUS PRODUCTOS. CEREALES, HARINAS DE CEREALES, SÉMOLAS O SEMOLINAS. ALIMENTOS A BASE DE: CEREALES, SEMILLAS COMESTIBLES, DE HARINAS, SÉMOLAS O SEMOLINAS O SUS MEZCLAS. PRODUCTOS DE PANIFICACIÓN. DISPOSICIONES Y ESPECIFICACIONES SANITARIAS Y NUTRIMENTALES. MÉTODOS DE PRUEBA.

Sepúlveda, E., Saenz, C., Aliaga, E., & Aceituno, C. (2007). Extraction and characterization of mucilage in Opuntia spp. *Journal of Arid Environments*, 68(4), 534-545.

Serafini M, Stanzione A, Foddai S. 2012. Functional foods: traditional use and European legislation. *Int J FoodSciNutr* 63:7–9.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2017). El Nopal, orgullosamente un producto de México para el mundo. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/firco/articulos/el-nopal-orgullosamente-un-producto-de-mexico-para-el-mundo?idiom=es>

Severiano et al (2010) Manual de análisis sensorial. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química CDMX,

Shahidi, F., & Alasalvar, C. (Eds.). (2016). *Handbook of functional beverages and human health* (Vol. 11). CRC Press.

Soto, G (2015) Aplicación de fécula de maíz para el tratamiento de disfagia. Un estudio sensorial y reológico. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química CDMX.

Stokes, J. R., Boehm Michael W. y Baier Stefan K. (2013). Oral processing, texture and mouthfeel: From rheology to tribology and beyond, *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, Volume 18, Issue 4, ISSN 1359-0294. Recuperado de: (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359029413000587>)

Stokes, J.R., (2012) Tribología oral. J. Chen, L. Engelen (Eds.), *Procesamiento oral de alimentos: fundamentos de la alimentación y la percepción sensorial*, Wiley-Blackwell, pp. 265 - 287

Torres Ponce, R. L., Morales Corral, D., Ballinas Casarrubias, M., & Nevarez Moorillon, G. V. (13 de agosto de 2015). EL nopal: planta del semidesierto con aplicaciones en farmacia, alimentos y nutrición animal. *Revista Mexicana de Ciencia Agrícolas*, 6(5), 1129-114.

Toxtle, G. et al, (2018). Use of mucilage of *Opuntia Ficus Indica* as dispersing agent for vegetable protein suspensions. *MFE 18 Extended Abstract*. 2 (2): 25-30. ISSN 2617-3387-

Trachtenberg, S., & Mayer, A. (1981). Composition and properties of *Opuntia ficus-indica* mucilage. *Phytochemistry*, 20(12), 2665-2668.

*Trends Food Sci Technol*, 25 (2012), págs. 4 – 12

Valencia Toapanta, M. F. (2014). Estudio de la sustitución parcial de azúcar por edulcorantes de bajo poder calórico (Sucralosa y acesulfame k) y del porcentaje de pulpa, en la elaboración de una bebida no carbonatada de uvilla (*Physalis peruviana*) (Doctoral dissertation).

Valls J, Pasamontes N, Pantaleon A, Vinaixa S, Vaqu ´ e M, Soler A, Mill ´ an S, ´ Gomez X. 2013. Prospects of functional foods/nutraceuticals and markets. ´ In: Ramawat KG, Merrillon JM, editors. *Natural products*. Berlin: ´ Springer-Verlag, p. 491–25.

Velásquez, G (.2006), *Fundamentos de Alimentación Saludable, Salud, Nutrición y Dietética*. Universidad de Antioquia. p. 42

Velázquez, M. et al, (2018). Cooked and dried process standardization for legumes to obtain flours for nutritional supplements. *MFE 18 Extended Abstract*. 2(2): 5-10. ISSN 2617-3387.

Vives C. (2006), *Mitos y realidades del azúcar. II Simposio Nacional de Nutrición Humana. Una Visión al futuro*. Medellín: CEAN

WANG, Q., ELLIS, P. R. y ROSS-MURPHY, S. B. (2000). The stability of guar gum in an aqueous system under acidic conditions. En: Food Hydrocolloids. Vol. 14, p. 129-134.

## 8. ANEXOS

ANEXO 1. *t de student* de las pruebas de sedimentación para las harinas de haba, amaranto, lenteja y garbanzo.

*t de student* de la prueba de sedimentación entre la matriz agua y la bebida vegetal de arroz con harina de haba.

	Sedimentación en matriz agua	Sedimentación en matriz de la bebida vegetal de arroz
<b>Media</b>	99.78712381	99.13789432
<b>Varianza</b>	0.000102427	0.021285037
<b>Observaciones</b>	3	3
<b>Grados de libertad</b>	4	
<b>Estadístico t</b>	7.689165669	
<b>P(T&lt;=t) dos colas</b>	0.001538808	
<b>Valor crítico de t</b>	2.776445105	

*t de student* de la prueba de sedimentación entre la matriz agua y la bebida vegetal de arroz con harina de amaranto.

	Sedimentación en matriz agua	Sedimentación en matriz de la bebida vegetal de arroz
<b>Media</b>	99.97649194	98.1776223
<b>Varianza</b>	7.52986E-06	0.29466643
<b>Observaciones</b>	3	3
<b>Grados de libertad</b>	4	
<b>Estadístico t</b>	5.739703345	
<b>P(T&lt;=t) dos colas</b>	0.004565086	
<b>Valor crítico de t</b>	2.776445105	

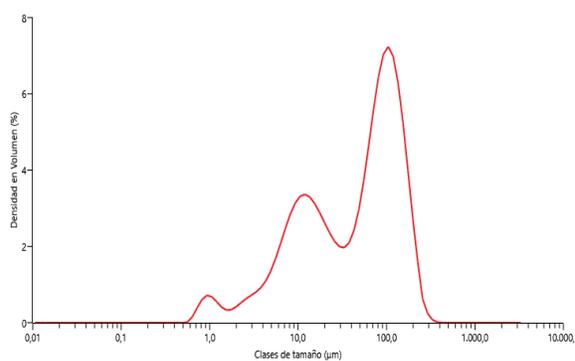
*t de student* de la prueba de sedimentación entre la matriz agua y la bebida vegetal de arroz con harina de lenteja.

	Sedimentación en matriz agua	Sedimentación en matriz de la bebida vegetal de arroz
<b>Media</b>	99.8003602	98.8860633
<b>Varianza</b>	0.00058405	0.06349574
<b>Observaciones</b>	3	2
<b>Grados de libertad</b>	3	
<b>Estadístico t</b>	6.82193729	
<b>P(T&lt;=t) dos colas</b>	0.00644367	
<b>Valor crítico de t</b>	3.18244631	

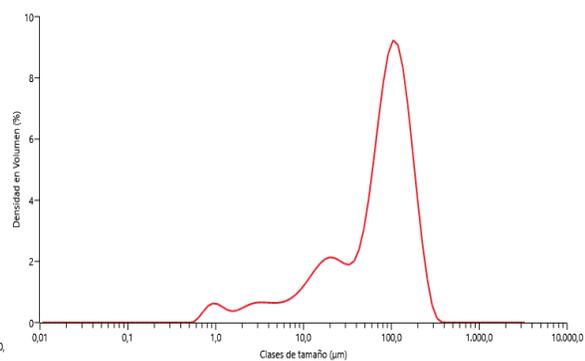
*t de student* de la prueba de sedimentación entre la matriz agua y la bebida vegetal de arroz con harina de garbanzo.

	<b>Sedimentación en matriz agua</b>	<b>Sedimentación en matriz de la bebida vegetal de arroz</b>
<b>Media</b>	99.7309984	98.9730383
<b>Varianza</b>	0.0007228	0.04644757
<b>Observaciones</b>	3	2
<b>Grados de libertad</b>	3	
<b>Estadístico t</b>	6.57144331	
<b>P(T&lt;=t) dos colas</b>	0.00716834	
<b>Valor crítico de t</b>	3.18244631	

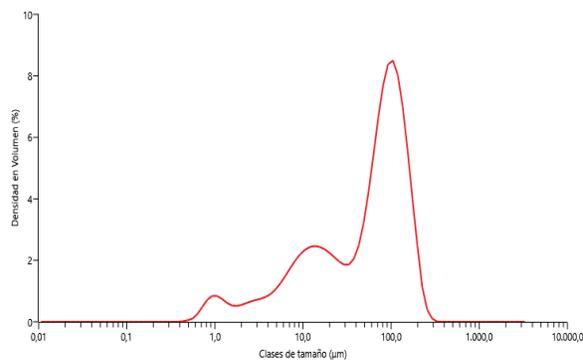
## ANEXO 2. Tamaño de partícula



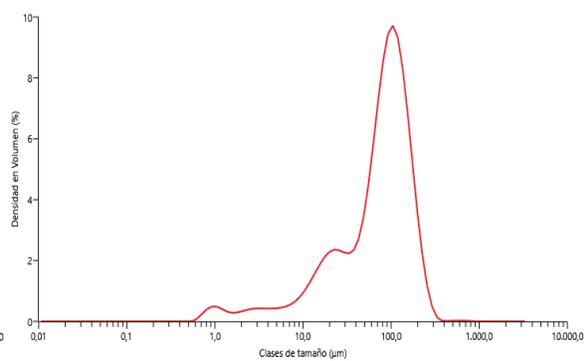
(a)



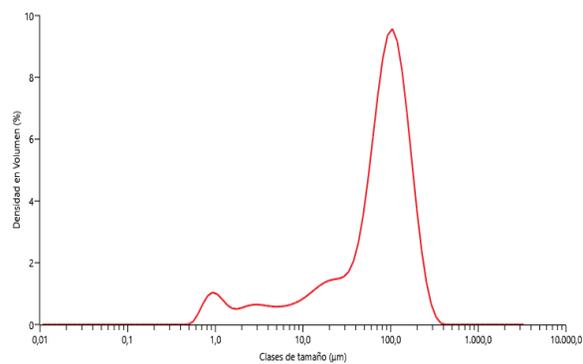
(b)



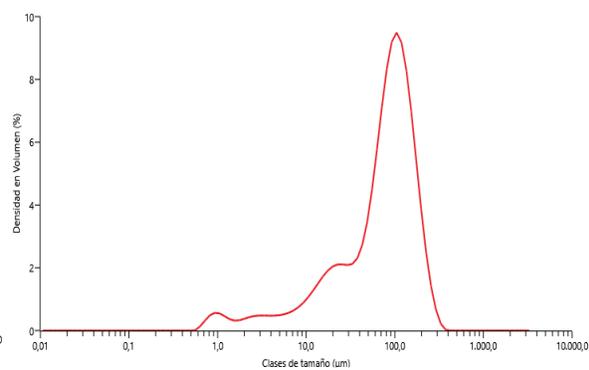
(c)



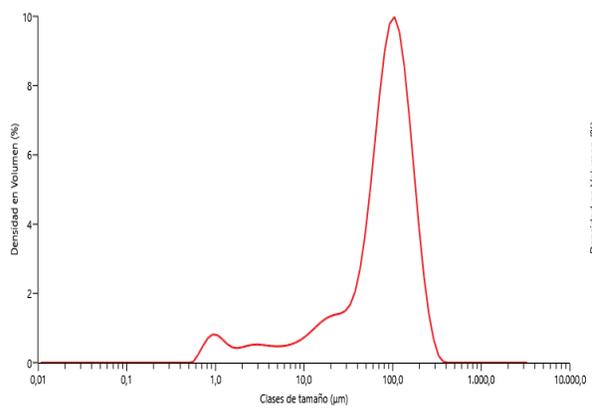
(d)



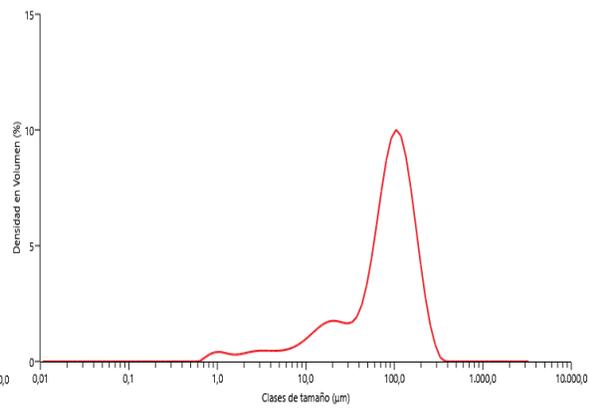
(e)



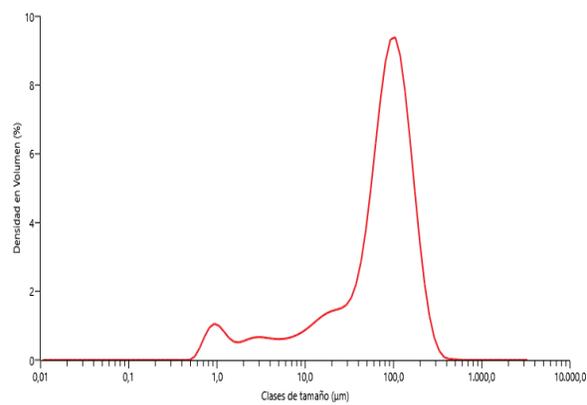
(f)



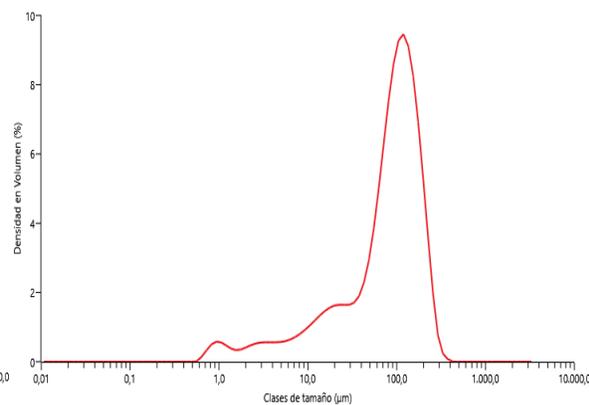
(g)



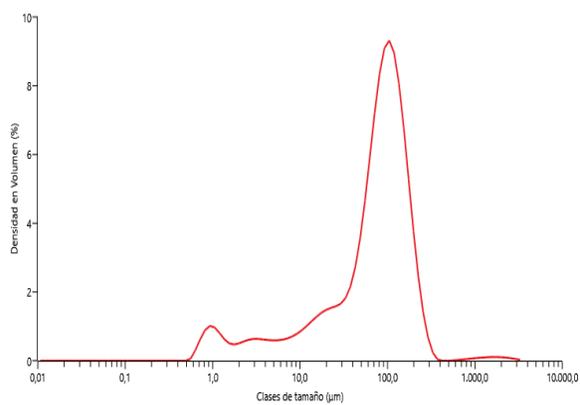
(h)



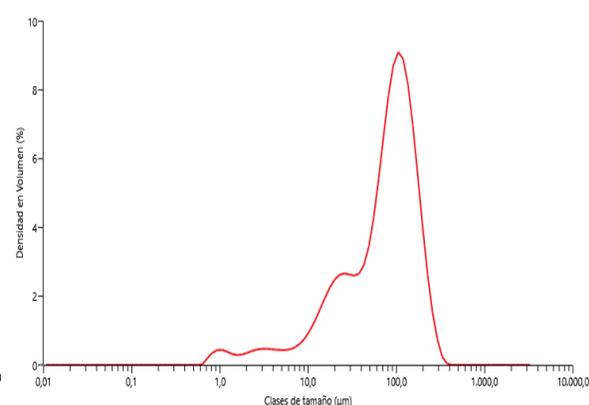
(i)



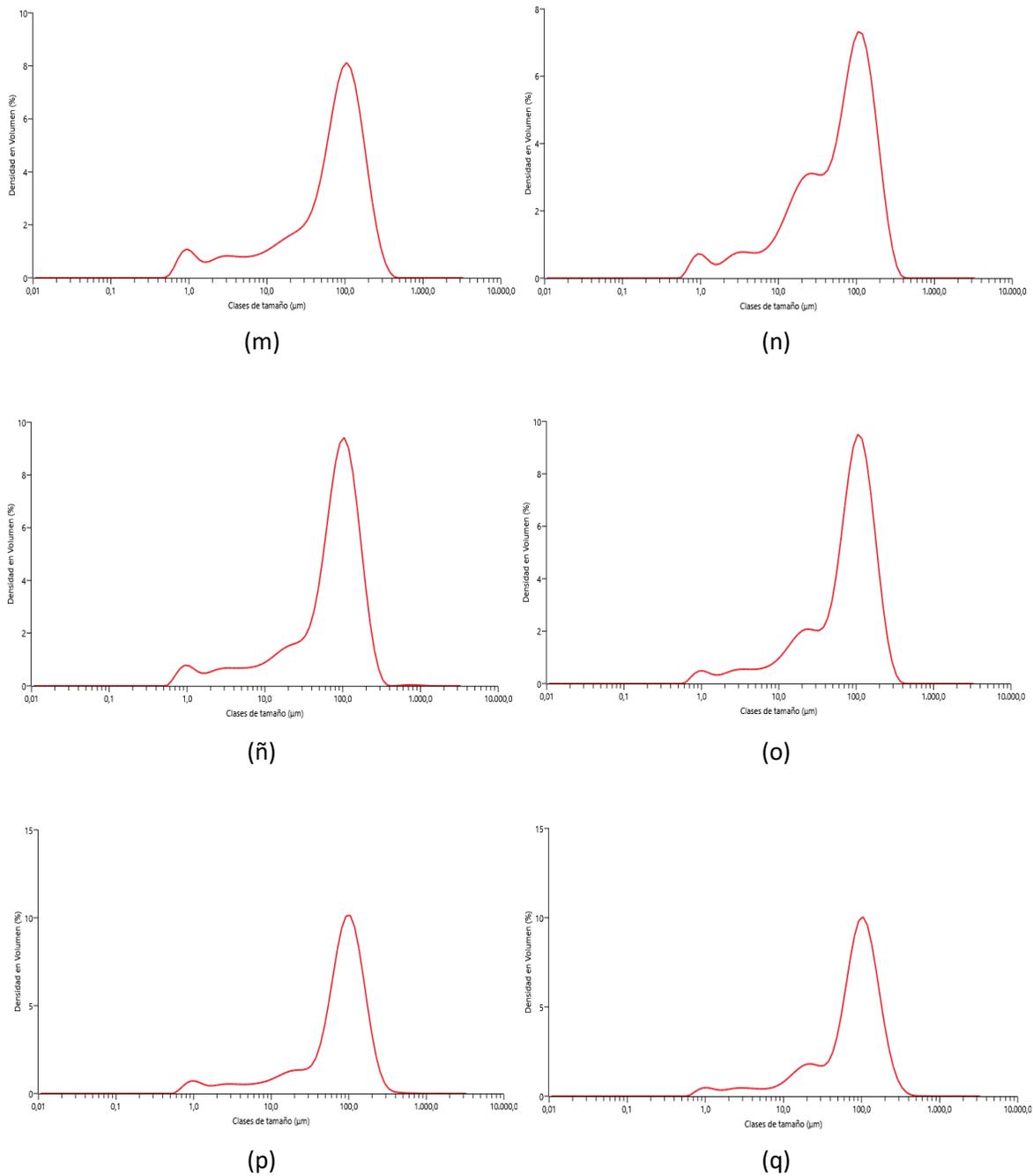
(j)



(k)



(l)



**Figura 12.** Gráficas de las clases de tamaño de partícula. Las formulaciones con una matriz de bebida vegetal de arroz y agua se encuentran a la izquierda y derecha respectivamente. (a) y (b) Formulación 1; (c) y (d) Formulación 2; (e) y (f) Formulación 3; (g) y (h) Formulación 4; (i) e (j) Formulación 5; (k) y (l) Formulación 6; (m) y (n) Formulación 7; (ñ) y (o) Formulación 8; (p) y (q) Formulación 9.

## ANEXO 3. ANOVAS de las gomas utilizadas en dos diferentes matrices

Análisis de varianza de los índices de consistencia ( $k$ ) de la goma guar, la pectina el mucílago y una mezcla de las tres en la matriz agua

Fuente	GDL	Suma de los cuadrados	Media de los cuadrados	F	Pr > F
<b>Modelo</b>	3	0.0101697	0.0033899	31.025	$6.18 \times 10^{-6}$
<b>Error</b>	12	0.0013112	0.0001093		
<b>Total corregido</b>	15	0.0114809			

Análisis de varianza de los índices de consistencia ( $k$ ) de la goma guar, el mucílago, una mezcla de ambas en el matriz de bebida vegetal de arroz y de la matriz misma.

Fuente	GDL	Suma de los cuadrados	Media de los cuadrados	F	Pr > F
<b>Modelo</b>	3	0.0131736	0.0043912	32.298	$4.997 \times 10^{-6}$
<b>Error</b>	12	0.0016315	0.0001360		
<b>Total corregido</b>	15	0.0148051			

ANEXO 4. Pruebas *a posteriori* de LSD para las gomas utilizadas en dos diferentes matrices

Análisis de varianza por LSD para los índices de consistencia ( $k$ ) de la goma guar, la pectina el mucílago y una mezcla de las tres en la matriz agua

Contraste	Diferencia	Diferencia estandarizada	Valor crítico	Pr > Dif	Significativo
<b>MD-MC</b>	0.062	8.348	2.179	<b>&lt;0.0001</b>	<b>Sí</b>
<b>MD-MB</b>	0.061	8.310	2.179	<b>&lt;0.0001</b>	<b>Sí</b>
<b>MD-MA</b>	0.046	6.173	2.179	<b>&lt;0.0001</b>	<b>Sí</b>
<b>MA-MC</b>	0.016	2.175	2.179	0.0500	No
<b>MA-MB</b>	0.016	2.138	2.179	0.0540	No
<b>MB-MC</b>	0.000	0.037	2.179	0.9710	No

Donde:

MA: Agua con goma guar

MB: Agua con pectina

MC: Agua con mucílago

MD: Agua con goma guar, pectina y mucílago

Análisis de varianza por LSD para los índices de consistencia ( $k$ ) de la goma guar, el mucílago, una mezcla de ambas en la matriz de bebida vegetal de arroz y de la matriz misma

Contraste	Diferencia	Diferencia estandarizada	Valor crítico	Pr > Dif	Significativo
MD-MA	0.071	8.569	2.179	<0.0001	Sí
MD-MB	0.068	8.254	2.179	<0.0001	Sí
MD-MC	0.057	6.889	2.179	<0.0001	Sí
MC-MA	0.014	1.680	2.179	0.1190	No
MC-MB	0.011	1.364	2.179	0.1970	No
MB-MA	0.003	0.315	2.179	0.7580	No

Donde:

MA: Bebida vegetal de arroz

MB: Bebida vegetal de arroz con goma guar

MC: Bebida vegetal de arroz con mucílago

MD: Bebida vegetal de arroz con goma guar y mucílago

ANEXO 5. ANOVAS de las nueve diferentes formulaciones en dos matrices diferentes

Análisis de varianza de los índices de consistencia ( $k$ ) de las nueve formulaciones en la matriz agua

Fuente	GDL	Suma de los cuadrados	Media de los cuadrados	F	Pr > F
Modelo	8	0.0272572	0.0034071	53.773	$1.348 \times 10^{-14}$
Error	27	0.0017108	0.0000634		
Total corregido	35	0.028968			

Análisis de varianza de los índices de consistencia ( $k$ ) de las nueve formulaciones en la matriz de la bebida vegetal de arroz.

Fuente	GDL	Suma de los cuadrados	Media de los cuadrados	F	Pr > F
Modelo	8	0.225065	0.0281331	341.82	$2.2 \times 10^{-16}$
Error	27	0.002222	0.0000823		
Total corregido	35	0.227287			

ANEXO 6. Pruebas *a posteriori* de LSD para nueve formulaciones en dos matrices diferentes

Análisis de varianza por LSD de los índices de consistencia (*k*) de las nueve formulaciones en la matriz agua.

Comparación	Diferencia muestral en valor absoluto	Valor LSD	Significativo
M2-M1	0.033075	0.011552371	Sí
M3-M1	0.019125	0.011552371	Sí
M4-M1	0.049175	0.011552371	Sí
M5-M1	0.033375	0.011552371	Sí
M6-M1	0.027950	0.011552371	Sí
M7-M1	0.068800	0.011552371	Sí
M8-M1	0.070825	0.011552371	Sí
M9-M1	0.036125	0.011552371	Sí
M3-M2	0.052200	0.011552371	Sí
M4-M2	0.016100	0.011552371	Sí
M5-M2	0.000300	0.011552371	No
M6-M2	0.005125	0.011552371	No
M7-M2	0.035725	0.011552371	Sí
M8-M2	0.037750	0.011552371	Sí
M9-M2	0.003050	0.011552371	No
M4-M3	0.068300	0.011552371	Sí
M5-M3	0.052500	0.011552371	Sí
M6-M3	0.047075	0.011552371	Sí
M7-M3	0.087925	0.011552371	Sí
M8-M3	0.089950	0.011552371	Sí
M9-M3	0.055250	0.011552371	Sí
M5-M4	0.015800	0.011552371	Sí
M6-M4	0.021225	0.011552371	Sí
M7-M4	0.019625	0.011552371	Sí
M8-M4	0.021650	0.011552371	Sí
M9-M4	0.013050	0.011552371	Sí
M6-M5	0.005425	0.011552371	No
M7-M5	0.035425	0.011552371	Sí
M8-M5	0.037450	0.011552371	Sí
M9-M5	0.002750	0.011552371	No
M7-M6	0.040850	0.011552371	Sí
M8-M6	0.042875	0.011552371	Sí
M9-M6	0.008175	0.011552371	No
M8-M7	0.002025	0.011552371	No
M9-M7	0.032675	0.011552371	Sí
M9-M8	0.034700	0.011552371	Sí

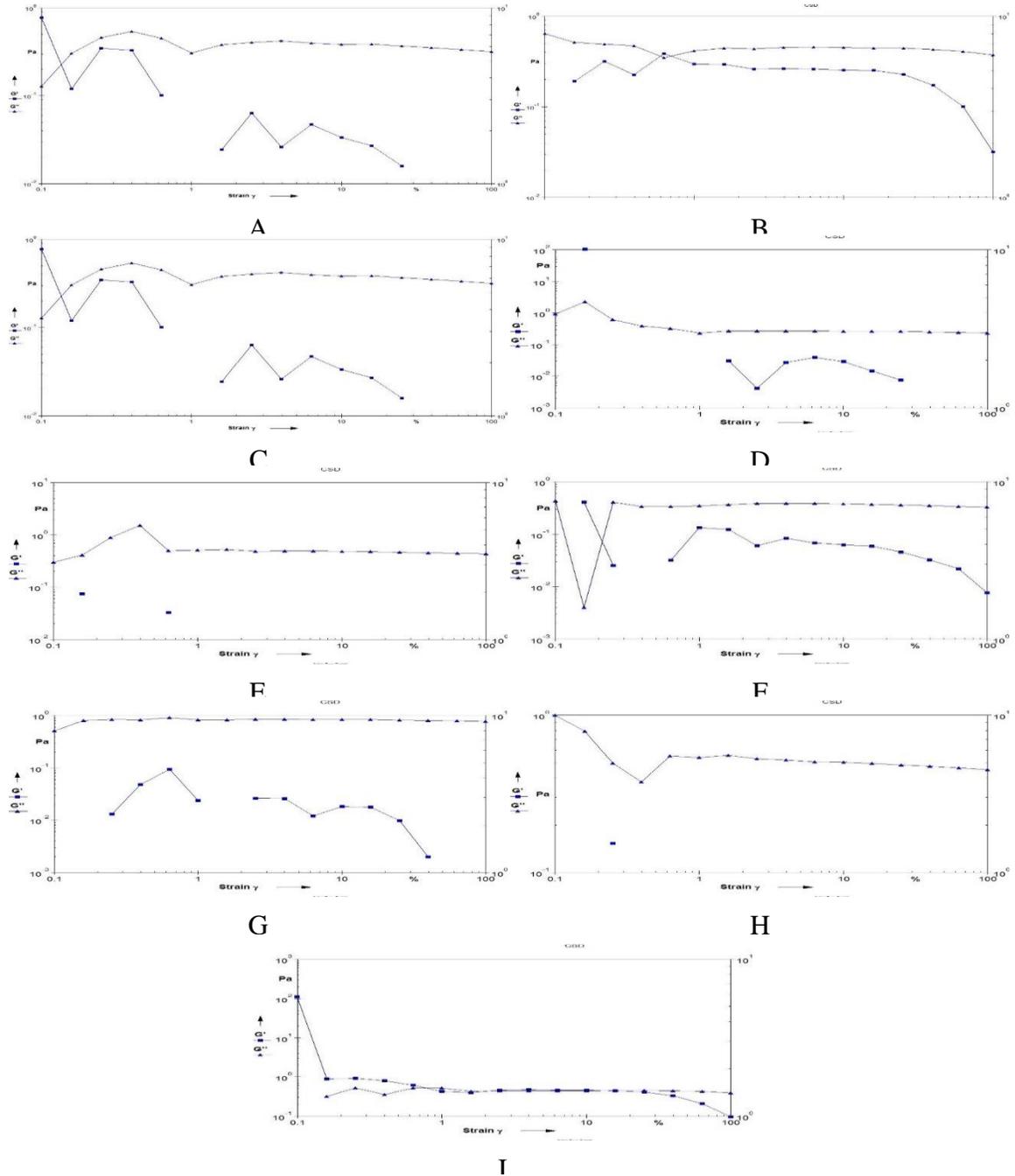
Análisis de varianza por LSD de los índices de consistencia ( $k$ ) de las nueve formulaciones en la matriz de bebida vegetal de arroz.

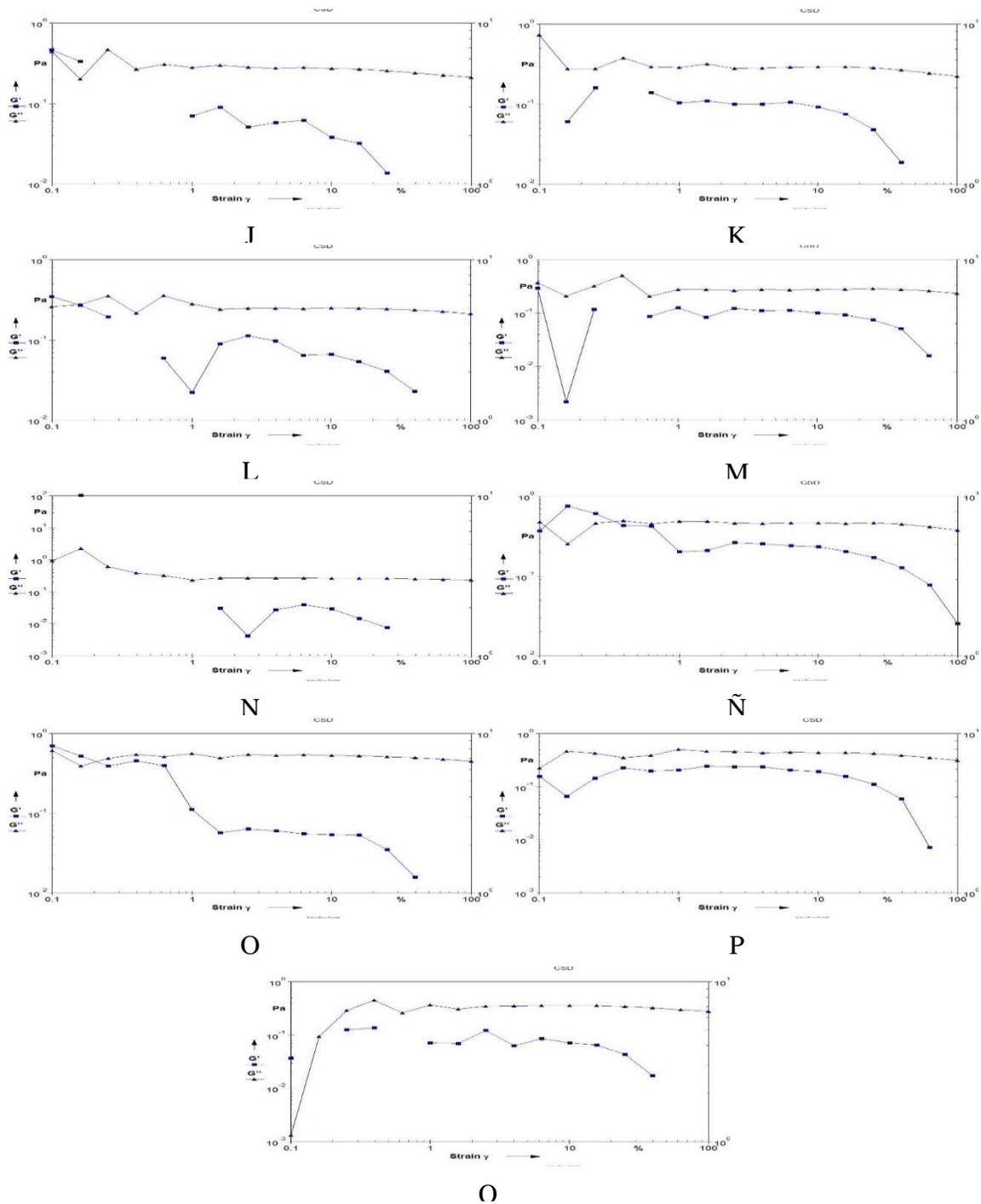
Comparación	Diferencia muestral en valor absoluto	Valor LSD	Significativo
M2-M1	0.236875	0.013162137	Sí
M3-M1	0.017150	0.013162137	Sí
M4-M1	0.030325	0.013162137	Sí
M5-M1	0.018725	0.013162137	Sí
M6-M1	0.008775	0.013162137	No
M7-M1	0.041975	0.013162137	Sí
M8-M1	0.003325	0.013162137	No
M9-M1	0.019550	0.013162137	Sí
M3-M2	0.254025	0.013162137	Sí
M4-M2	0.267200	0.013162137	Sí
M5-M2	0.255600	0.013162137	Sí
M6-M2	0.245650	0.013162137	Sí
M7-M2	0.194900	0.013162137	Sí
M8-M2	0.240200	0.013162137	Sí
M9-M2	0.256425	0.013162137	Sí
M4-M3	0.013175	0.013162137	Sí
M5-M3	0.001575	0.013162137	No
M6-M3	0.008375	0.013162137	No
M7-M3	0.059125	0.013162137	Sí
M8-M3	0.013825	0.013162137	Sí
M9-M3	0.002400	0.013162137	No
M5-M4	0.011600	0.013162137	No
M6-M4	0.021550	0.013162137	Sí
M7-M4	0.072300	0.013162137	Sí
M8-M4	0.027000	0.013162137	Sí
M9-M4	0.010775	0.013162137	No
M6-M5	0.009950	0.013162137	No
M7-M5	0.060700	0.013162137	Sí
M8-M5	0.015400	0.013162137	Sí
M9-M5	0.000825	0.013162137	No
M7-M6	0.050750	0.013162137	Sí
M8-M6	0.005450	0.013162137	No
M9-M6	0.010775	0.013162137	No
M8-M7	0.045300	0.013162137	Sí
M9-M7	0.061525	0.013162137	Sí
M9-M8	0.016225	0.013162137	Sí

Donde:

- M1: Formulación 1    M6: Formulación 6
- M2: Formulación 2    M7: Formulación 7
- M3: Formulación 3    M8: Formulación 8
- M4: Formulación 4    M9: Formulación 9
- M5: Formulación 5

ANEXO 7. Curvas de amplitud de las nueve diferentes formulaciones





**Figura 13.** Curvas de amplitud. En el eje-x porcentaje de deformación (Strain $\gamma$ ) y en el eje-y  $G'$   $\blacksquare$  y  $G''$   $\blacktriangle$ . (A-I) Formulaciones con una matriz de bebida vegetal de arroz; (J-Q) Formulaciones que tuvieron como matriz agua.

ANEXO 8. *t de student* de las pruebas de la estabilidad a la temperatura*t de student* de la prueba de estabilidad a la temperatura entre dos formulaciones con matriz agua

	<b>Formulación 2</b>	<b>Formulación 7</b>
<b>Media</b>	12.98580645	18.82903226
<b>Varianza</b>	15.76542516	23.0287957
<b>Observaciones</b>	31	31
<b>Grados de libertad</b>	60	
<b>Estadístico t</b>	-5.223360488	
<b>P(T&lt;=t) dos colas</b>	2.32209E-06	
<b>Valor crítico de t</b>	2.000297822	

*t de student* de la prueba de estabilidad a la temperatura entre dos formulaciones con una matriz de bebida vegetal de arroz.

	<b>Formulación 2</b>	<b>Formulación 7</b>
<b>Media</b>	12.0216129	32.54516129
<b>Varianza</b>	17.26538731	149.8625591
<b>Observaciones</b>	31	31
<b>Grados de libertad</b>	60	
<b>Estadístico t</b>	-8.839114467	
<b>P(T&lt;=t) dos colas</b>	1.84274E-12	
<b>Valor crítico de t</b>	2.000297822	

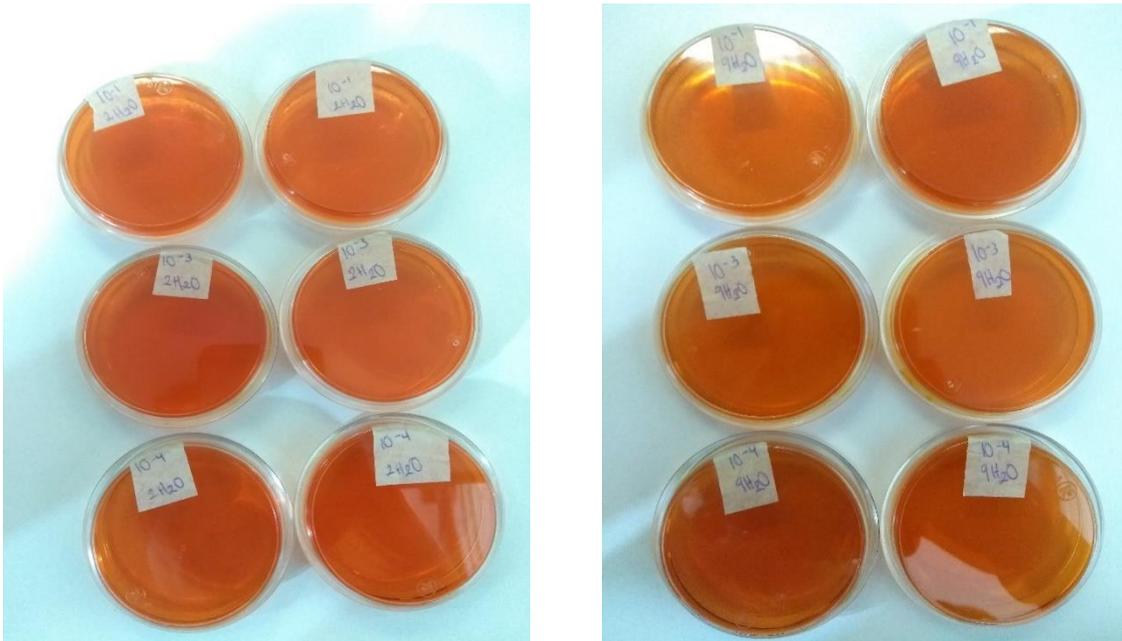
ANEXO 9. *t de student* de las pruebas de tribología*t de student* de la prueba de tribología entre dos formulaciones con matriz agua

	<b>Formulación 2</b>	<b>Formulación 7</b>
<b>Media</b>	0.44716	0.427275
<b>Varianza</b>	0.021687831	0.024806137
<b>Observaciones</b>	300	300
<b>Grados de libertad</b>	598	
<b>Estadístico t</b>	1.597305243	
<b>P(T&lt;=t) dos colas</b>	0.110725933	
<b>Valor crítico de t</b>	1.963938898	

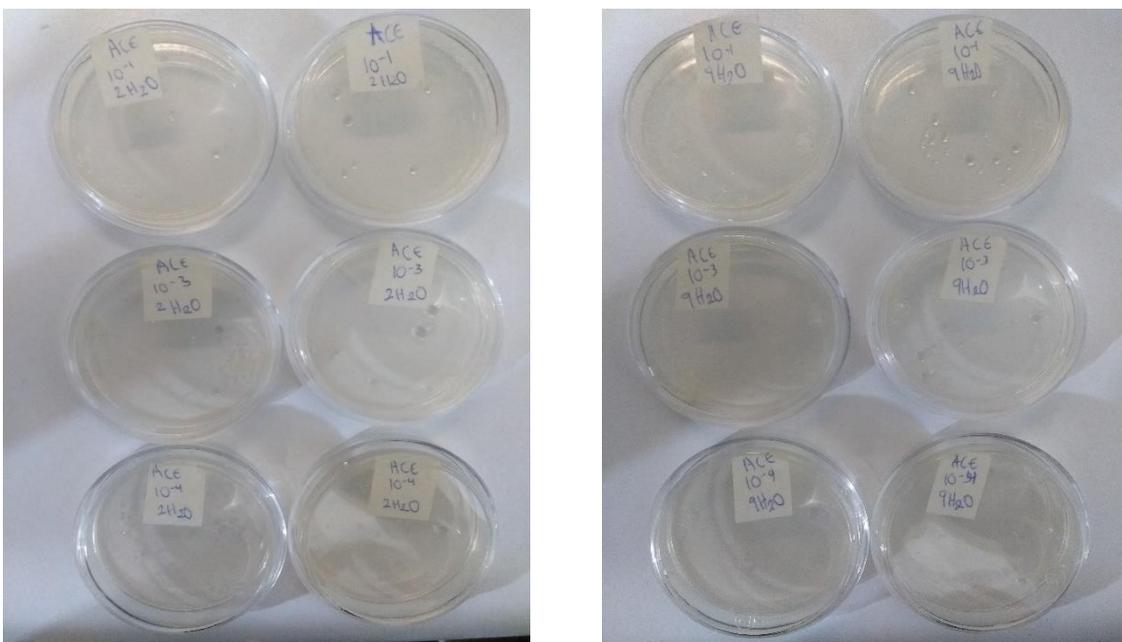
*t de student* de la prueba de tribología entre dos formulaciones con una matriz de bebida vegetal de arroz.

	<b>Formulación 2</b>	<b>Formulación 7</b>
<b>Media</b>	0.362	0.402
<b>Varianza</b>	0.006378885	0.015558856
<b>Observaciones</b>	300	300
<b>Grados de libertad</b>	598	
<b>Estadístico t</b>	-4.696132583	
<b>P(T&lt;=t) dos colas</b>	3.29146E-06	
<b>Valor crítico de t (dos colas)</b>	1.963938898	

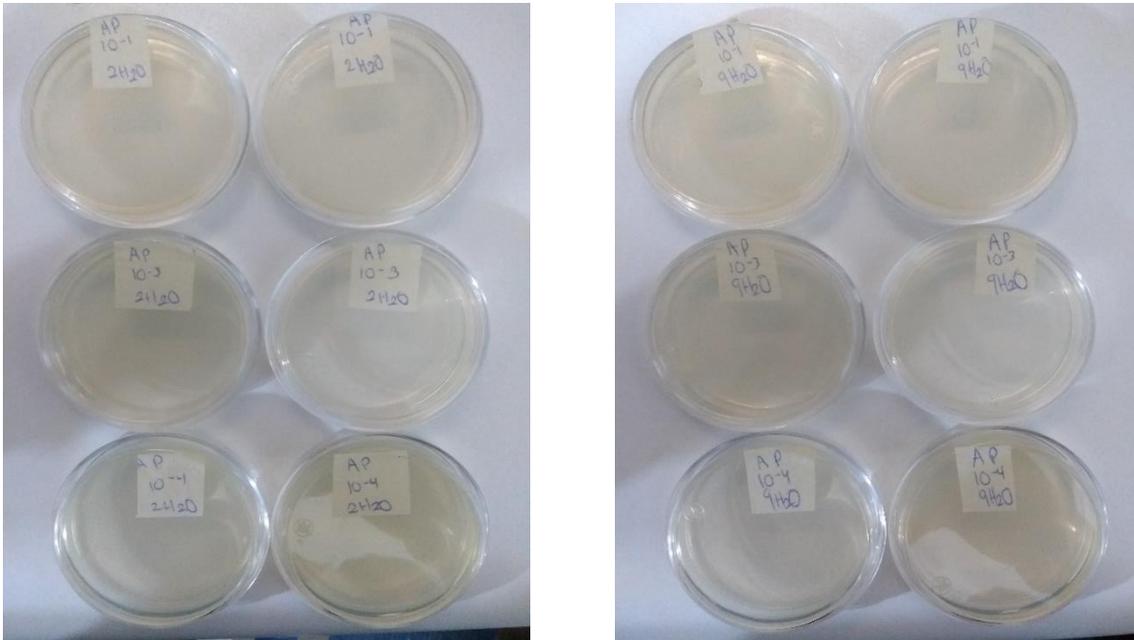
ANEXO 10. Fotos del análisis microbiológico del día 1 y 7.



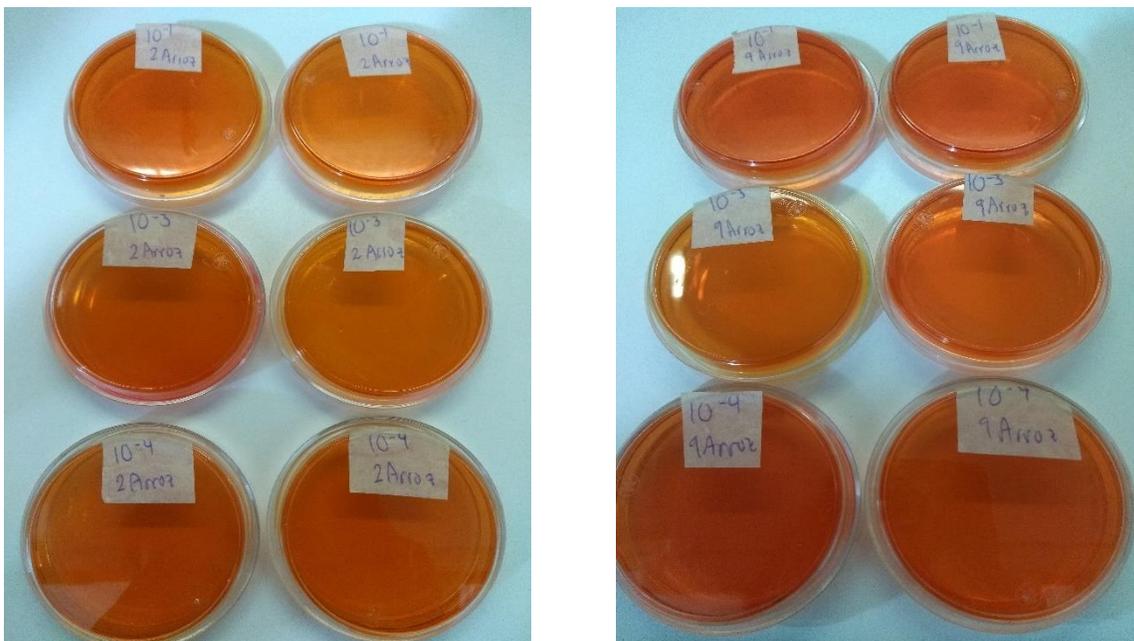
**Figura 13.** Resultado de enterobacterias y sus duplicados para la formulación 2 y de izquierda a derecha respectivamente, con matriz agua, del día 1. De arriba hacia abajo diluciones  $10^{-1}$ ,  $10^{-3}$  y  $10^{-4}$ .



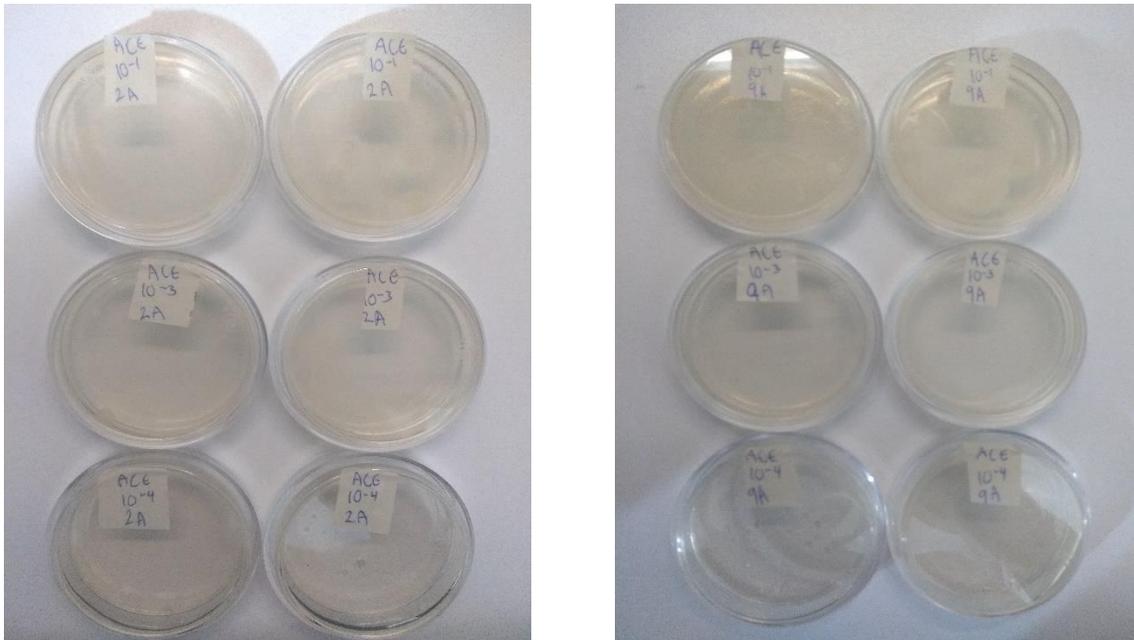
**Figura 14.** Resultado de mesófilos aeróbicos y sus duplicados para la formulación 2 y 7 de izquierda a derecha respectivamente, con matriz agua, del día 1. De arriba hacia abajo diluciones  $10^{-1}$ ,  $10^{-3}$  y  $10^{-4}$ .



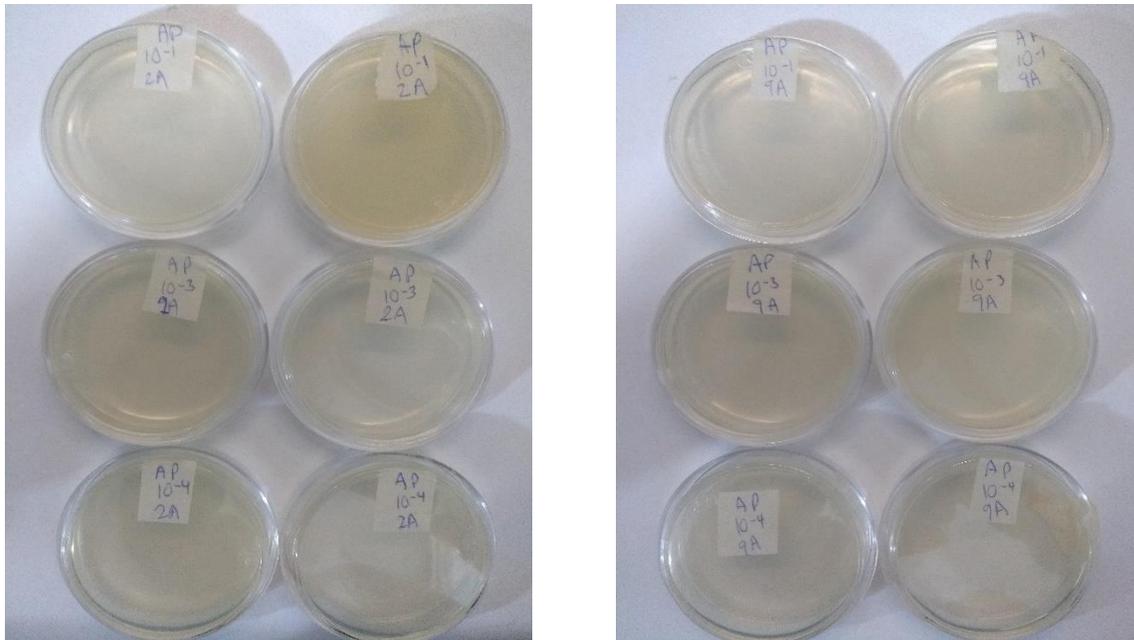
**Figura 15.** Resultado de mohos y levaduras y sus duplicados para la formulación 2 y 7 de izquierda a derecha respectivamente, con matriz agua, del día 1. De arriba hacia abajo diluciones  $10^{-1}$ ,  $10^{-3}$  y  $10^{-4}$



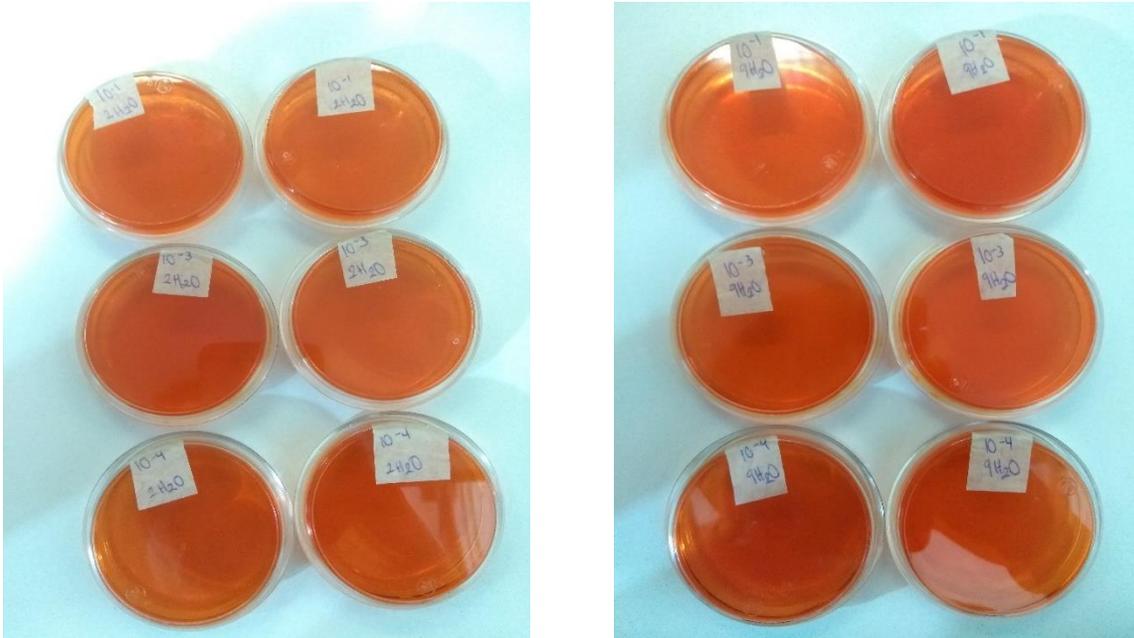
**Figura 16.** Resultado de enterobacterias y sus duplicados para la formulación 2 y 7 de izquierda a derecha respectivamente, con una matriz de bebida vegetal de arroz, del día 1. De arriba hacia abajo diluciones  $10^{-1}$ ,  $10^{-3}$  y  $10^{-4}$



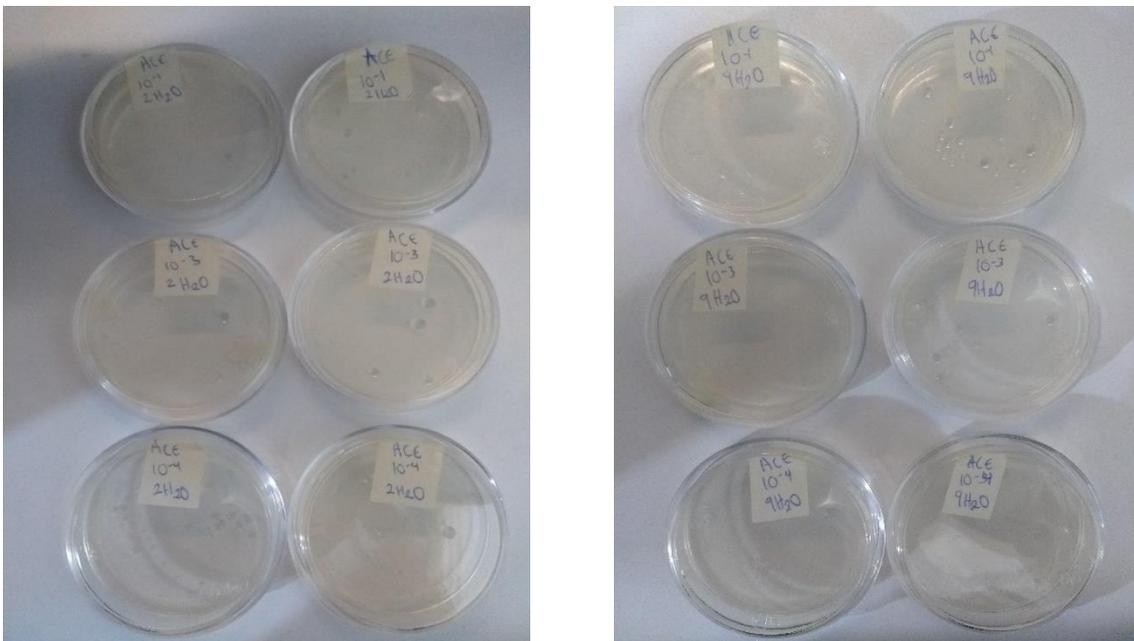
**Figura 17.** Resultado de mesófilos aeróbicos y sus duplicados para la formulación 2 y 7 de izquierda a derecha respectivamente, con una matriz de bebida vegetal de arroz, del día 1. De arriba hacia abajo diluciones  $10^{-1}$ ,  $10^{-3}$  y  $10^{-4}$



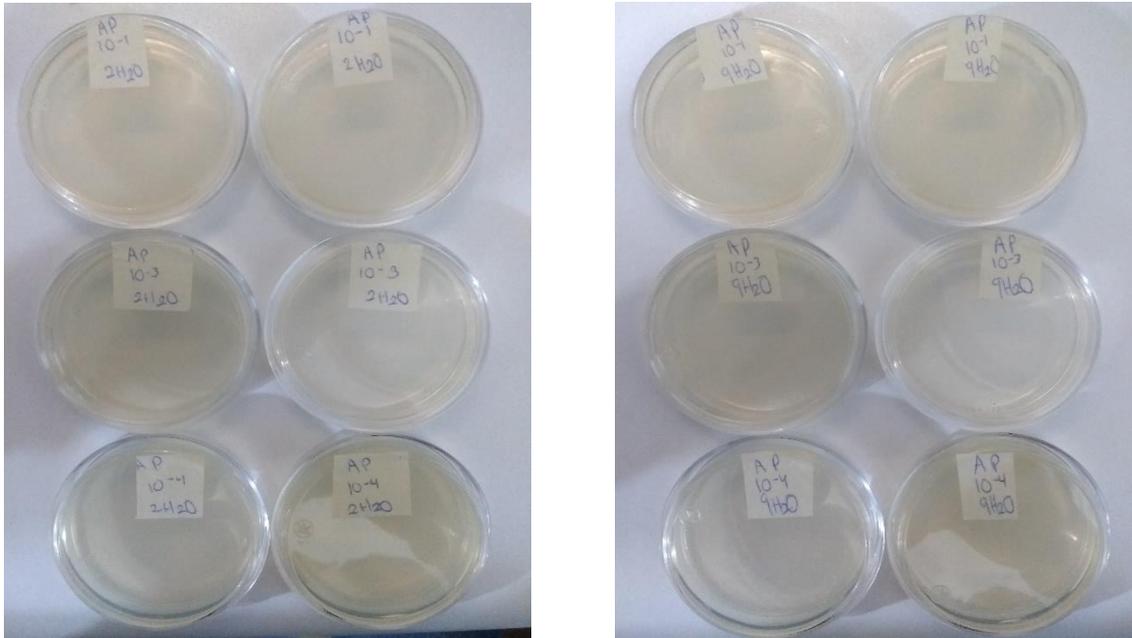
**Figura 18.** Resultado de hongos y levaduras y sus duplicados para la formulación 2 y 7 de izquierda a derecha respectivamente, con una matriz de bebida vegetal de arroz, del día 1. De arriba hacia abajo diluciones  $10^{-1}$ ,  $10^{-3}$  y  $10^{-4}$



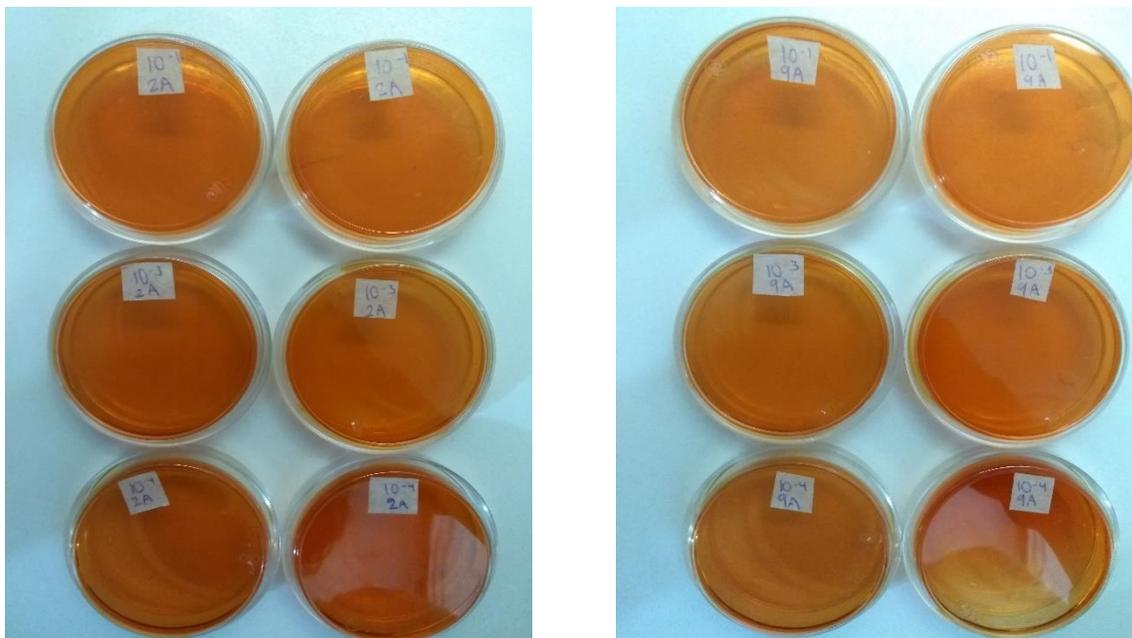
**Figura 19.** Resultado de enterobacterias y sus duplicados para la formulación 2 y 7 de izquierda a derecha respectivamente, con matriz agua, del día 7. De arriba hacia abajo diluciones  $10^{-1}$ ,  $10^{-3}$  y  $10^{-4}$ .



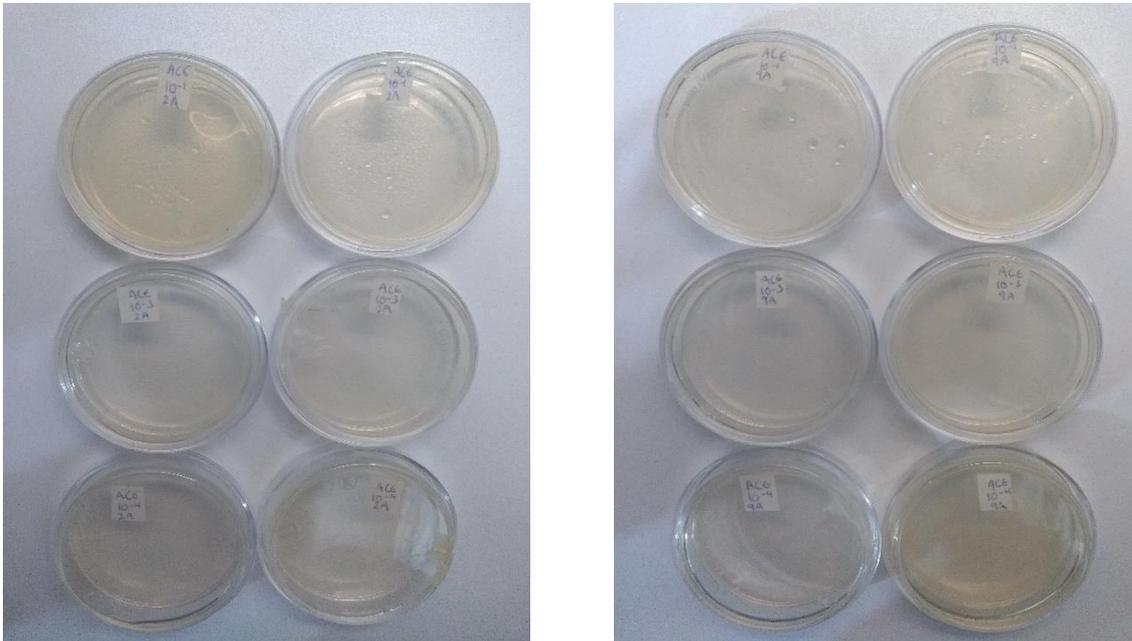
**Figura 20.** Resultado de mesófilos aerobios y sus duplicados para la formulación 2 y 7 de izquierda a derecha respectivamente, con matriz agua, del día 7. De arriba hacia abajo diluciones  $10^{-1}$ ,  $10^{-3}$  y  $10^{-4}$ .



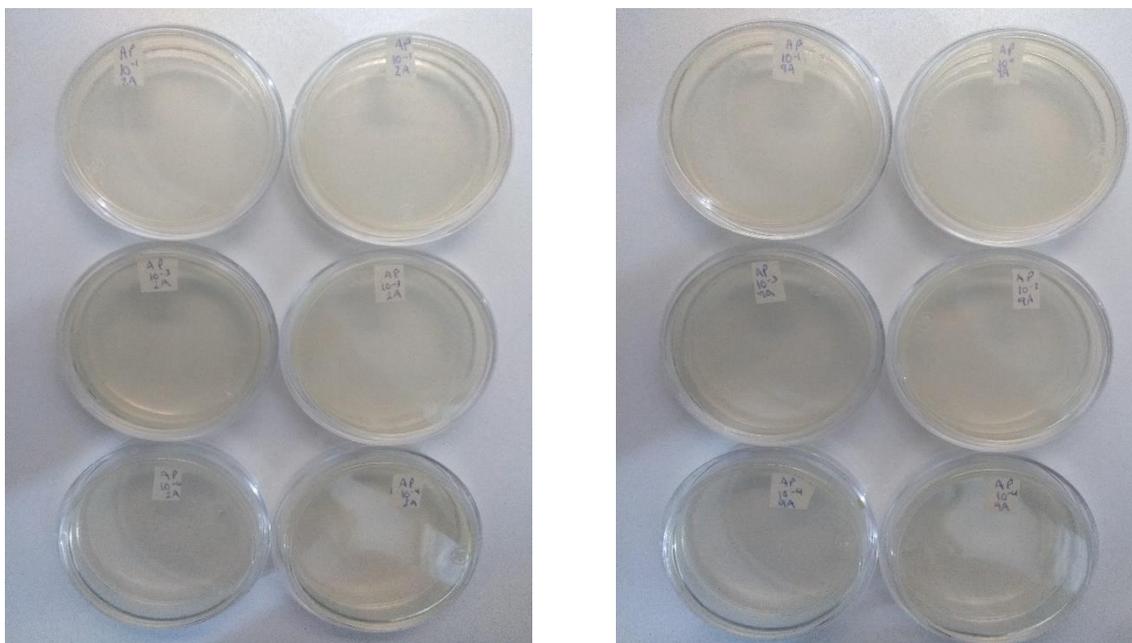
**Figura 21.** Resultado de hongos y levaduras y sus duplicados para la formulación 2 y 7 de izquierda a derecha respectivamente, con matriz agua, del día 7. De arriba hacia abajo diluciones  $10^{-1}$ ,  $10^{-3}$  y  $10^{-4}$ .



**Figura 22.** Resultado de enterobacterias y sus duplicados para la formulación 2 y 7 de izquierda a derecha respectivamente, con una matriz de bebida vegetal de arroz, del día 7. De arriba hacia abajo diluciones  $10^{-1}$ ,  $10^{-3}$  y  $10^{-4}$ .



**Figura 23.** Resultado de mesófilos aerobios y sus duplicados para la formulación 2 y 7 de izquierda a derecha respectivamente, con una matriz de bebida vegetal de arroz, del día 7. De arriba hacia abajo diluciones  $10^{-1}$ ,  $10^{-3}$  y  $10^{-4}$ .



**Figura 24.** Resultado de hongos y levaduras y sus duplicados para la formulación 2 y 7 de izquierda a derecha respectivamente, con una matriz de bebida vegetal de arroz, del día 7. De arriba hacia abajo diluciones  $10^{-1}$ ,  $10^{-3}$  y  $10^{-4}$ .

ANEXO 11. ANOVA de las pruebas de evaluación sensorial: agrado en general y de sabor.

Análisis de varianza para el nivel de agrado de sabor, para cuatro formulaciones.

<b>Fuente</b>	<b>GDL</b>	<b>Suma de los cuadrados</b>	<b>Media de los cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Pr &gt; F</b>
<b>Modelo</b>	3	22.2447	7.4149	2.3625	0.0710
<b>Error</b>	364	1142.4401	3.1386		
<b>Total corregido</b>	367	1164.6848			

Análisis de las diferencias entre las categorías con un intervalo de confianza de 95%

<b>Categoría</b>	<b>Media</b>	<b>Grupos</b>
<b>B</b>	4.8370	A
<b>D</b>	4.4348	A B
<b>C</b>	4.3077	B
<b>A</b>	4.1828	B

Análisis de varianza para el nivel de agrado general, para cuatro formulaciones.

<b>Fuente</b>	<b>GDL</b>	<b>Suma de los cuadrados</b>	<b>Media de los cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Pr &gt; F</b>
<b>Modelo</b>	3	12.6437	4.2146	1.0925	0.3524
<b>Error</b>	329	1269.2482	3.8579		
<b>Total corregido</b>	332	1281.8919			

ANEXO 12. ANOVAS de las pruebas de evaluación sensorial: JAR

Análisis de varianza de la prueba JAR, para las formulaciones 2 y 7 en matriz agua (atributo dulzor)

<b>Fuente</b>	<b>GDL</b>	<b>Suma de los cuadrados</b>	<b>Media de los cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Pr &gt; F</b>
<b>Modelo</b>	1	2.4500	2.4500	2.8097	0.0955
<b>Error</b>	178	155.2111	0.8720		
<b>Total corregido</b>	179	157.6611			

Análisis de varianza de la prueba JAR, para las formulaciones 2 y 7 en matriz agua (atributo acidez)

Fuente	GDL	Suma de los cuadrados	Media de los cuadrados	F	Pr > F
<b>Modelo</b>	1	3.756	3.756	2.660	0.105
<b>Error</b>	178	251.356	1.412		
<b>Total corregido</b>	179	255.111			

Análisis de varianza de la prueba JAR, para las formulaciones 2 y 7 en matriz agua (atributo sabor uva)

Fuente	GDL	Suma de los cuadrados	Media de los cuadrados	F	Pr > F
<b>Modelo</b>	1	6.368	6.368	7.544	<b>0.007</b>
<b>Error</b>	171	144.337	0.844		
<b>Total corregido</b>	172	150.705			

Análisis de varianza de la prueba JAR, para las formulaciones 2 y 7 en la matriz de la bebida vegetal de arroz (atributo dulzor)

Fuente	GDL	Suma de los cuadrados	Media de los cuadrados	F	Pr > F
<b>Modelo</b>	1	2.2222	2.2222	2.7666	0.0980
<b>Error</b>	178	142.9778	0.8032		
<b>Total corregido</b>	179	145.2000			

Análisis de varianza de la prueba JAR, para las formulaciones 2 y 7 en la matriz de la bebida vegetal de arroz (atributo acidez)

Fuente	GDL	Suma de los cuadrados	Media de los cuadrados	F	Pr > F
<b>Modelo</b>	1	0.272	0.272	0.196	0.658
<b>Error</b>	178	246.678	1.386		
<b>Total corregido</b>	179	246.950			

Análisis de varianza de la prueba JAR, para las formulaciones 2 y 7 en la matriz de la bebida vegetal de arroz (atributo sabor mango)

Fuente	GDL	Suma de los cuadrados	Media de los cuadrados	F	Pr > F
<b>Modelo</b>	1	0.865	0.865	0.925	0.338
<b>Error</b>	171	159.887	0.935		
<b>Total corregido</b>	172	160.751			

## ANEXO 13. Resumen del trabajo para el congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería.



### DESARROLLO DE UNA BEBIDA ADICIONADA CON PROTEÍNA VEGETAL USANDO MUCÍLAGO DE *OPUNTIA FICUS INDICA* COMO ESTABILIZANTE

Córdova Aguilar M. S., Peña-Tapia D. X., Martínez-Arellano, I., Departamento de Ingeniería de Proceso, Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología, UNAM. Coyoacán CDMX, C.P. 04510, [isadora.martinez@icat.unam.mx](mailto:isadora.martinez@icat.unam.mx)

**Palabras clave:** mucilago, estabilizante y bebida funcional.

**Introducción.** Cada año en México se desperdicia 37% de la producción de 34 productos, entre ellos, el nopal (1), debido a lo cual se busca una alternativa para el aprovechamiento de este alimento. Los cladodios (pencas), en particular, son ricos en mucilago que es un hidocoloide con la capacidad de formar redes intermoleculares que retienen fuertemente altas cantidades de agua, es por ello que funciona como gelificante, espesante o emulsificante. Por otro lado, las legumbres contienen el doble de proteínas que los cereales y existe una complementación entre ellos con los aminoácidos lisina y metionina. Uno de los problemas nutricionales más serios es la malnutrición proteoenergética (MPE) y de mayor prevalencia en casi todos los países (2). Por tanto, el objetivo de este trabajo fue desarrollar una bebida funcional utilizando mucilago de nopal y goma guar como estabilizantes enriquecida con proteína de varias legumbres y un pseudocereal utilizando como matriz una bebida vegetal de arroz.

**Metodología.** Extracción mecánica del mucilago de nopal: libre de solventes (3). Harinas de legumbres: método establecido en laboratorio de Ing. de Proceso (4). Harina de pseudocereal (4). La elaboración de las bebidas se realizó con un diseño de mezclas (*Statgraphics*). La selección de los hidocoloides con pruebas reológicas: en el reómetro de esfuerzo controlado (Anton Para Physica MCR101) a 25 °C.

#### Resultados

**Tabla 1.** Caracterización fisicoquímica de mucilago de nopal *Opuntia ficus indica*.

Parámetro	Mucilago	Mucilago seco
pH	4.27±0.0058	-
Aw	1.0020±0.0004	0.3044±0.0028
Densidad (g/ml.)	1.0172±0.0006	0.8340.13
Humedad (%)	92.5	-
Brix	4.6	-
Salinidad (%)	3.6	-
Índice de refracción a 21.4°C	1.339	-
Potencial Z (mV)	6.18±0.58	-
Sólidos no extractibles (%)	1.836 ± 0.106	-
Sólidos extractibles (%)	3.370 ± 0.106	-
ADMs	94.890 ± 0.173	-

El pH del mucilago (Tabla 1) fue ácido, lo que afectó la solubilidad de las proteínas. El aw menor a 0.55 y la humedad menor a 15% en el mucilago seco reducen la presencia de microorganismos y previenen el deterioro del heteropolisacárido.

La cantidad de proteína proveniente de las legumbres y del pseudocereal para cada una de las formulaciones fue dentro de un intervalo de 1 a 7 g, la cantidad de goma guar y mucilago fueron constantes.

**Tabla 3.** Parámetros reológicos de la bebida.

Muestra	n	K	R <sup>2</sup>
Bebida de arroz	1.264	0.0582	0.9737
Bebida de arroz con goma guar	1.162	0.0585	0.9835
Bebida de arroz con mucilago	1.170	0.0676	0.9838
Bebida de arroz con mucilago y goma guar	1.255	0.1097	0.9622
Formulación 1	1.349	0.9547	0.9909
Formulación 2	1.255	0.3095	0.9684
Formulación 3	1.267	0.4753	0.9953

Las formulaciones y la bebida de arroz, con mucilago y goma guar, obedecieron la Ley de Potencia y presentaron un comportamiento reofluidizante (Tabla 3). Se observa que la bebida de arroz con mucilago y goma guar, y la formulación 1 tienen valores mayores de k respecto a las otras, lo que indica una mayor viscosidad. Debido al elevado número de grupos hidroxilo y a la formación de puentes de hidrogeno provenientes del mucilago y la goma guar, y, a su vez, por el aumento de los sólidos totales que implica el agregar los hidocoloides. Para la formulación 1 se ha demostrado que el amaranto y el garbanzo actúan como agentes espesantes; por tanto, al tener más cantidad en las formulaciones de los mismos se justifica su mayor viscosidad (5).

**Conclusiones.** El mucilago actúa como estabilizante a una concentración de 3%. La velocidad de sedimentación de la proteína agregada disminuye y en sinergia con la goma guar, se obtiene una bebida más estable.

**Agradecimientos.** Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Ciudad de México, proyecto SECITI/097/2017 CDMX; Ing. Abel Blancas Cabrera Unidad de Bioprocesos del Instituto de Investigaciones Biomédicas-UNAM; Laboratorio Universitario de Caracterización Espectroscópica (ICAT-UNAM)

#### Bibliografía.

- Beceril A. y Ballinas V. (17 de noviembre de 2017). En México se desperdician al año 20.4 millones de toneladas de alimentos. La jornada.
- FAO. (2002). Nutrición humana en el mundo en desarrollo (Parte 1: Causas de la malnutrición). [En línea]. Disponible en <http://www.fao.org/3/w0073s/w0073s00.htm#Contents> [Último acceso 23/02/2019].
- Reyes-Ocampo, I. et al., 2019. Solvent-free mechanical extraction of *Opuntia ficus-indica* mucilage. *Journal of food Processing Engineering*. 42(1): e12954-e12963
- Velázquez M et al. 2018. Cooked and dried process standardization for legumes to obtain flours for nutritional supplements. *MFE 18 Extended Abstract*. 2(2): 5-10. ISSN 2617-3387.
- Toxle G et al. 2018. Use of mucilage of *Opuntia Ficus indica* as dispersing agent for vegetable protein suspensions. *MFE 18 Extended Abstract*. 2 (2): 25-30. ISSN 2617-3387.



Sociedad Mexicana de  
Biotecnología y Bioingeniería