



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

**Desarrollo de una bebida obtenida de tomate de árbol
(*Cyphomandra betacea*) enriquecida con aloe vera
(*Aloe barbadensis* Miller)**

Jorge Antonio Figueroa Flórez

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agrarias
Departamento de Ingeniería Agrícola y de Alimentos
Medellín, Colombia
2016

**Desarrollo de una bebida obtenida de tomate de árbol
(*Cyphomandra betacea*) enriquecida con aloe vera
(*Aloe barbadensis* Miller)**

Jorge Antonio Figueroa Flórez

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Ingeniería Agroindustrial

Director:

Ph.D., Carlos Julio Márquez Cardozo

Codirector:

Ph.D., Héctor José Ciro Velásquez

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agrarias
Departamento de Ingeniería Agrícola y Alimentos
Medellín, Colombia
2016

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Medellín, 06 Mayo de 2016

(Dedicatoria)

*A vuestro Dios, por su inmensa misericordia.
Gracias por tus bendiciones, Dios. ¡Gracias!.*

*A mis padres y hermanos por su apoyo
incondicional. ¡Eterna gratitud!*

Agradecimientos

A vuestro Dios, por ser guía y maestro incondicional en cada momento de nuestras vidas. Gracias Dios por brindarnos sabiduría, discernimiento y fortaleza en nuestro andar.

A mis padres, porque a pesar de miles de adversidades, siempre han sido el sustento y fortín en la superación profesional de sus hijos. A mis hermanos, por estar siempre presentes, y ser un muto apoyo para alcanzar metas conjuntas.

Al docente Carlos Julio Márquez Cardozo, por ser un guía en las diferentes actividades que conllevaron a la realización de la presente investigación.

Al profesor Héctor José Ciro Velásquez, por su valioso tiempo en actividades de acompañamiento y asesoría, para la culminación satisfactoria del presente trabajo de maestría.

Al Doctor Jairo Salcedo Mendoza por brindarnos la oportunidad de incursionar en el campo de la investigación, apoyo y aporte a través de sus conocimientos.

Al grupo de investigación “Procesos Agroindustriales y Desarrollo Sostenible (PADES)”, por los servicios técnicos proporcionados para la ejecución de ciertas actividades, en las instalaciones de la Universidad de Sucre.

A todas aquellas amistades que me apoyaron durante este largo recorrido, especialmente a Karen Contreras Lozano por su maravilloso aporte, compañerismo y colaboración.

A la Dirección de Investigación de la Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín (DIME), por la financiación parcial de la investigación.

Resumen

La estabilidad de suspensiones alimentarias es un factor importante durante el desarrollo, procesamiento y comercialización, a razón de ofrecer un producto de calidad al consumidor. El objetivo del presente estudio consistió en evaluar el efecto de la adición de hidrocoloides y gel de aloe vera sobre propiedades fisicoquímicas, sensoriales, reológicas y de estabilidad en bebidas formuladas a partir de pulpa de tomate de árbol. Los resultados mostraron que altas concentraciones de hidrocoloides controlaron la separación de fases de las bebidas durante el almacenamiento. Los tratamientos T11 y T16 se definen como tratamientos más adecuados en la estabilidad física de las bebidas, expresado en nulas velocidades de sedimentación y altos valores de potencial ζ ($>40\text{mV}$), sin afectar significativamente las propiedades fisicoquímicas y parámetros de color. La incorporación del gel de aloe vera afectó significativamente el pH y acidez titulable ($p<0,05$), pero su efecto en la inestabilidad física no fue significativo. Las características reológicas de las bebidas fueron evaluadas mediante ensayos rotacionales y oscilatorios. Los resultados mostraron que para el rango de concentraciones y temperaturas estudiadas, las bebidas formuladas muestran un comportamiento pseudoplástico donde el modelo de Ley de Potencia mostró el mejor ajuste con relación a los datos experimentales. Los ensayos oscilatorios mostraron la predominancia del módulo elástico ($G'>G''$) en todo el rango de frecuencia. Los tratamientos T11, T18 y T16 se valoran como los más adecuados, asociado al aumento del coeficiente de consistencia (K) y la tendencia de los valores de la tangente de pérdida $\tan \delta$ ($<0,8$) que se asumen como excelente indicadores de estabilidad en suspensiones.

Palabras clave: Hidrocoloides, sedimentación, potencial ζ , estabilidad, reología.

Abstract

The stability of suspensions food is an important factor for the development, processing and marketing, to reason to offer a quality product to the consumer. The aim of this study was to evaluate the effect of the addition of hydrocolloids and aloe vera gel on physicochemical, sensory, rheological and stability in beverages made from tree tomato pulp properties. The results showed that high concentrations of hydrocolloid controlled phase separation of beverages during storage. Treatments T11 and T16 defined as most appropriate treatments in the physical stability of the beverages, defined as adequate physical stability in the beverage treatments, expressed at low settling rates and high values of zeta potential ($>30\text{mV}$), without significantly affecting the physicochemical properties and parameters of color. The addition of aloe vera gel significantly affect the pH and titratable acidity ($p < 0,05$), but its effect on the physical instability was not significant. The rheological characteristics of the drinks were evaluated by rotational and oscillatory tests. The results showed that for the range of concentrations and temperatures studied drinks made show shear thinning where the power law model showed the best fit with respect to the experimental data. The oscillatory tests showed the predominance of elastic modulus ($G' > G''$) throughout the frequency range. Treatments T11, T18 and T16 are measured as the best treatments, associated with increased consistency coefficient (K) and the trend of the values of loss tangent $\tan \delta$ ($\delta < 0,8$) which are assumed to be excellent indicators of stability in suspensions.

Keywords: Hydrocolloids, sedimentation, Z potential, stability, rheology.

Contenido

Pág.

Resumen.....	X
Lista de figuras	XIV
Lista de tablas	XVII
Lista de símbolos y abreviaturas.....	XVIII
Introducción	1
1. Capítulo 1. Objetivos	3
1.1 Objetivo General	3
1.2 Objetivos Específicos	3
2. Capítulo 2. Marco Teórico	4
2.1 Tomate de árbol: Generalidades	4
2.3 Aloe vera en la formulación de alimentos funcionales	8
2.4 Hidrocoloides	11
2.5 Estabilidad de suspensiones	13
2.6 Reología de suspensiones	16
2.6.1 Importancia de la reología en suspensiones alimentarias	16
2.6.2 Viscosidad de una suspensión.....	18
2.6.3 Modelos reológicos.....	19
2.6.4 Viscoelasticidad.....	21
3. Capítulo 3. Efecto de la incorporación de hidrocoloides y aloe vera en las propiedades fisicoquímicas y grado de estabilidad de bebidas de tomate de árbol (<i>Cyphomandra betacea</i>).....	25
4. Capítulo 4. Efecto de la incorporación de hidrocoloides y aloe vera (<i>Aloe barbadensis</i>) en las propiedades reológicas de bebidas de tomate de árbol (<i>Cyphomandra betacea</i>)	455

5. Conclusiones y recomendaciones.....	65
5.1 Conclusiones	65
5.2 Recomendaciones	66
A. Anexo: Formato Análisis Sensorial	67
B. Anexo: Análisis Estadístico.....	68
Bibliografía	77

Lista de figuras

Pág.

Figura 2-1: Comportamiento típico de fluidos independientes del tiempo: 1) Newtoniano, 2) Pseudoplástico, 3) Dilatante, 4) Plástico de Bingham, 5) Herschel–Bulkley. (Zhong y Daubert, 2007).	20
Figura 2-2: Ilustración de una prueba de barrido de deformación típica utilizada para determinar el límite de régimen viscoelástico lineal de un material (Steffe, 1996).	22
Figura 2-3: Comportamiento de un material sometido a un ensayo oscilatorio (Rao, 2006)	23
Figura 3-1: Superficies de respuesta para comportamiento de potencial ζ : (A) aloe vera al 0,5% (punto mínimo), (B) aloe vera al 1,5% (punto máximo).	32
Figura 3-2: Distribución de tamaño de partículas en bebidas de tomate de árbol.....	33
Figura 3-3: Comportamiento del índice de sedimentación en bebidas de tomate de árbol, durante el almacenamiento a temperatura de 10°C.	34
Figura 3-4: Superficies de respuesta para comportamiento de la turbidez en bebidas de tomate de árbol: A) Aloe vera al 0,5%, B) Aloe vera al 1,5%.	36
Figura 3-5: Superficies de respuesta para el comportamiento de la viscosidad de la fase sobrenadante en bebidas de tomate de árbol: A) Aloe vera al 0,5%, B) Aloe vera al 1,5 %.	38
Figura 4-1: Comportamiento reológico de la bebida de tomate de árbol a diversas temperaturas: (A) Control, (B) Punto mínimo, (C) Punto medio y (C) Punto máximo.....	50
Figura 4-2: Superficies de respuesta para coeficiente de consistencia (K) y factor de frecuencia (K_0): A) K a 10°C y aloe al 0,5%, B) A) K a 10°C y aloe al 1,5%; C) K_0 para aloe al 0,5%, D) K_0 para aloe al 1,5%.	53
Figura 4-3: A) Superficies de respuesta para índice de flujo (n) a 10°C: A) Aloe al 0,5%, B) Aloe al 1,5%.	54

- Figura 4-4:** Comportamiento viscoelástico de bebidas de tomate de árbol a temperatura de 10, 30 y 50°C: (A) Control, (B) Punto mínimo, (C) Punto central, y (D) Punto máximo. **56**
- Figura 4-5:** Comportamiento de la tangente o factor de pérdida (δ) en función de la temperatura en bebidas de tomate de árbol. A) Control, B) Punto mínimo, C) Punto medio, D) Punto máximo..... **58**
- Figura 4-6:** Superficie de respuesta para tangente de pérdida ($\tan \delta$) a 10°C y 0,1 Hz. A) Aloe vera al 0,5% (punto mínimo), B) Aloe vera al 1,5% (punto máximo)..... **59**

Lista de tablas

Pág.

Tabla 2-1: Caracterización química y nutricional del tomate de árbol (<i>Cyphomandra betacea</i>) (Castro, 2013).	5
Tabla 2-2: Producción nacional de tomate de árbol para el año 2013 (MADR-EVA, 2015).	7
Tabla 2-3: Componentes y propiedades del aloe vera (<i>Aloe barbadensis</i> Miller).....	9
Tabla 2-4: Hidrocoloides como estabilizantes en dispersiones alimentarias	11
Tabla 2-5: Criterios de estabilidad con base al potencial ζ (Schramm, 2005).	16
Tabla 2-6: Parámetros reológicos en algunas dispersiones alimentarias.....	19
Tabla 2-7: Modelos reológicos de fluidos no-newtonianos independientes del tiempo. (Mezger, 2006).....	20
Tabla 3-1: Factores analizados y codificación de los niveles establecidos	29
Tabla 3-2: Propiedades fisicoquímicas de pulpa de tomate de árbol (<i>Cyphomandra betacea</i> cv. <i>Sendtn</i>) y gel de aloe vera (<i>Aloe barbadensis</i> Miller).	30
Tabla 3-3: Propiedades fisicoquímicas de bebidas de tomate de árbol	30
Tabla 3-4: Análisis estadístico de coeficientes de regresión para comportamiento de propiedades fisicoquímicas de bebidas de tomate de árbol.	31
Tabla 3-5: Tamaño de partícula y parámetros de color en bebidas de tomate de árbol..	33
Tabla 3-6: Índice, velocidad de sedimentación (v) y turbidez en bebidas de tomate de árbol.	35
Tabla 3-7: Análisis estadístico de coeficientes de regresión para comportamiento de velocidad de sedimentación, tamaño de partícula y parámetros de color.....	36

Tabla 3-8: Características fisicoquímicas de la fases, sobrenadante y sedimentada, en bebidas de tomate de árbol.	37
Tabla 3-9: Parámetros de color y evaluación sensorial en bebidas de tomate de árbol .	39
Tabla 4-1: Modelos reológicos estudiados.	47
Tabla 4-2: Factores analizados y codificación de los niveles establecidos.	48
Tabla 4-3: Parámetros de modelos reológicos estimados en bebidas de tomate de árbol, bajo condiciones de temperatura a 30°C.	49
Tabla 4-4: Coeficiente de consistencia K (Pa.s ⁿ) estimado a partir del modelo de ley de potencia en función de la temperatura y ajustado al modelo de Arrhenius.	51
Tabla 4-5: Índice de comportamiento de flujo (n) estimado del modelo de ley de potencia, en función de la temperatura y ajuste al modelo de Arrhenius.	52
Tabla 4-6: Análisis de coeficientes de regresión para coeficiente de consistencia K , factor de consistencia (K_0) e índice de flujo n	53
Tabla 4-7: Parámetros viscoelásticos estimados según el modelo de ley de potencia, en bebidas de tomate de árbol a temperatura de 30°C.	57
Tabla 4-8: Efectos del modelo de regresión para tangente de pérdida (δ) a 10°C y 0,1 Hz.	60

Lista de símbolos y abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
a^*	Parámetro de color (rojo – verde)	-	Ec. 3.5
b^*	Parámetro de color (azul – amarillo)	-	Ec. 3.5
D	Diámetro medio de la partícula	μm	Ec. 2.1
D[3,2]	Diámetro medio superficie-área	μm	Ec. 3.1
D[4,3]	Diámetro medio volumen	μm	Ec. 3.2
E_a	Energía de activación	J/mol	Ec. 2.3
G'	Módulo de almacenamiento	Pa	Ec. 2.12
G''	Módulo de pérdida	Pa	Ec. 2.13
Ha	Hectárea	-	Sección 2.2
IS	Índice de sedimentación	%	Ec. 3.3
IS _{eq}	Índice de sedimentación en el equilibrio	%	Ec. 3.4
K	Coeficiente de consistencia	Pa.s ⁿ	Sección 2.6.2
K_0	Factor de frecuencia	Pa.s ⁿ	Capítulo 4
K'	Parámetro de ajuste	Pa.s ^{n'}	Ec. 4.3
K''	Parámetro de ajuste	Pa.s ^{n''}	Ec. 4.3
L^*	Luminosidad	-	Ec. 3.5
n	Índice de flujo	-	Sección 2.6.2
n_i	Número de partículas	-	Ec. 3.1
n'	Parámetro de ajuste	-	Ec. 4.3
n''	Parámetro de ajuste	-	Ec. 4.3
R	Constante universal de los gases	J/mol.K	Ec. 2.3
R^2	Coeficiente de determinación	-	Capítulo 3
t	Tiempo	H	Ec. 3.4
T	Temperatura absoluta	K	Ec. 2.3
v	Velocidad de sedimentación	h ⁻¹	Ec. 3.4
Z	Factor de aceleración	-	Ec. 2.1

Símbolos con letras griegas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
δ	Ángulo de desfase o pérdida	°	Ec. 2.14
ΔE	Diferencia total de color	-	Ec. 3.5
$\dot{\gamma}$	Tasa de corte	s ⁻¹	Ec. 2.2
γ	Amplitud de deformación	%	Ec. 2.7
μ	Viscosidad aparente	Pa.s	Ec. 2.2
σ	Esfuerzo de corte	Pa	Ec. 2.2
σ_o	Amplitud del esfuerzo de corte	Pa	Ec. 2.8
ρ_p	Densidad media de la partícula	m ³ /kg	Ec. 2.1
ρ_f	Densidad media del fluido	m ³ /kg	Ec. 2.1
ω	Frecuencia angular	rad/s	Ec. 2.7
ζ	Potencial zeta	mV	Sección 2.5

Abreviaturas

Abreviatura	Término
CME	Cuadrado medio del error
GX	Goma Xantan
CMC	Carboximetilcelulosa
SST	Sólidos solubles totales
Abs	Absorbancia

Introducción

El tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* S.) es un cultivo de gran importancia socioeconómica para la región Andina Colombiana, debido a que es fuente de sustento para los pequeños y medianos productores. Este producto se ha convertido en un fruto promisorio exportable, y la variedad anaranjada ha sido la más aceptada a nivel internacional, atendiendo a su color y características nutricionales (Márquez *et al.*, 2007). En Colombia, el cultivo de tomate de árbol ocupa una superficie de 8.399 hectáreas, y el departamento de Antioquia participando con una producción de 2.212 hectáreas y un rendimiento de 33,6 t/ha (MADR-EVA, 2015) es la región más productora del país. No obstante, a pesar de ser un producto de bajo coste económico se reportan cuantiosas pérdidas postcosecha, afectando el nivel de ingresos de los productores. La presentación en fresco constituye la principal fuente de comercialización, y la falta de alternativas de transformación, dificultan la generación de valor agregado y aprovechamiento de materias primas clasificadas como de segunda o tercera calidad.

La incorporación de frutas tropicales en la producción de jugos, es una alternativa para reducir las pérdidas poscosecha, excedentes de producción y otorgar valor agregado al producto. Un jugo de fruta es considerado un sistema multifásico determinado por una fase continua constituida por una disolución de azúcares, sales y otros solutos; y una fase dispersa que consta de otros solutos como proteínas, grasas, vitaminas, entre otros (Duque *et al.*, 2011). Estos compuestos al ser reconstituidos en agua se convierten en un sistema complejo donde se forman dispersiones que afectan las condiciones de estabilidad y características sensoriales de las bebidas, asociado a mecanismos de inestabilidad como la sedimentación o floculación, atenuando el grado de aceptación del producto por parte del consumidor (Genovese *et al.*, 1997). Estudios subrayan las propiedades funcionales y nutraceuticas de gel de Aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller), pero su inclusión en suspensiones alimentarias puede afectar la estabilidad física, dado que es un gel mucilaginoso formado por carbohidratos, aminoácidos, lípidos, esteroides, minerales y vitaminas (Choi y Chung, 2003; Hamman, 2008; Domínguez *et al.*, 2012).

Los hidrocoloides son polisacáridos o sustancias de alto peso molecular, utilizados en suspensiones alimentarias como estabilizantes, debido a que aumentan la viscosidad de la fase continua y conducen a la ionización de partículas en soluciones acuosas (Genovese y Lozano, 2006). Dado que las partículas en bebidas de frutas están cargadas negativamente, se espera que la adición de hidrocoloides aniónicos aumente las fuerzas de repulsión electrostática entre partículas. La goma xantán (GX) y carboximetilcelulosa (CMC) son polisacáridos hidrofílicos cargados negativamente, conduciendo a la estabilización estérica y electrostática de partículas insolubles (Genovese y Lozano, 2001; Liang *et al.*, 2006). A pesar que se utilizan en pequeñas concentraciones (<1,0% p/p), tienen una alta capacidad de retención de agua logrando regular las características

reológicas y texturales de sistemas alimentarios, la creación de una estructura tipo gel y brindar estabilidad física (Sahin y Ozdemir, 2007).

Con la realización de esta investigación se persigue el desarrollo de bebidas funcionales como una opción al aprovechamiento agroindustrial del tomate de árbol, darle valor agregado al producto y potencializar la cadena productiva. Es de interés, perseguir la implementación de tecnologías para la elaboración de una bebida funcional, que pueda ser escalada al sector público o privado. Además, se pretende ofrecer un producto de buena calidad incorporando gel de aloe vera como componente fisiológicamente activo, potencializando la aplicación de los conceptos de alimentos sanos y seguros. Como resultado de esta investigación se espera tener un efecto significativo en el campo de Ciencia, Tecnología e Innovación, mediante el desarrollo de una nueva alternativa para la producción de bebidas funcionales de tomate de árbol, el cual no podría potencializarse como innovador en el mercado agroindustrial beneficiando tanto a productores como consumidores, resaltando que es una fruta de alto consumo a nivel doméstico. Asimismo, se pretende consolidar la formación de conocimiento en el área de reología y estabilidad de suspensiones de naturaleza biológica, área de investigación que está abriendo espacio en el área agroalimentaria, información significativa y necesaria para consolidar la transferencia tecnológica hacia las agroindustrias productoras y transformadoras de frutas.

En Colombia no se han desarrollado suficientes investigaciones relacionadas con la estabilidad de bebidas funcionales de jugos de frutas utilizando coloides hidrofílicos. Por lo tanto, se busca establecer las bases para solucionar un problema de interés en el sector alimentario derivado de la inestabilidad coloidal que se presenta en el desarrollo de bebidas a base de pulpa de fruta, que merman la calidad sensorial y comercial del producto, afectando el proceso de comercialización. La generación de nuevos conocimientos específicamente en el área de estabilidad de suspensiones, contribuirá a la formación de profesionales en el área con miras a disminuir las brechas tecnológicas existentes en temáticas relacionadas con el manejo, caracterización y desarrollo de soluciones, suspensiones y emulsiones de carácter agroalimentario.

En consecuencia, se establece como objetivo general de la investigación desarrollar una bebida funcional de tomate de árbol evaluando el efecto de la adición de hidrocoloides (goma xantán y carboximetilcelulosa sódica) y gel de aloe vera sobre propiedades fisicoquímicas, sensoriales, reológicas y de estabilidad. Para ello se seguirá un plan metodológico definido en tres fases: Fase I correspondiente a la formulación y caracterización fisicoquímica y sensorial de los bebidas de tomate de árbol; Fase II que consistirá en la caracterización reológica de los bebidas, basada en ensayos rotacionales y oscilatorios, en función de la temperatura; y la Fase III correspondiente a la evaluación del grado de estabilidad coloidal de las bebidas formuladas.

1. Capítulo 1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Desarrollar una bebida funcional de tomate de árbol evaluando el efecto de la adición de hidrocoloides y gel de aloe vera.

1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar fisicoquímica y sensorialmente bebidas de tomate de árbol adicionando hidrocoloides y gel de aloe vera.
- Determinar el comportamiento reológico de las bebidas formuladas, a partir de ensayos rotacionales y oscilatorios.
- Evaluar el grado de inestabilidad coloidal y separación de fases en las bebidas formuladas.

2. Capítulo 2. Marco Teórico

2.1 Tomate de árbol: Generalidades

El tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* S.) o tamarillo, es una planta perteneciente a la familia de las Solanáceas. El centro de origen se encuentra en Sudamérica, donde son nativas la gran mayoría de las especies de *Cyphomandra*. Su cultivo se da en regiones con climas fríos no tan fuertes, caracterizados por temperaturas entre 14 y 20°C, logrando sus mejores rendimientos entre 15 y 18°C. Puede cultivarse en alturas que van desde los 1600 hasta los 2400 msnm (Restrepo y Chavarriaga, 2007).

Es una fruta exótica con delicioso sabor y aroma. El fruto es una baya alargada en forma ovalada o elíptica, puntiaguda en ambos extremos, y coronada por un cáliz cónico persistente y un largo pedicelo. El tamaño del fruto maduro oscila entre 4 y 10 cm de largo, y entre 3 y 5 cm de diámetro (Meza y Méndez, 2009). La piel (exocarpio) es suave, y según el tipo de fruto puede ser de color púrpura, rojo oscuro, anaranjado, amarillo o rojo, a veces con un veteado oscuro en sentido longitudinal. El color de la pulpa (mesocarpio) también varía en función del tipo, de rojizo o anaranjado a amarillo o blancuzco. Tiene numerosas semillas distribuidas en dos lóculos y rodeadas por un tejido mucilaginoso negro en los frutos de color púrpura o rojo, y amarillo en los de color amarillo o anaranjado. La piel es de textura áspera y sabor desagradable, la pulpa, succulenta y un poco insípida, y el tejido que rodea a las semillas, jugoso y de sabor agrídulce (Lucas *et al.*, 2011; Castro, 2013).

En Colombia se producen dos variedades de tomate de árbol, el tomate gigante anaranjado y el tomate gigante morado (García, 2008; Osorio *et al.*, 2012). El tomate gigante anaranjado, es la variedad más conocida y comercializada. La corteza es de color roja-anaranjada cuando está madura y presenta rayas verticales de color marrón-verdoso. Tiene un tamaño promedio de 5,0 cm de ancho por 8,0 cm de largo. La pulpa es anaranjada y contiene cerca de 240 semillas por fruto. En cambio, los frutos de la variedad gigante morado son de forma oval, redondos, la corteza es de color púrpura intenso con tenues rayas verticales verdes, diámetro de 5,2 cm y 6 cm de longitud. La pulpa es anaranjada y contiene por lo menos 300 semillas por fruto (García, 2008; Sagñay, 2010; Cáceres, 2012).

Desde el punto de vista nutricional, es una fuente importante de caroteno (provitamina A), vitamina C (ácido ascórbico) y vitamina E (Tabla 2-1). Posee importantes niveles de proteína. Es rico en minerales, especialmente calcio, magnesio, potasio y fósforo. Además tiene un contenido bajo en carbohidratos y menos de 40 calorías por cada 100 g (Márquez *et al.*, 2007; Lagos, 2012).

Tabla 2-1: Caracterización química y nutricional del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) (Castro, 2013).

Análisis		Variedad naranja gigante	Variedad morado gigante
Humedad (%)		87,16 ± 1,17	89,2 ± 0,22
Cenizas (%)		0,81 ± 0,03	0,80 ± 0,01
Proteína		2,4 ± 0,04	2,2 ± 0,008
pH		3,76 ± 0,04	3,45 ± 0,01
Sólidos solubles (°Brix)		12,7 ± 1,0	10,7 ± 1,0
Acidez titulable (% ácido cítrico)		1,87 ± 0,04	1,91 ± 0,02
Vitamina C (mg/100g)		0,33 ± 0,19	0,28 ± 0,23
Azúcares totales (%)		8,6 ± 0,08	4,5 ± 0,06
Polifenoles totales (mg/g)		0,84 ± 0,01	0,8 ± 0,01
Carotenoides totales (mg/g)		0,23 ± 0,01	0,241 ± 0,01
Azúcares (%)	Glucosa	1,38 ± 0,03	1,17 ± 0,03
	Fructuosa	1,64 ± 0,10	1,34 ± 0,02
	Sacarosa	2,21 ± 0,03	1,86 ± 0,01
Ácidos orgánicos (mg/g)	Ácido cítrico	7,22 ± 0,23	9,19 ± 0,31
	Ácido málico	1,22 ± 0,04	No detectado
Minerales (µg/g)	Calcio	90 ± 1,0	86 ± 1,0
	Magnesio	1284	1403
	Potasio	3852	3733
	Fósforo	347	281
	Sodio	16 ± 1,0	32 ± 1,0
	Hierro	3 ± 0,04	4 ± 0,04
	Zinc	2 ± 0,02	2 ± 0,02

Es una fruta baja en grasas y calorías, es buena fuente de pectinas y proporciona importantes cantidades de componentes bioactivos tales como antocianinas, carotenoides y flavonoides (Castro *et al.*, 2013). Estos compuestos no sólo son responsables del color de la fruta, también poseen propiedades biológicas, terapéuticas y preventivas. Se ha evaluado la actividad antioxidante de diferentes extractos del tomate de árbol, donde los resultados muestran un alto potencial de depuración de radicales por los métodos de DPPH y ABTS (Kou *et al.*, 2009; Ordoñez *et al.*, 2010). Esta actividad probablemente se asocia a los compuestos mencionados anteriormente. Asimismo, Castro *et al.*, (2013) citan que el epicarpio del tomate de árbol es una fuente promisoriosa e importante de antioxidantes naturales, que tienen un potente efecto inhibitorio sobre la oxidación de lípidos. Otros estudios químicos del fruto fresco indican que contiene pocos carbohidratos. El fruto maduro posee menos del 1% de almidón y 5% de azúcares como sacarosa, glucosa y fructosa. Asimismo, se ha reportado la identificación de galacto-arabino-glucuronoxylan, un polisacárido aislado de la pulpa comestible del tomate de árbol al cual se le atribuye efectos analgésicos y anti-inflamatorios (Nascimento *et al.*, 2013). Por otro lado, se ha reportado la presencia de alcaloides esteroidales del tipo de los espirosolanos, solasodina y tomatidenol, siendo los que mayor atención han recibido como fuentes alternativas de esteroides de interés farmacéutico (Calvo, 2009).

El uso del fruto varía, no sólo se consume en forma fresca (con o sin semillas), como una fruta de postre o en ensalada, sino que se considera materia prima para la preparación de jaleas, mermeladas, jugos concentrados o clarificados, néctares, pulpas, conservas en

almíbar, helados, productos horneados, hojuelas deshidratadas con fructuosa, entre otros usos (León *et al.*, 2004; Castro, 2013; Brito *et al.*, 2008; Jibaja, 2010). Sin embargo, para su consumo generalmente se elimina el epicarpio (por su sabor amargo, ácido y astringente) obteniéndose un rendimiento en pulpa entre un 83 a 86%. Este residuo no se utiliza realmente y en muchos casos es fuente de contaminación, a pesar, de ser considerada una fuente promisoría de antioxidantes y que puede ser implementado en la conservación de alimentos (Farfán y Zambrano, 2010; Castro *et al.*, 2013).

En medicina, se prescribe como coadyuvante en el tratamiento para fortalecer el cerebro, dado que contribuye a curar migrañas y cefaleas severas. Estudios hasta ahora realizados indican que tiene sustancias como el ácido gamma amino-butírico que baja la tensión arterial. Como bebida, beneficia el sistema circulatorio usándolo en programas de reducción de peso debido a su efecto saciante (Sagñay, 2010). Asimismo, se utiliza para combatir la inflamación de amígdalas o anginas de forma tópica, problemas hepáticos, gripe y control del colesterol (León *et al.*, 2004; Amaya *et al.*, 2006; Lucas *et al.*, 2011).

Desde el punto de vista fisiológico, el tomate de árbol, se considera un sistema biológico que respira, transpira y libera etileno. Durante su desarrollo, expone una curva de crecimiento simple sigmoidea y durante su maduración se comporta como un fruto no climatérico. Una vez cosechado manifiesta una serie de cambios fisicoquímicos, sensoriales, bioquímicos, entre otros; por tal razón, el momento adecuado de madurez, es uno de los aspectos que repercuten directamente en la vida postcosecha y en su comercialización. Entre los 120 y 150 días del desarrollo del fruto, el color morado reemplaza al verde paulatinamente. En su interior la pulpa cambia hacia el color naranja y el pedúnculo pierde flexibilidad. Los mayores cambios de acidez, astringencia y azúcares ocurren entre los 150-180 días. El fruto puede ser cosechado a los 120 días de desarrollo, sin embargo, la máxima acumulación de materia seca se alcanza a los 140 días (García y García, 2001; Márquez *et al.*, 2007; García, 2008).

En la NTC 4105/97 se dictan algunos criterios de calidad comercial en función de índices fisicoquímicos (determinación del diámetro, color, contenido de pulpa, consistencia, sólidos solubles totales, entre otros), donde se recomienda cosechar la fruta entre los estados 3 y 4, y conservar el pedúnculo para brindar protección contra el ataque de hongos y bacterias (García, 2008; Castro, 2013). En la etapa postcosecha, las condiciones más favorables para su almacenamiento se dan a temperaturas entre 3,0 y 4,5°C y humedades relativas entre 90-95%, temperaturas menores a 3°C causan daños por frío y sobre el rango aumentan los daños por hongos. En almacenamiento refrigerado a 7°C, utilizando atmosferas controladas con concentraciones de oxígeno (O₂) y dióxido de carbono (CO₂) de 3-5%, permiten extender su tiempo de vida en anaquel. Dependiendo de la variedad y sin refrigeración, la fruta tiene una vida útil de 14 a 18 días. En condiciones de refrigeración la vida útil se extiende considerablemente hasta 88 días (Black y Ortega, 2005; Márquez *et al.*, 2007; Lucas *et al.*, 2011).

2.2 Producción de tomate de árbol en Colombia

En el 2013 según estadísticas del MADR-EVA (2015), Colombia contó con 8.399 hectáreas sembradas de tomate de árbol, para una producción total de 163.748 toneladas. Durante este periodo el 29,17% del área sembrada se encontraba en Antioquia, el 26,17% en Cundinamarca, el 8,47% en Tolima y el 7,67% en Huila, entre otros (Tabla 2-2).

Tabla 2-2: Producción nacional de tomate de árbol para el año 2013 (MADR-EVA, 2015).

Departamento	Producción (Toneladas, t)	Área Sembrada (Hectáreas, ha)	Rendimiento (t/ha)
Antioquia	82.391	2.450	33,6
Boyacá	6.543	523	12,5
Caldas	1.807	137	13,2
Cauca	959	92	10,5
Cesar	624	102	6,1
Cundinamarca	42.120	2.198	19,2
Chocó	8	3	2,5
Huila	4.307	644	6,7
La Guajira	534	81	6,6
Magdalena	2.675	279	9,6
Meta	784	28	28
Nariño	2.586	381	6,8
Norte de Santander	2.272	204	11,2
Quindío	258	37	7,0
Risaralda	1.621	141	11,5
Santander	992	110	9,0
Tolima	10.905	711	15,3
Valle del Cauca	1.575	186	8,5
Putumayo	790	93	8,5
Total	163.748	8.399	19,5

El cultivo de esta fruta se concentra en Antioquia y el Altiplano Cundiboyacense y, regiones donde su consumo y comercialización es bastante amplio. El cultivo de tomate de árbol, representa el 3,30% del área frutícola cosechada a nivel nacional. En cuanto, a su participación dentro de la canasta de alimentos, la variación del Índice de Precios del Consumidor (IPC) para el año 2013 en el grupo de las frutas frescas, se destacó que su promedio (13,06%) está por encima de frutas tan importantes como el banano, mango, manzana y la mora de castilla (MADR-SEA, 2013).

Para este mismo año, los rendimientos que presentó el departamento de Antioquia superaron al rendimiento promedio nacional, alcanzando un promedio de 33,6 t/ha frente a 19,5 t/ha promedio que registró la producción nacional. En el 2013, la participación de producción nacional de tomate de árbol en Colombia, se concentró en Antioquia (50,32% de la producción total), Cundinamarca (25,72%) y Tolima (6,66%). Según datos del MADR-SEA (2013) en el año 2013 el tomate de árbol participó con el 4,46% de la producción de frutas frescas. Ocupó el cuarto puesto después de cítricos, piña y mango, con una producción de 163.748 toneladas.

2.3 Aloe vera en la formulación de alimentos funcionales

Un alimento funcional es aquel producto que además de satisfacer las necesidades nutricionales básicas, puede proporcionar beneficios para la salud y reducir el riesgo de contraer enfermedades (Juárez, 2010). Otros autores subrayan, que puede ser un alimento natural, un alimento al que se ha añadido, eliminado o modificado un componente por medios biotecnológicos, un alimento en el que se ha modificado la biodisponibilidad de uno o más de sus componentes o una combinación de estas posibilidades (Ferrer y Dalmau *et al.*, 2001). Si los componentes biológicamente activos están incorporados en formas farmacéuticas en altas dosis, se consideran suplementos nutricionales o nutracéuticos, pero no alimentos funcionales (Juárez, 2010; Lutz, 2012). La combinación de componentes bioactivos entre sí o con otras sustancias es lo que favorece la absorción, transporte a los tejidos, metabolismo y función protectora contra las enfermedades. Existe un conjunto de componentes funcionales como: carotenoides, fibra dietaria, ácidos grasos, flavonoides, ácidos fenólicos, esteroides, polioles, prebióticos, probióticos, minerales y vitaminas; que se encuentran en los alimentos, y a los que se les atribuye un efecto protector o benéfico (Drago *et al.*, 2006; Juárez, 2010).

El gel de aloe vera, hoy en día, es uno de los productos de origen vegetal que ha adquirido gran importancia comercial, debido a los potenciales beneficios para la salud de sus componentes naturales, y su aptitud de uso en diferentes industrias (cosmética, farmacéutica y alimentaria). El Aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) es una planta perenne suculenta perteneciente a la familia *Liliaceae*. Es similar a un cacto, posee hojas turgentes, lanceoladas, con espinas en sus bordes dentados y de color verde brillante, dispuestas en forma de roseta. Lo más utilizado son las hojas, cada una compuesta por tres capas: la epidermis o capa interna que es un gel transparente que contiene 99% de agua y el resto está formado por glucomananos, aminoácidos, lípidos, esteroides y vitaminas; la capa intermedia o látex con características mucilaginosas que es la savia amarilla amarga contiene antraquinonas (aloína, aloemodina y fenoles) y glucósidos; y por último, la capa externa gruesa llamada corteza, que tiene la función de protección y síntesis de carbohidratos y proteínas (Domínguez *et al.*, 2012; Khoshgozaran *et al.*, 2012).

Investigadores han reportado que el gel de aloe posee más de 200 constituyentes diferentes, de los cuales 75 tienen actividad biológica (Tabla 2-3). Estudios concluyen que las propiedades funcionales del aloe se deben a la sinergia de todos los componentes activos y que no se puede otorgar al efecto benéfico de uno sólo. La amplia actividad biológica, y los diferentes usos del aloe han permitido desarrollar diversos estudios para establecer relaciones entre los componentes y efectos biológicos. Thompson *et al.*, (1991) argumentan que en la cicatrización de heridas, la angiogénesis es un proceso esencial. Lee *et al.*, (1998) sugirieron un incremento en la estimulación de células endoteliales de la arteria pulmonar como resultado de la actividad angiogénica de los extractos acuosos de aloe vera. Algunos polisacáridos extraídos del gel (denominados GAPS-1 y SAPS-1) compuestos de manosa: glucosa: galactosa tienen una fuerte actividad de eliminación del superóxido y actividades moderadas en la eliminación del radical hidroxilo e inhibición de la peroxidación lipídica (Chun-Hui *et al.*, 2007). Otros estudios revelan un alto poder antioxidante de compuestos fenólicos, flavonoides y extractos etanólicos aislados del gel y exocarpio de aloe vera (Zheng y Wang, 2001; Hu *et al.*, 2005).

Tabla 2-3: Componentes y propiedades del aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller)
(Adaptado de Choi y Chung, 2003; Hamman, 2008; Domínguez *et al.*, 2012)

Constituyentes	Principio activo	Propiedad y actividad
Azúcares	Glucosa, fructuosa, manosa, sacarosa, galactosa.	Anti-inflamatorios, inmunomoduladores, acción antiviral, cicatrización de heridas.
Carbohidratos	Manano-oligosacáridos, glucomanano, galactomananos, galactano, arabinogalactano, sustancias pécticas, xilano, celulosa.	
Lípidos y compuestos orgánicos	Esteroides (campesterol, colesterol, β -sitosterol), lupeol, ácido salicílico, sorbato de potasio, triglicéridos, lignina, ácido úrico, lectina, saponinas, giberelina, triterpenos.	Antiinflamatorios, estimula la angiogénesis, inmunomoduladores.
Aminoácidos	Alanina, arginina, cisteína, ácido glutámico y aspártico, glicina, histidina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, prolina, serina, tirosina y valina.	Proporciona los bloques básicos de las proteínas en la producción del tejido muscular, cicatrización de heridas, antialérgicos.
Antraquinonas	Aloe emodina, ácido aloectico, aloína, antracina, antranol, barbaloina, ácido crisopanico, emodina, aceite etereal, éster cinámico, ácido isobarbaloina, resistanol.	Actividad analgésica, antibacteriana, anti-fúngica y antiviral. Son laxantes.
Enzimas	Alinasa, amilasa, catalasa, lipasa, oxidasa fosfatasa alcalina, carboxipeptidasa, celulasa, peroxidasa, ciclooxigenasa.	Desdoblamiento de alimentos, azúcares y grasas ayudando a la digestión y absorción de nutrientes. Actividad gastro-protectora.
Hormonas	Auxinas, giberelinas.	Cicatrización de heridas, antiinflamatorias.
Vitaminas	A, C, E, B1 (Tiamina), B2 (riboflavina), B3 (Niacina), B6 (piridoxina), ácido fólico, vitamina B12.	Antioxidantes (A, C y E), inmunomoduladores, absorción de minerales.
Minerales	Calcio, sodio, potasio, magnesio, cromo, cobre, manganeso, zinc, boro, nitrógeno y selenio.	Esenciales en el funcionamiento apropiado de varios sistemas enzimáticos y metabólicos.

En atención al contenido de acemanano y lectinas presente en el gel, como activadores de los macrófagos para generar óxido nítrico y secretar citoquinas, se le atribuyen propiedades como inmunoestimulador e inmunomodulador (Pugh *et al.*, 2001; Strickland *et al.*, 2001; Im *et al.*, 2005; Broudreau y Beland, 2006). En relación a la actividad gastro-protectora se ha sugerido efectos benéficos en el síndrome de intestino irritable, colitis ulcerativa y actividad antiinflamatoria de enfermedad intestinal en pacientes humanos. La inhibición en la producción de ácido gástrico, estimulación de la pepsina y secreciones de la mucosa en ratas, son otras actividades benéficas que se le asocian (Suvitayavat *et al.*, 2004; Langmead *et al.*, 2004; Yusuf *et al.*, 2004; Davis *et al.*, 2006; Pogribna *et al.*, 2008).

La gran cantidad de polisacáridos que representan cerca del 20% de los sólidos totales del parénquima mucilaginoso de las hojas de aloe, se asocian con 20 glicoproteínas, contribuyendo a la actividad farmacológica del gel como hipoglucémico, hipolipidémica, hepatoprotector, antiinflamatorio, anticancerígeno y con efecto hidratante de la piel (Rajasekaran *et al.*, 2006; Prabhjone *et al.*, 2006; Broudreau y Beland, 2006; Steenkamp y Stewart, 2007; Chandan *et al.*, 2007; Hamman, 2008; Kim *et al.*, 2009). Otros estudios reportan actividades antimicrobianas y antivirales del gel de aloe, asociadas al contenido de antraquinonas (Rivero *et al.*, 2002; Alves *et al.*, 2004; Habeeb *et al.*, 2007). Los potenciales beneficios para la salud encontrados en los componentes naturales de aloe vera, ha conllevado a utilizarlo como recurso en alimentos funcionales. Además, resaltando que la inclusión de dichos componentes fortalece el valor nutritivo de los alimentos (Boghani *et al.*, 2012).

El gel de aloe encuentra una amplia aplicación en productos alimenticios como néctares, jugos concentrados, bebidas saludables, bebidas laxantes, yogures, helados, entre otros (Eshun y He 2004; Hamman 2008; Singh y Singh, 2009; Ahlawat y Khatkar, 2011). Sierra (2002) evaluó el efecto de la luz UV-C en la inhibición de mesófilos, aerobios, mohos y levaduras; en un prototipo de bebida de aloe y naranja en iguales proporciones. Elbandy *et al.*, (2014) desarrollaron un néctar de mango con alto valor terapéutico y nutricional mediante la suplementación de pulpa con gel de aloe. El néctar mostró excelentes atributos de calidad y buena estabilidad durante el almacenamiento, mostrando variaciones en el contenido de vitamina C y características fisicoquímicas como acidez y pH. Boghani *et al.*, (2012) por su parte, desarrollaron una bebida mezclando papaya y jugo de aloe, resaltando diferencias en la calidad fisicoquímica y sensorial. Asimismo, reportan una buena estabilidad en el periodo de almacenamiento refrigerado.

Wei *et al.*, (2004) prepararon una bebida funcional de hojas frescas de aloe vera con hierbas y raíces chinas. Estudiaron el efecto de condiciones de procesamiento como temperatura, pH, concentración de sacarosa y ácido cítrico, concluyendo que la estabilidad física de las bebidas se ve afectada negativamente a medida que se incrementa la concentración de sacarosa y ácido cítrico. Do-Sang *et al.*, (1999) prepararon el vinagre a partir de jugo de aloe vera usando *Acetobactor sp.* Lee y Mano-Yoon (1997) formularon un yogur de aloe vera con bacterias del ácido láctico (cepas de *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*) y la compararon con yogur preparado con leche descremada en polvo, encontrando retención en características de calidad y buena estabilidad física del yogur de aloe vera almacenado a 5°C durante 15 días, respecto al yogur de leche.

Otras aplicaciones del gel de aloe vera se centran en el área postcosecha de frutas y hortalizas, específicamente, en la formulación de recubrimientos comestibles (Restrepo, 2009; Khoshgozaran *et al.*, 2012; Benítez *et al.*, 2013; Ramírez *et al.*, 2013; Yulianingsih *et al.*, 2013). Los autores coinciden que los frutos recubiertos mostraron una disminución en la tasa de respiración y control de parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales en comparación con los frutos control. Además, se logró aumentar la vida útil del producto. Sigrid y Vidal (2011), estudiaron la viabilidad del desarrollo de alimentos funcionales frescos incorporando gel de aloe vera a la matriz estructural de algunas hortalizas mediante impregnación a vacío. El producto obtenido conservó las características de alimento fresco (alta actividad de agua), y a la vez incorporaba propiedades benéficas del aloe, potencializando la funcionalidad intrínseca de las hortalizas en estudio.

2.4 Hidrocoloides

Los hidrocoloides o gomas alimentarias son polisacáridos o proteínas solubles en agua de alto peso molecular, utilizados en una variedad de funciones en sistemas alimentarios para incremento de viscosidad, formación de estructuras de gel, formación de películas, control de la cristalización, inhibición de sinéresis, mejora de textura, encapsulación de sabores y alargamiento de estabilidad física, entre otros (Williams y Phillips, 2009). Debido a sus propiedades funcionales como capacidad de retención de agua, equilibrio de propiedades reológicas e ionización de soluciones acuosas, permiten controlar el grado de inestabilidad de partículas insolubles en suspensiones alimentarias (Genovese y Lozano, 2001).

Para garantizar la estabilidad de suspensiones alimentarias, como jugos o néctares de frutas, durante el almacenamiento prolongado se ha potencializado el uso de coloides hidrofílicos (Tabla 2-4). En términos de ionización, los hidrocoloides pueden tener o no carga eléctrica. Dado que las partículas en suspensión están cargados negativamente se espera que la adición de hidrocoloides aniónicos aumente las fuerzas de repulsión electrostática entre partículas. Asimismo, la absorción de macromoléculas de goma sobre las partículas puede dar lugar a la repulsión estérica (Genovese y Lozano, 2001). Sahin y Ozdemir, (2007) argumentan que las gomas alimentarias mejoran la textura y propiedades reológicas de suspensiones, a través, de un aumento de la viscosidad en la fase continua disminuyendo el proceso de separación de fases.

Tabla 2-4: Hidrocoloides como estabilizantes en dispersiones alimentarias

Hidrocoloides (Matriz)	Efectos	Referencia
Qitosán (Jugo de naranja)	Aumento de turbidez y control de separación de fases. Cambio en propiedades fisicoquímicas (pH, SST). Incremento significativo en los parámetros de color (L^* , a^* , b^*). Comportamiento pseudoplástico.	Martín <i>et al.</i> , (2009)
Goma pérsico y tragacanto (Jugo mixto naranja-leche)	Fluido pseudoplástico, con ajuste al modelo de ley de potencia. Aumento diferencial potencial ζ . Arguyen estabilidad estérica y electrostática. Una mezcla de goma al 0,37% fue valorada como mejor tratamiento.	Abbasi <i>et al.</i> , (2013)
GX y CMC. (Jugo de manzana)	Aumento de viscosidad con la incorporación de gomas. Comportamiento pseudoplástico. Aumento de repulsión electrostática. Aumento de turbidez de la fase clarificada. Mejor estabilidad del jugo con CMC.	Genovese y Lozano, (2001)
GX, CMC, pectina (Jugo de manzana)	Buena estabilidad, aumento de viscosidad y turbidez (cloudiness). Disminución de atributos sensoriales, particularmente el sabor.	Ibrahim <i>et al.</i> , (2011)
Almidones reticulados y pre-gelatinizados. (Jugo de manzana)	Distribución de tamaño partícula unimodal. Fluido tixotrópicos, aumento de parámetros reológicos con la adición de almidones. Mejor estabilidad asociada con almidones pre-gelatinizados.	Meng y Rao (2005)
GX, goma guar. (Jugo de manzana)	Buena estabilidad, aumento viscosidad de la fase continua. Mejor estabilidad con goma xantan. Comportamiento pseudoplástico.	Paquet <i>et al.</i> , (2014)

Tabla 2-4: (Continuación)

Hidrocoloides (Matriz)	Efectos	Referencia
GX, CMC, goma gelan, goma guar. (Jugo de zanahoria)	Aumento de viscosidad y turbidez, con la adición de gomas. Control de la separación de fases. Mejor estabilidad del jugo con goma gelan.	Liang <i>et al.</i> , (2006)
Proteína de soja (Jugo de guanábana)	Aumento de viscosidad, comportamiento pseudoplástico, mejor ajuste al modelo de Cross. Reducción del índice y velocidad de sedimentación. Buen ajuste a la ecuación cinética de primer orden.	Fasolin y Cunha (2012).
GX, CMC y guar. (Jugo mixto, zanahoria-naranja)	Control de la sedimentación. Aumento de la viscosidad. Cambio en propiedades fisicoquímicas pH y acidez).	Nwaokoro y Akanbi (2015).
Goma tragacanto (Bebida láctea)	Aumento de viscosidad aparente. Distribución de tamaño unimodal. No afectó los diámetros medios de partículas. No hubo cambios en parámetros de color (L^* , a^* , b^*) y algunos atributos sensoriales.	Keshtkaran <i>et al.</i> , (2013).
Pectina, CMC (Bebida de naranja)	Aumento de la viscosidad y diferencial de potencial ζ . Disminución de propiedades fisicoquímicas (pH). Incremento de la turbidez.	Mirhosseini y Tan, (2010).

La goma xantan y la carboximetilcelulosa sódica se emplean comúnmente como agentes espesantes en la industria alimentaria. La goma xantan es un polisacárido extracelular secretada por el microorganismo *Xanthomonas campestris*, utilizado por su alta capacidad de espesamiento, y excelente estabilidad en un amplio rango de pH, y resistente a la degradación enzimática (Liang *et al.*, 2006). A bajas temperaturas las moléculas de GX existen como una doble hélice, pero se convierten en una espiral desordenada a mayor temperatura. Los grupos carboxilo en las cadenas laterales, son los responsables de la característica aniónica de este polisacárido. El contenido de ácido pirúvico puede variar sustancialmente dependiendo de la cepa de *X. campestris*, lo que resulta en diferentes viscosidades de soluciones de xantan (Milani y Maleki, 2012). Exhibe propiedades reológicas tipo gel débil, comportamiento pseudoplástico, muy viscoso a bajas tasas de cizallamiento, pero muy baja viscosidad a alta cizalladura, y recupera rápidamente su viscosidad cuando se retira el estrés mecánico. La GX confiere excelente estabilidad de partículas en suspensión durante el almacenamiento y transporte, y adquiere buena fluidez durante procesos de agitación y bombeo. Todos estos factores hacen de la GX un estabilizante ideal para suspensiones, salsas y aderezos. Otro uso importante es durante la cocción de productos de panadería, aumentando el volumen, manteniendo la humedad y suspensión de partículas en la masa (Pegg *et al.*, 2012).

Carboximetilcelulosa sódica (CMC) es un polímero aniónico soluble en agua capaz de formar soluciones muy viscosas, que le confieren excelentes propiedades como estabilizante. CMC se prepara tratando primero la celulosa con álcali (celulosa alcalina), y luego por reacción con ácido monocloroacético (Milani y Maleki, 2012). La concentración, el peso molecular y el grado de sustitución (GS) son factores importantes para el comportamiento de flujo de CMC en dispersiones acuosas. Los productos comerciales generalmente tienen valores de GS a partir de 0,7 a 1,5 (Saha y Bhattacharya, 2010). La cadena del polímero exhibe una conformación helicoidal en suspensión, lo que influye

considerablemente en su comportamiento reológico. Las dispersiones de goma CMC muestran propiedades reológicas pseudoplásticas, las cuales son afectadas significativamente con el aumento de la temperatura. Además, se ha confirmado comportamiento viscoelástico tipo gel débil a altas concentraciones (Benchabane y Bekkour, 2008; Saha y Bhattacharya, 2010). CMC es ampliamente utilizado como espesante, aglutinante de agua, coadyuvante en proceso de encapsulación y formación de películas en la industria alimentaria y farmacéutica; con el fin de mejorar las propiedades de consistencia y de flujo (Yasar *et al.*, 2007). Es inusual su capacidad para interactuar con las proteínas como la caseína y la soja, y protegerlos de la precipitación en su punto isoeléctrico. Esto reduce su aplicación en productos lácteos (Pegg *et al.*, 2012).

La viscosidad de soluciones de GX es obviamente mayor que las de CMC, a bajas tasas de cizalla ($<10s^{-1}$), lo que explica las excelentes propiedades estabilizantes (Liang *et al.*, 2006). La selección de un hidrocoloide depende de sus características fisicoquímicas, así como su precio y seguridad. No es sorprendente que los almidones son los espesantes utilizados con más frecuencia debido a su bajo costo resultado de su alta tasa de producción anual. Sin embargo, un espesante más caro, como la GX puede seguir siendo la primera opción debido a sus incomparables propiedades reológicas (Li *et al.*, 2015). Lazaridou *et al.*, (2007) señaló que en comparación con CMC y pectina, la GX poseía la deformación de fluencia más baja, una mayor viscosidad a bajas tasas de cizallamiento, aumento de propiedades elásticas y predominancia del módulo elástico que le confieren la característica tipo gel débil.

2.5 Estabilidad de suspensiones

Una dispersión es un sistema polifásico en el cual una fase se encuentra fragmentada dentro de otra. Existen tres tipos de sistemas dispersados denominados espuma, emulsión o suspensión. La fase fragmentada es una cierta cantidad de materia gaseosa, líquida o sólida, que se llama burbuja, gota o partícula si son de tamaño macroscópico. Una suspensión es una dispersión coloidal en el cual un *sólido* se dispersa (fase interna) en una fase *líquida* continua (fase externa). Las suspensiones pueden ser acuosas o no acuosas (Pérez, 2009). El rango clásico del tamaño de las dispersiones coloidales oscila entre 1nm - 1mm, y se asume que las especies dispersas tienen forma esférica. Cuando se considera otras formas, partículas con diámetros de hasta 2mm pueden ser descritas como coloides. En la práctica, las suspensiones por lo general tienen diámetros mayores que 0,2mm, y a su vez contienen partículas que exceden los límites del rango clásico (50-10mm de diámetro). Los tamaños de las partículas también pueden estar por debajo del límite de tamaño estándar citado anteriormente, conociéndose como suspensiones de nanopartículas (Schramm, 2005).

En la estabilidad de suspensiones se busca una dispersión estable, homogénea, sin agregación de partículas. No obstante, existen tres fenómenos físicos que causan inestabilidad de una suspensión: sedimentación, agregación y coalescencia (Núñez y Scrofani, 2011). La sedimentación, es el resultado de una diferencia de densidad entre la fase dispersa y la fase continua, y produce dos fases separadas que tienen diferentes concentraciones y viscosidades (Aranberri *et al.*, 2006). Las partículas en suspensión sedimentan en forma diferente, dependiendo de las características de las partículas, así como de su concentración, por lo tanto se pueden referenciar a la sedimentación de

partículas discretas, sedimentación de partículas floculentas y sedimentación de partículas por caída libre. Las partículas discretas son aquellas que no cambian de características (forma, tamaño, densidad) durante la caída. En la sedimentación libre (es decir, sin interferencia entre las partículas), las partículas son sostenidas por fuerzas hidráulicas y su caída se puede describir mediante la ley de Stokes (Torres *et al.*, 2008). La ley de Stokes es una modelación clásica (Ec. 2.1) que permite determinar la velocidad de sedimentación para una partícula no coloidal rígida, lisa de forma esférica, que sedimenta en un fluido viscoso de tipo newtoniano, que fue planteada por Stokes en 1850, considerando que el régimen de escurrimiento laminar del fluido por sobre la partícula es laminar, con un rango de valores para el número de Reynolds menor a 0,25 (Salinas y Fuentes, 2012).

$$v = \frac{(\rho_p - \rho_f) \cdot D^2 \cdot Z \cdot g}{18 \cdot \mu} \quad (\text{Ec. 2.1})$$

Donde Z es el factor de aceleración, ρ_p es la densidad media de la partícula (kg/m^3), ρ_f es la densidad media del fluido (kg/m^3), D es el diámetro de la partícula (m), g es la aceleración de gravedad (m/s^2), μ es la viscosidad dinámica del fluido (Pa.s).

Por otro lado, la agregación, se presenta cuando el movimiento browniano, el proceso de sedimentación o un sistema de agitación causan que dos o más especies dispersas tiendan a aglutinarse, posiblemente uniéndose en algunos puntos sin presentar cambio alguno en el área total de la superficie. En la agregación, las partículas conservan su identidad, pero pierden su independencia cinética ya que los agregados se mueven como una sola unidad. La agregación se refiere a veces como floculación o coagulación, pero, para suspensiones, la coagulación y floculación son tomadas frecuentemente para representar dos tipos diferentes de agregación. En este caso, la coagulación se refiere a la formación de agregados compactos, mientras que la floculación se refiere a la formación de una red suelta de partículas, vinculadas a través de interacciones de partícula borde-borde y borde-cara (Schramm, 2005). La coalescencia, es el proceso cuando dos o más partículas se fusionan para formar una sola unidad mayor, con la eliminación de parte de la interfase líquido/líquido. Este cambio irreversible requeriría un aporte extra de energía para restablecer la distribución de tamaño de partícula original (Núñez y Scrofani, 2011).

La inestabilidad o separación de fases, es un parámetro desfavorable en la calidad comercial de suspensiones durante el almacenamiento (Sherafati *et al.*, 2013). En jugos de frutas coexisten partículas con núcleos cargados positivamente (hidratos de carbono, proteínas) rodeado de material celulósico cargado negativamente (pectina nativa). La degradación de pectinas expondría los núcleos positivos, puede conllevar a la agregación de polianiones y policationes, y finalmente la floculación de partículas (Genovese y Lozano, 2001). La distribución del tamaño de partículas es otro factor importante en la estabilidad de dispersiones, debido a que tamaños más grandes pueden ocasionar precipitación de material insoluble conllevando a la sedimentación de partículas (Schramm, 2005). A su vez, Genovese *et al.*, (1997) argumentan que las pulpas de frutas poseen gran cantidad de materiales poliméricos insolubles, que pueden incrementar la inestabilidad física conduciendo a la separación de fases en suspensiones alimentarias. Diversos estudios han tratado de predecir la cinética de separación de fases, a través de pruebas cuantitativas de sedimentación. La influencia de componentes en el proceso de separación de fases en jugos de guanábana fue analizada usando una ecuación cinética de primer orden, encontrando una disminución en la velocidad de sedimentación con el incremento

de polisacáridos solubles de soja utilizados como estabilizantes (Fasolin y Cunha, 2012). Igualmente, Kubo *et al.*, (2013) implementaron un modelo cinético de primer orden para estudiar la separación de fases en jugos de tomate estabilizados a altas presiones de homogeneización (HPH). Ellos reportan una reducción en el índice de sedimentación, asociado a la reducción del tamaño de partículas en suspensión.

La estabilidad de un sistema coloidal es determinada por la suma de las fuerzas eléctricas repulsivas de doble capa, y las fuerzas de atracción de van der Waals que las partículas experimentan cuando se acercan una a la otra. Las fuerzas de repulsión deben ser dominantes. Existen dos vías generales mediante las cuales se puede proporcionar estabilidad coloidal: electrostática y estérica (Genovese *et al.*, 2007). La estabilización electrostática resulta de la presencia de una capa que se forma o injerta en la superficie de la partícula. Los tensoactivos adsorbidos, nanopartículas, o macro-iones proporcionan un efecto similar. La repulsión se produce cuando las capas adsorbidas o injertadas sobre dos partículas comienzan a solaparse y, por lo general, esta aumenta rápidamente a medida que las capas se comprimen. La superficie de las partículas coloidales puede adquirir una carga superficial que en algunos casos está relacionada con las características fisicoquímicas del medio, y puede ser contrarrestada, con iones disueltos presentes en el medio de dispersión formando la doble capa eléctrica que a su vez puede interactuar con las dobles capas de otras partículas en suspensión, creando una repulsión de largo alcance debida a interacciones de tipo coulombico que puede ser mayor en magnitud a la atracción por fuerzas de dispersión. Esta interacción repulsiva conlleva a la estabilidad de la dispersión coloidal y es denominada estabilidad electrostática. Un mayor espesor en la doble capa, permite una mejor estabilidad de la suspensión (Urquijo, 2007). A diferencia del fenómeno electrostático, el proceso estérico puede impartir estabilidad termodinámica verdadera, por lo que tales dispersiones a menudo pueden ser altamente concentradas y aún seguir siendo estables, conllevando a un comportamiento altamente viscoelástico (Mewis y Wagner, 2012). El uso de polímeros naturales y sintéticos para estabilizar dispersiones coloidales acuosas es tecnológicamente importante, extensas investigaciones en esta área se han centrado en la adsorción y estabilización estérica. Los polímeros pueden provocar repulsión entre partículas, y la estabilidad estérica coloidal se alcanza cuando se incrustan o son adsorbidas por las partículas (Schramm, 2005).

La medición del diferencial de potencial zeta (ζ) se utiliza para evaluar la estabilidad de los sistemas coloidales, se determina a través de la técnica de electroforesis. El cuadrado del potencial ζ es proporcional a la fuerza de repulsión electrostática entre partículas cargadas. Cada coloide contiene una carga eléctrica que suele ser de naturaleza positiva o negativa. Estas cargas producen fuerzas de repulsión electrostática entre partículas adyacentes. Si la carga es suficientemente elevada las partículas permanecen discretas, dispersas y en suspensión. Eliminando estas cargas se obtiene el efecto opuesto y los coloides se aglomeran y sedimentan fuera de la suspensión (Pérez, 2009). En la literatura existe un sinnúmero de investigaciones centradas en estudiar la estabilidad de dispersiones, a través de la determinación del potencial ζ (Croak y Corredig, 2006; Ly *et al.*, 2008; Benítez *et al.*, 2009; Mirhosseini y Ping, 2010; Chivero *et al.*, 2015). Mediciones electrocinéticas en emulsiones aceite-agua muestran que la goma arábica tiene una significativa capacidad estabilizante de la dispersión coloidal. Asimismo, se permitió constatar que la goma imparte estabilidad a la emulsión a través de un mecanismo electro-estérico, pero la contribución estérica es dominante (Jayme *et al.*, 1999).

Giupponi y Pagonabarraga (2011) realizaron la determinación del potencial ζ para las suspensiones coloidales altamente cargadas, y mostraron que la concentración de iones de carga opuesta en la suspensión tiene un efecto significativo en el potencial ζ . Genovese y Lozano (2001), encontraron que la mejor estabilidad del jugo de manzana se alcanza cuando se utiliza goma xantán al 0,4% p/p (potencial $\zeta > -35\text{mV}$). Abbasi y Mohammadi (2013) dedujeron a través de estudios reológicos y determinación de potencial ζ que la implementación de goma persian conduce a la estabilización de repulsiones electrostáticas y estéricas en jugos de naranja y leche (potencial $\zeta > -25\text{ mV}$). Un aumento en los valores de potencial ζ cuando se implementaban combinaciones de goma guar – goma xantán en una bebida típica iraní (Dooh) permitió constatar una excelente estabilidad de la suspensión (Fayyaz *et al.*, 2014). Una visión más amplia de estos criterios de estabilidad desarrollada para suspensiones de partículas, se detalla en la Tabla 2-5.

Tabla 2-5: Criterios de estabilidad con base al potencial ζ (Schramm, 2005).

Características de estabilidad		Potencial ζ (mV)
Máxima aglomeración y precipitación		+3 a cero
Excelente aglomeración y precipitación		-1 a -4
Favorable aglomeración y precipitación		-5 a -10
Umbral de aglomeración (aglomeración de 2-10 partículas)		-11 a -20
Meseta de estabilidad ligera (Poca aglomeración)		-21 a -30
Estabilidad moderada (Sin aglomeración)		-31 a -40
Buena estabilidad		-41 a -50
Muy buena estabilidad		-51 a -60
Excelente estabilidad		-61 a -80
Máxima estabilidad	Para sólidos	-81 a -100
	Para emulsiones	-81 a -125

2.6 Reología de suspensiones

2.6.1 Importancia de la reología en suspensiones alimentarias

La reología es el estudio de la deformación y flujo de la materia, y es una técnica instrumental usada ampliamente en la caracterización de materias primas, y en los procesos de transformación y conservación (Stading, 2011). Las propiedades reológicas de los fluidos alimenticios son útiles durante la elaboración y manipulación de alimentos, que implica el flujo de fluidos en operaciones como pasteurización, evaporación y deshidratación. Asimismo, en la evaluación de la calidad, análisis de la estructura, diseño de equipos, sistema y requisitos de transporte (Quek *et al.*, 2013).

El estudio reológico de una suspensión de partículas es una función compleja de sus propiedades físicas y de los procesos que ocurren a escala de las partículas. Los factores más importantes son concentración, tamaño, forma, interacciones y deformabilidad (Mueller *et al.*, 2010). La mayoría de los estudios y aspectos teóricos están ligados a la reología de dispersiones no alimentarias, sistemas que ostentan partículas esféricas y rígidas. Sin embargo, debido al carácter irregular y deformable de partículas de material vegetal, la reología de suspensiones de alimentos es mucho más compleja que la de

suspensiones monodispersas y esferas sólidas. Además, pueden ocurrir interacciones entre las partículas en suspensión y la fase continua, que complica aún más el estudio de los parámetros reológicos (Mewis y Wagner, 2012; Moelants *et al.*, 2013).

Otro aspecto interesante, de las propiedades de sistemas de fluidos se centra en el estudio del comportamiento de la estabilidad de suspensiones. La inestabilidad estructural por sedimentación se ha observado en sistemas que involucran partículas sólidas y fluidos no newtonianos. Cuando las suspensiones de partículas sólidas de polímeros sedimentan en condiciones de flujo progresivo, se ha observado que la estructura de la suspensión se vuelve inestable en ciertas condiciones (Phillips, 2010). Cuando se considera una bebida como un fluido líquido con características propias de una dispersión coloidal, las propiedades de flujo son trascendentales en el estudio de su comportamiento. Una alta viscosidad puede ser un problema que puede ser tratado como una resistencia al flujo, o puede ser una propiedad deseable para la formulación de una dispersión. La ley de Stokes considera que la velocidad de sedimentación terminal es inversamente proporcional a la viscosidad de una dispersión coloidal, lo que tiene un impacto directo sobre la sedimentación de partículas que es un indicativo de inestabilidad física (Schramm, 2005). Los cambios reológicos en la fase continua de una dispersión pueden llevar a una mayor estabilidad de la suspensión por períodos de tiempo más largos debido a la retención de las partículas en suspensión. La adición de coloides hidrofílicos permite aumentar la viscosidad de un medio continuo, y ayuda a mantener en suspensión las partículas evitando la precipitación (Genovese y Lozano, 2001).

En los productos alimenticios, la reología proporciona directrices para la definición de un conjunto de parámetros, que puedan ser correlacionados con otros atributos de calidad (Garriga, 2002). Las características reológicas pueden ser muy interesantes para modificar el proceso de elaboración o la formulación de un producto final de forma que los parámetros de textura del alimento se encuentren dentro del rango considerado deseable por los consumidores (Stokes *et al.*, 2013). La influencia de la reología de un alimento en particular en la percepción del sabor puede tener dos orígenes principales: Primero, un efecto fisiológico debido a la proximidad del gusto y receptores olfativos a los receptores kinestésicos y térmicos en la boca, ya que una alteración del estado físico del material puede tener una influencia en su percepción sensorial, y un efecto relacionado con las propiedades de volumen del material (por ejemplo, textura o viscosidad), dado que las propiedades físicas del material pueden afectar la velocidad y el grado con que el estímulo sensorial llega a los receptores gustativos. Segundo, que en sistemas de fluidos, donde se utilizan soluciones y dispersiones de hidrocoloides como sistemas modelos, se ha demostrado en forma general que un aumento de la viscosidad puede reducir la percepción de dulzor (Rao, 2006).

Las medidas reológicas también se han considerado herramientas analíticas que proporcionan información fundamental sobre la organización estructural de los alimentos, por lo que la respuesta reológica de un material depende de sus interacciones moleculares. Así pues, los parámetros reológicos medidos en el alimento proporcionan información relativa al comportamiento mecánico de la estructura. Raeuber y Nikolaus (1980) señalaron que la microscopía describe la estructura visible, pero la unión mecánica sólo puede ser conocida intrínsecamente mediante parámetros reológicos que se ponen de manifiesto bajo la aplicación de tensiones - deformaciones. Las propiedades reológicas son sensibles a variaciones de la estructura molecular y son útiles en el desarrollo de relaciones estructura-función para sistemas de polisacáridos en solución.

2.6.2 Viscosidad de una suspensión

Las fuerzas de atracción que mantienen las moléculas a distancias ínfimas induciendo en los fluidos suficiente cohesión, determinan que existen fuerzas que se oponen al movimiento relativo de capas adyacentes del fluido. Esta resistencia que ofrecen los fluidos al desplazamiento es conocida como viscosidad. Dado que existe una gran variedad de fluidos cuyos comportamientos no se ajusta al de un fluido newtoniano, al menos en un cierto rango de esfuerzos, el concepto de viscosidad intrínseca desaparece, y entonces aparece el término de viscosidad aparente μ , la cual se define como (Ec. 2.2) (Garriga, 2002).

$$\mu = \frac{\sigma}{\dot{\gamma}} \quad (\text{Ec. 2.2})$$

Donde, σ es el esfuerzo cortante [Pa], y $\dot{\gamma}$ es la tasa de deformación [s^{-1}].

La viscosidad de una suspensión está en función de la forma y concentración de partículas. Si a la fase continua se le agregan aditivos miscibles se afectará la viscosidad de la suspensión; sin embargo, es difícil predecir cómo afectará su comportamiento. Para suspensiones diluidas y partículas en formas esféricas, la variación en la viscosidad que genera la presencia de la fase dispersa en la fase continua la describe un comportamiento newtoniano, basados en el hecho que la fase dispersa está muy diluida, es decir, unas partículas están tan alejadas de las otras que no interactúan entre sí (Mueller *et al.*, 2010). Si se trabaja con suspensiones concentradas se modifican las líneas de flujo produciendo un aumento de la disipación de energía y con esto se logra aumentar la viscosidad, mostrando un comportamiento no-newtoniano. Asimismo, cuando se tienen partículas no esféricas la suspensión manifiesta un carácter no-newtoniano, además, estas partículas al no ser rígidas se deforman con el flujo y pueden presentar un comportamiento viscoelástico (Pabst, 2004).

Durante el procesamiento, transporte y almacenamiento las suspensiones alimentarias se someten a diferentes condiciones de temperatura, que hacen imprescindible estudiar el cambio de las propiedades reológicas en función de ésta variable termodinámica. Los líquidos tienen coeficientes de viscosidad invariables, los cuales disminuyen con la temperatura. En general, el efecto de la temperatura sobre la reología de suspensiones ha sido estudiado mediante la ecuación de Arrhenius (Ec. 2.3).

$$X = X_o e^{\left(\frac{E_a}{RT}\right)} \quad (\text{Ec. 2.3})$$

Donde X es cualquier propiedad reológica, X_o es una constante, E_a es la energía de activación, R es la constante de los gases y T es la temperatura en escala absoluta.

Se han realizado un sinnúmero de investigaciones donde se reporta una disminución significativa en la viscosidad de jugos de frutas al aumentar la temperatura de proceso (Chin *et al.*, 2009; Vandresen *et al.*, 2009; Ibrahim *et al.*, 2011; Quek *et al.*, 2013; Shamsudin *et al.*, 2013). Sin embargo, no se reportan estudios sobre el efecto de la temperatura en el comportamiento reológico de bebidas obtenidas de tomate de árbol. Algunos estudios han reportado que los modelos estimados representan adecuadamente

el comportamiento de parámetros reológicos, como el coeficiente de consistencia (K) e índice de comportamiento de flujo (n), de jugos de frutas en función de la temperatura empleando la ecuación de Arrhenius. Kaya y Sözer (2005) sugieren que esta relación podría ser utilizada con éxito para estimar la dependencia de la temperatura sobre el comportamiento reológico de fluidos alimenticios ricos en azúcar y jugos de frutas poco concentrados (Tabla 2-6). La energía de activación (E_a) indica la sensibilidad de la viscosidad a cambios de temperatura. Valores de E_a más altos significan que la viscosidad aparente es relativamente más sensible a la temperatura.

Tabla 2-6: Parámetros reológicos en algunas dispersiones alimentarias.

Producto	T (°C)	K (Pa.s ⁿ)	n	K_0 (Pa.s ⁿ)	μ_0 (Pa.s)	E_a (kJ/mol)	Bibliografía
Puré de melocotón	25-55	0,3 - 3,4	0,46 - 0,78	–	–	24,0 - 30,0	Guerrero y Alzamora, (1998)
Jugo de uva concentrado	35-65	0,28 - 2,53	0,72 - 0,85	2,4E-03- 3,5E05	–	13,37 - 28,59	Arslan, (2003)
Puré de arándano	25-60	0,07 - 7,20	0,64 - 0,49	–	–	10,7 - 21,7	Nindo <i>et al.</i> , (2007)
Jugo de toronja	6-75	0,004 - 3,76	0,50 - 1,05	3,0E-04- 9,9E-08	–	22,12 - 34,02	Chin <i>et al.</i> , (2009)
Jugo de zanahoria	8-85	–	–	–	2,1E-02 - 2,9E-03	12,83 - 15,30	Vandresen <i>et al.</i> , (2009)
Jugo de guanábana	10-50	0,001 - 5,22	0,40 - 1,03	5,2E-08- 5,8E-02	–	30,48 - 10,23	Quek <i>et al.</i> , (2013)
Jugo de piña	5-25	0,001 - 0,012	0,94 - 0,98	3,0E-04- 5,0E-04	–	6,80 - 8,50	Shamsudin <i>et al.</i> , (2013)
Jugo de kiwi	25-65	0,15 - 5,56	0,36- 0,41	–	0,3E-04 - 5,3E-04	24,72 - 34,29	Goula y Adamopoulos (2011)
Jugo de remolacha	30-80	0,007 - 0,98	0,62 - 0,99	–	1,2E-02 - 2,4E-03	14,80 - 25,03	Kumar y Kumar (2015)

2.6.3 Modelos reológicos

Numerosos modelos reológicos se han utilizado para describir el comportamiento de flujo de los alimentos. Estos modelos se utilizan para correlacionar el comportamiento de varios fluidos en un rango de cizalla amplio, aunque en ocasiones no es suficiente un solo modelo para describir el comportamiento de un determinado fluido. Es de resaltar, que la mayoría de fluidos alimenticios no tienen un comportamiento newtoniano (Quek *et al.*, 2013).

Existen dos tipos de fluidos, en función de la aplicación de esfuerzos cortantes. Los fluidos independientes del tiempo (dilatante, plástico y pseudoplástico), en los cuales la tasa de deformación es una función mono-valuada no lineal del esfuerzo cortante aplicado y no poseen memoria reológica (Garriga, 2002). El comportamiento más usual en dispersiones alimentarias se asocia a fluidos pseudoplásticos (shear-thinning), los cuales se

caracterizan por una disminución de su viscosidad y esfuerzo de corte con la tasa de deformación (Fig. 2-1). Este tipo de fluidos ostentan índices de comportamiento de flujo menores a la unidad ($n < 1,0$) (Shamsudin *et al.*, 2013). En la Tabla 2-7, se detallan los modelos más usuales utilizados para describir el comportamiento reológico de fluidos independientes del tiempo. Cuanto menos parámetros presente un fluido más sencilla será su reología y más aplicable como modelo de ajuste reométrico (Gratão *et al.*, 2007).

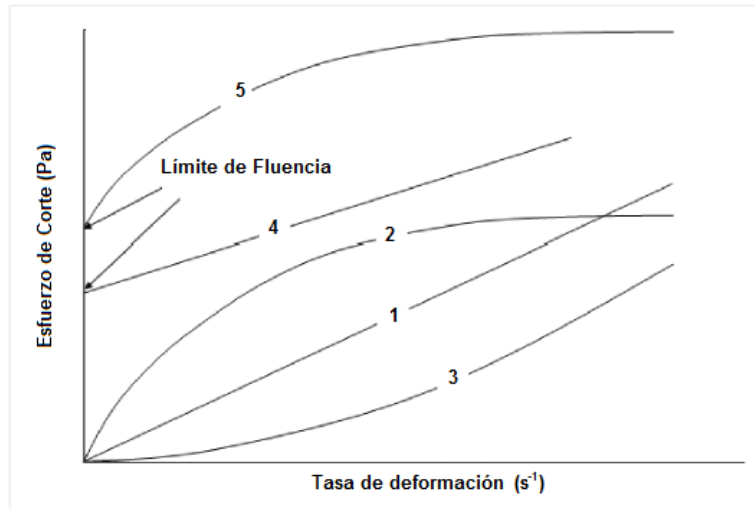


Figura 2-1: Comportamiento típico de fluidos independientes del tiempo: 1) Newtoniano, 2) Pseudoplástico, 3) Dilatante, 4) Plástico de Bingham, 5) Herschel–Bulkley. (Zhong y Daubert, 2007).

Tabla 2-7: Modelos reológicos de fluidos no-newtonianos independientes del tiempo. (Mezger, 2006)

Modelo	Ecuación*	Parámetros
Casson	$\sigma^{0.5} = (\sigma_0)^{0.5} + K_1(\dot{\gamma}^{0.5})$	σ_0, K_1
Mizrahy y Berk	$\sigma^{0.5} = (\sigma_0)^{0.5} + K_1(\dot{\gamma})^{n_1}$	σ_0, K_1, n
Ellis	$\dot{\gamma} = K_1\sigma + K_2(\sigma)^n$	σ, K_1, n
Herschel-Bulkley	$\sigma^{n_1} = (\sigma_0)^{n_1} + K_1(\dot{\gamma}^{n_2})$	σ_0, K_1, n_1, n_2
Power Series	$\dot{\gamma} = K_1\sigma + K_2(\sigma)^3 + K_3(\sigma)^5 + \dots$ $\sigma = K_1\dot{\gamma} + K_2(\dot{\gamma})^3 + K_3(\dot{\gamma})^5 + \dots$	$\sigma, \gamma, K_1, K_2, K_3$
Carreau	$\mu = \mu_\infty + (\mu_0 - \mu_\infty)[1 + (K_1\dot{\gamma})^2]^{\frac{(n-1)}{2}}$	$\mu, \mu_0, \mu_\infty, n, K_1$
Cross	$\mu = \mu_\infty + \frac{(\mu_0 - \mu_\infty)}{1 + (K_1\dot{\gamma})^n}$	$\mu, \mu_0, \mu_\infty, n, K_1$
Reiner-Philippoff	$\sigma = \left(\mu_\infty + \frac{(\mu_0 - \mu_\infty)}{1 + ((\sigma)^2/K_1)} \right) \dot{\gamma}$	$\mu_0, \mu_\infty, \gamma, K_1$

* K_1, K_2, K_3 y n_1, n_2 son constantes arbitrarias e índices de potencia, respectivamente, determinados a partir de los datos experimentales.

El segundo grupo corresponde a los fluidos dependientes del tiempo. En este tipo de fluido, la tasa de deformación no es una función mono-valuada del esfuerzo y varía según el historial de los estados previos. Poseen memoria reológica de corto plazo, que se traduce en una medida de la viscosidad aparente. Si la viscosidad disminuye con el paso del tiempo a determinada tasa de deformación se trata de un fluido tixotrópico, si por el contrario aumenta, el fluido se denomina reopéctico. El comportamiento de modelos tixotrópicos y reopécticos son inusuales o muy poco encontrados en productos alimenticios debido a que los fenómenos no gobiernan en el tiempo o no son predominantes. El comportamiento de los fluidos con esta variación de la viscosidad depende en gran medida de la historia y se podrían obtener distintas curvas para una misma muestra dependiendo del procedimiento experimental (Garriga, 2002).

Debido a la importancia de las propiedades reológicas en el procesamiento de suspensiones alimentaria, modelos reológicos se construyen para representar los datos reológicos. Numerosos modelos reológicos se han utilizado para describir el comportamiento de flujo en jugos de frutas y suspensiones de alimentos tales como la ley de Newton, Herschel-Bulkey, ley de potencia, Bingham, Croosy Casson (Fasolin y Cunha, 2012; Vandresen *et al.*, 2009; Quek *et al.*, 2013; Shamsudin *et al.*, 2013). En general, la mayoría de los fluidos alimentarios tienen un comportamiento no newtoniano. El modelo de ley de potencia es el más usado para describir el comportamiento reológico de la mayoría de los jugos de frutas, especialmente en el manejo, operaciones de calentamiento y enfriamiento, ya que es conveniente, simple y fácil de utilizar (Gratão *et al.*, 2007).

2.6.4 Viscoelasticidad

Un cuerpo que experimenta la acción de una fuerza externa, puede presentar idealmente dos comportamientos extremos: elástico y viscoso. El comportamiento elástico se describe mediante la ley de *Hooke*, de forma que el esfuerzo interno es directamente proporcional a la deformación instantánea, y es característico de los sólidos puros, en los cuales la energía de deformación se recupera totalmente cuando desaparece la fuerza, recuperándose la forma original. El comportamiento viscoso característico de los fluidos puros, los cuales se deforman de modo no reversible, ya que la energía de deformación se disipa en forma de calor, y no se recupera la forma original al desaparecer la fuerza. Estos fluidos siguen la ley de *Newton*, tal que el esfuerzo interno es directamente proporcional al gradiente de deformación, pero independiente de la deformación en sí (Rao, 2006).

En general, los materiales tienen un comportamiento intermedio entre estos dos extremos, disipando energía de deformación al fluir, mientras que almacenan energía para recuperar parcialmente la forma original cuando el esfuerzo desaparece. Estos materiales se denominan *viscoelásticos*. El estudio de propiedades viscoelásticas relaciona el esfuerzo cortante, la deformación y el tiempo mediante una *ecuación reológica de estado*. Para facilitar el estudio mediante ecuaciones diferenciales lineales, inicialmente se establece la región de viscoelasticidad lineal (RVL), rango en el cual la relación entre el esfuerzo y al deformación sólo es función del tiempo o de la frecuencia, pero no depende de la magnitud del esfuerzo aplicado (Fig. 2-2) (Steffe, 1996).

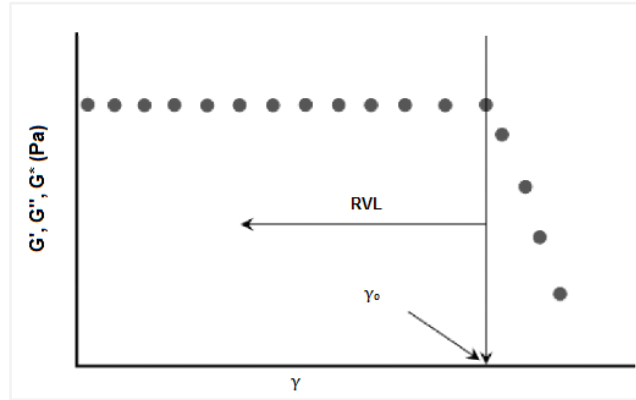


Figura 2-2: Ilustración de una prueba de barrido de deformación típica utilizada para determinar el límite de régimen viscoelástico lineal de un material (Steffe, 1996).

Con el fin de proporcionar información correspondiente a tiempos muy cortos, el esfuerzo o la deformación pueden variarse periódicamente, siguiendo una función sinusoidal a una determinada frecuencia. Un experimento oscilatorio de frecuencia es cualitativamente equivalente a un experimento transitorio de tiempo (inverso del tiempo). La magnitud de la deformación o esfuerzo aplicado deber ser mínima, para mantenerse en el rango RVL, es decir aplicar una deformación que siga la función (Ec. 2.4):

$$\gamma(t) = \gamma_0 \text{sen}(\omega t) \quad (\text{Ec. 2.4})$$

Donde γ_0 es la amplitud y ω es la frecuencia de oscilación, midiendo el esfuerzo necesario para mantener esta deformación y su variación con la frecuencia. En el caso de un sólido elástico el esfuerzo cortante será máximo cuando la deformación se máxima, es decir, cuando $\text{sen}(\omega t)=1$, y por tanto, ωt sea un número impar de veces $\pi/2$. La respuesta del material con la perturbación aplicada será (Ec. 2.5):

$$\sigma(t) = \sigma_0 \text{sen}(\omega t) \quad (\text{Ec. 2.5})$$

Si el material es viscoso puro, el esfuerzo cortante será máximo cuando sea máxima la tasa de deformación, que al ser la derivada de la deformación respecto al tiempo viene dada por la expresión (Ec. 2.6):

$$\dot{\gamma} = \frac{d\gamma}{dt} = \gamma_0 \omega [\cos(\omega t)] \quad (\text{Ec. 2.6})$$

Es decir que sigue la función (Ec. 2.7):

$$\sigma = \sigma_0 \cos(\omega t) = \sigma_0 \text{sen} \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) \quad (\text{Ec. 2.7})$$

En estas ecuaciones se puede observar que en el caso de un sólido elástico el esfuerzo cortante está en fase con la deformación, mientras que para un líquido viscoso existe un desfase de $\pi/2$ radianes. Por lo tanto, un fluido viscoelástico presentará un desfase entre

0 y $\pi/2$, que indicará la relación entre elasticidad y viscosidad, y dependerá de la frecuencia de oscilación. Por ejemplo, a frecuencias muy altas correspondientes a tiempos muy cortos, el material no tiene tiempo de relajarse y su comportamiento se acerca al de un sólido elástico, con ángulo de desfase pequeño. Por el contrario, a frecuencias bajas, el material tiene tiempo de relajarse y fluir y, por tanto, su comportamiento es más viscoso, lo que implica un ángulo de desfase mayor (Fig. 2-3) (Steffe, 1996).

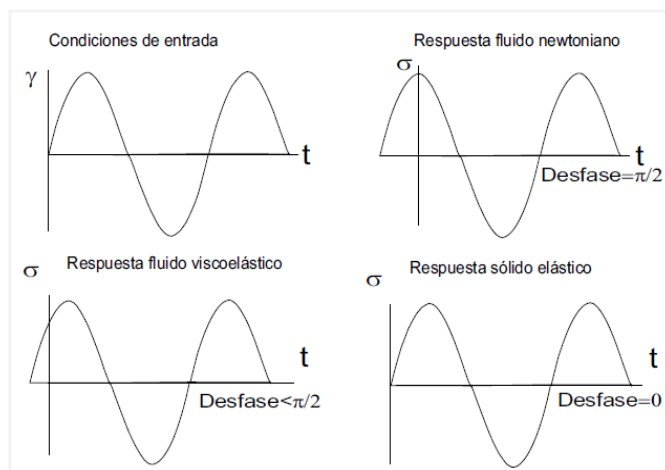


Figura 2-3: Comportamiento de un material sometido a un ensayo oscilatorio (Rao, 2006)

Si δ es el ángulo de desfase, que depende de ω y se tiene en cuenta que σ_0 es proporcional a γ_0 y también depende de ω , se puede expresar σ como (Ec. 2.8):

$$\sigma = G^*(\gamma_0)[\text{sen}(\omega t + \delta)] \quad (\text{Ec. 2.8})$$

Donde G^* es la constante de proporcionalidad entre las amplitudes del esfuerzo y la deformación, y se denomina módulo complejo. Sin embargo, normalmente se utilizan más los módulos de almacenamiento (G') y de pérdidas (G'') dados por las expresiones (Ec. 2.9, Ec. 2.10):

$$G' = G^* \cos(\delta) \quad (\text{Ec. 2.9})$$

$$G'' = G^* \sin(\delta) \quad (\text{Ec. 2.10})$$

El valor G' es una medida de la energía de deformación almacenada por la muestra durante el proceso de deformación. Después que se retira la carga, esta energía está completamente disponible, actuando ahora como la fuerza motriz para el proceso de reformación que compensa parcialmente o completamente la deformación obtenida previamente de la estructura. Los materiales que almacenan toda la energía durante la deformación muestran un comportamiento de deformación completamente reversible. Por lo tanto, G' representa el comportamiento elástico de un material (Mezger, 2006).

El valor G'' es una medida de la energía de deformación utilizado por la muestra durante el proceso de corte, y por lo tanto, después se pierde para la muestra. Esta energía se gasta

durante el proceso de cambio de la estructura del material, por ejemplo, cuando la muestra está fluyendo parcial o completamente. Se dice que la energía consumida durante este proceso de fricción, se "disipa". Una parte de esta energía calienta el material, y otra parte se pierde al medio circundante en forma de calor. Por lo tanto, G'' representa el comportamiento viscoso de un material (Mezger, 2006).

Otra función popular del material usada para describir el comportamiento viscoelástico, es la tangente del desplazamiento de fase o ángulo de fase (llamada $\tan \delta$), que es también una función de la frecuencia (Ec. 2.11):

$$\tan(\delta) = \frac{G''}{G'} \quad (\text{Ec. 2.11})$$

Si $G' > G''$ el comportamiento elástico predomina sobre el viscoso. Este tipo de materiales presenta cierta rigidez, y es característico, de sólidos o pastas estables. Sin embargo, muchas dispersiones como productos farmacéuticos, lociones o productos alimenticios muestran una tendencia de flujo de baja viscosidad a media y altas tasas de deformación, y $G' > G''$ ($\tan \delta < 1,0$) en el RVL. En este caso se dice que el material posee una estructura tipo gel débil, y se concibe como cierta forma de estabilidad (Mezger, 2006). Este comportamiento ha sido característico en jugos, pulpas y demás suspensiones derivadas de frutas (Meng y Rao, 2005; Moraes *et al.*, 2011; Chaikham y Apichartsrangkoon, 2012; Abbasi y Mohammadi, 2013; Augusto *et al.*, 2013; Moelants *et al.*, 2013; Ma *et al.*, 2013). Este mismo comportamiento fue encontrado en el gel de aloe vera en un rango de temperatura de 15 a 45°C. Benchabane y Bekkour (2008) resaltan el efecto dominante del módulo elástico comparado con el módulo viscoso en suspensiones poco concentradas de CMC (<2,0%). Por su parte, Song *et al.*, (2006) en suspensiones viscoelásticas de goma xantán menores al 3%, cita la importancia de la predominancia del módulo elástico con valores de tangente de pérdida menores a la unidad ($\tan \delta < 0,5$).

Si $G'' < G'$ el comportamiento viscoso domina el elástico. El material exhibe un comportamiento de un líquido en el RVL ($\tan \delta > 1,0$). Estos materiales, por lo general, no muestran un comportamiento estable en reposo, aunque este comportamiento puede ocurrir en fluidos a una tasa de flujo muy baja. Todos los fluidos que presentan una viscosidad de cizallamiento cero cuando está en reposo, es decir, evaluado a una tasa de deformación $\leq 0,01 \text{ s}^{-1}$ presentan este comportamiento. Otros ejemplos, engloban a soluciones de polímeros, polímeros no ligados (silicona), barnices altamente viscosos, tintas de impresión, entre otros (Mezger, 2006).

3. Capítulo 3.

EFFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE HIDROCOLOIDES Y ALOE VERA EN LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y GRADO DE ESTABILIDAD DE BEBIDAS DE TOMATE DE ÁRBOL (*Cyphomandra betacea*)

RESUMEN – Fue evaluado el efecto de la incorporación de hidrocoloides (goma xantán, CMC) y aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) en las características fisicoquímicas y grado de estabilidad de bebidas de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*). La incorporación de hidrocoloides ayudó a controlar la separación de fases de las bebidas durante el almacenamiento. Concentraciones de GX y CMC $\geq 0,05\%$ p/p, son adecuadas en la estabilidad física de las bebidas, expresado en bajas velocidades de sedimentación y altos valores de potencial ζ ($>30\text{mV}$), sin afectar significativamente propiedades fisicoquímicas, parámetros de color y atributos sensoriales. La incorporación del gel de aloe vera afectó significativamente el pH y acidez titulable ($p < 0,05$), pero su efecto en la inestabilidad física no fue significativo. Los resultados sugieren que debido al carácter hidrofílico y aniónico de los hidrocoloides, éstos son eficaces en los procesos de estabilidad estérica y electrostática de partículas suspendidas favoreciendo el control de fenómenos de separación de fases, sin alterar las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de las bebidas de tomate de árbol.

Palabras claves: Hidrocoloides, sedimentación, potencial ζ , aloe vera.

ABSTRACT - It was evaluated the effect of the incorporation of hydrocolloids (xanthan gum, CMC) and aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) on the physicochemical characteristics and degree of stability of beverages tree tomato (*Cyphomandra betacea*). The addition of hydrocolloids helped control the phase separation during storage drinks. Concentrations of GX and CMC $\geq 0,05\%$ w/w, are suitable in the physical stability of the beverages, expressed at low settling rates and high values of zeta potential ($>30\text{mV}$), without significantly affecting physicochemical properties color parameters and sensory attributes. The addition of aloe vera gel significantly affect the pH and titratable acidity ($p < 0,05$), but its effect on the physical instability was not significant. The results suggest that due to the hydrophilic and anionic hydrocolloids character, they are effective in the process of steric and electrostatic stability of suspended particles favoring control phenomena of phase separation, without altering the physicochemical and sensory properties of the beverage tomato tree.

Keywords: Hydrocolloids, sedimentation, potential ζ , aloe vera.

INTRODUCCIÓN

El tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) es un cultivo de gran importancia socioeconómica en Colombia y un producto prometedor para exportación. Al fruto se le otorgan propiedades nutraceuticas dado su alto contenido de vitaminas, minerales, carotenoides, antocianinas y compuestos fenólicos (Márquez *et al.*, 2007; Nascimento *et al.*, 2013). Por su parte, el gel de aloe vera (*Aloe barbadensis* M.) es un gel mucilaginoso que posee un sinnúmero de componentes bioactivos responsables de propiedades funcionales, biológicas y nutraceuticas. La inclusión de aloe vera en matrices alimentarias, fortalece su valor nutritivo (Boghani *et al.*, 2012; Hamid *et al.*, 2014).

Los jugos formulados a partir de pulpa de frutas se comportan como dispersiones, compuestas por dos fases: Una fase dispersa de pequeñas partículas y un medio acuoso de dispersión alrededor de éstas. Las dispersiones no son termodinámicamente estables, dado que existen diferentes procesos en los cuales las partículas de la fase dispersa interactúan entre ellas, provocando mecanismos de inestabilidad como sedimentación o floculación (Schramm, 2005). La separación de fases en el desarrollo de productos líquidos es un defecto de calidad, afectando la comercialización y aceptabilidad del producto, pero se puede controlar mediante la incorporación de sustancias hidrocoloides que permitan mantener la estabilidad durante el almacenamiento (Ibrahim *et al.*, 2011).

Los hidrocoloides se consideran un grupo diverso de polímeros de cadena larga que se caracterizan por formar dispersiones y geles viscosos cuando se disuelven en agua, otorgando una amplia funcionalidades como alta capacidad de retención de agua, cambios en las propiedades reológicas e ionización de partículas en soluciones, induciendo a la estabilidad de partículas insolubles y modificando las propiedades sensoriales de un sistema alimentario (Sahin y Ozdemir, 2007). Dentro de los coloides hidrofílicos más utilizados se encuentran la goma xantán (GX) y la carboximetilcelulosa sódica (CMC), que son polisacáridos aniónicos y que poseen una alta capacidad de retención y absorción de agua, favoreciendo procesos de estabilización estérica y electrostática de partículas insolubles en dispersiones alimentarias (Genovese y Lozano, 2001; Liang *et al.*, 2006).

Existe un sinnúmero de investigaciones relacionadas con el uso de hidrocoloides en dispersiones alimentarias. Genovese y Lozano (2001) argumentan que la adición de GX y CMC permiten mantener la turbidez de bebidas estables en el tiempo, y que el potencial ζ puede ser suficiente para predecir la estabilidad de jugos de frutas. Liang *et al.*, (2006) concluyen que el control de la sedimentación de partículas en jugos de zanahoria se asocian a fuerzas electrostáticas y aumento de la viscosidad, debido a la incorporación y efecto combinado de los hidrocoloides. Ibrahim *et al.*, (2011) resalta el poder estabilizante de GX y CMC, sin afectar las propiedades funcionales y sensoriales de jugos de manzana. Otros estudios subrayan el control del índice y velocidad de sedimentación en dispersiones alimentarias debido a la incorporación de sustancias poliméricas (Sahin y Ozdemir, 2007; Fasolin y Cunha 2012). Asimismo, otros autores resaltan el poder estabilizante de hidrocoloides en bebidas de frutas sin afectar las propiedades fisicoquímicas y sensoriales (Keshtkaran *et al.*, 2013; Hamid *et al.*, 2014; Halim *et al.*, 2014; Nwaokoro y Akanbi, 2015). Por tal razón, esta investigación fue planteada con el objetivo de evaluar el efecto de la adición de hidrocoloides y aloe vera en el grado de estabilidad de bebidas de tomate de árbol, y además, determinar su incidencia en las propiedades fisicoquímicas y sensoriales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron frutos de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) de la variedad anaranjado común. Los frutos fueron seleccionados con un grado de madurez, tipología color 6 (NTC 4105/1997). Los hidrocoloides (GX y CMC) y conservantes de grado alimenticio (benzoato de sodio y sorbato de potasio) utilizados fueron suministrados por la empresa Bell Chem Internacional S.A. Gel de Aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) grado alimenticio con 98% de pureza, fue adquirido en la entidad Ayala Benard S.A.S.

Caracterización de materias primas: Se caracterizó físico-químicamente la pulpa de tomate de árbol y gel de aloe evaluando propiedades como pH, sólidos solubles totales (SST) y acidez titulable mediante los protocolos de la AOAC (2005). Asimismo, se determinó la viscosidad por reometría y rendimiento de la fruta en pulpa, expresado en porcentaje (Márquez, 2009).

Preparación de la bebida tipo néctar: El material vegetal fue desinfectado en soluciones de hipoclorito de sodio a 100 ppm, durante 10 minutos, y finalmente lavado en agua. La pulpa se extrajo en una máquina despulpadora (D1000, CITALSA, Colombia). Las bebidas fueron formuladas a partir de una base de cálculo de 300 g, con participación de pulpa del 18% según la NTC 3549/1999. Se utilizó sacarosa como edulcorante, y se adicionó agua como disolvente hasta obtener una bebida con una concentración de SST de 10°Brix. La respectiva concentración de hidrocoloides por tratamiento fue adicionada (Anexo B3-1), previa preparación en una suspensión de agua a 40°C. Además, fue adicionada una mezcla de conservantes al 0,125% p/p en una relación 50/50 (sorbato de potasio/benzoato de sodio). Las bebidas fueron homogenizadas en un dispersor Ultra-Turrax (IKA, T25 Basic, Alemania) durante 60s a 5000 rpm; y sometidas a un proceso leve de pasteurización a 60°C, durante un minuto. El producto final fue envasado en recipientes plásticos tipo PET y almacenado bajo refrigeración, para su posterior caracterización.

Propiedades fisicoquímicas: Las bebidas de tomate de árbol fueron caracterizados fisicoquímicamente, determinando las siguientes propiedades basados en la norma AOAC (2005): Concentración de sólidos solubles (SST) expresada en °Brix; potencial de hidrógeno (pH); acidez titulable expresado como porcentaje de ácido cítrico; y densidad por picnometría utilizando agua destilada como líquido de referencia. Las mediciones se realizaron por triplicado a temperatura ambiente (25°C).

Determinación de potencial zeta (ζ): El potencial ζ se determinó por electroforesis utilizando el instrumento Zeta-sizer (Modelo ZS90, Malvern, UK) siguiendo la metodología propuesta por Genovese y Lozano (2001). Las muestras fueron diluidas en agua destilada, en una relación 1:20. El estudio fue realizado por triplicado a temperatura ambiente (25°C).

Tamaño de partícula: El tamaño de partícula de los sólidos en suspensión en las bebidas (PSD) se determinó mediante dispersión de luz utilizando un equipo Mastersizer (Modelo 3000E, Malvern, UK) e implementando la metodología propuesta por Kubo *et al.*, (2013). El tamaño de las partículas se expresó en función del diámetro medio basado en la relación superficie-área (D [3,2]) y la relación volumen (D [4,3]) de acuerdo a las expresiones (Ec. 3.1, Ec. 3.2), donde n_i es el número de partículas con diámetro d_i .

$$D[3, 2] = \frac{\sum_i n_i d_i^3}{\sum_i n_i d_i^2} \quad (\text{Ec. 3.1})$$

$$D[4,3] = \frac{\sum_i n_i d_i^4}{\sum_i n_i d_i^3} \quad (\text{Ec. 3.2})$$

Ambas relaciones fueron estudiadas, dado que el D [4,3] se afecta por partículas grandes, mientras que el D [3,2] está en función de partículas pequeñas (Bengtsson *et al.*, 2011).

Prueba de sedimentación: La separación de las fases se estableció en función del cambio de altura observado en cilindros graduados de 50 mL, basados en el protocolo descrito por Fasolin y Cunha (2012). Los análisis se realizaron bajo condiciones de almacenamiento a temperatura de $10^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$, durante 120 horas hasta alcanzar el equilibrio de las fases. La separación de fases se observó visualmente, y el índice de sedimentación (IS) se calculó mediante la siguiente expresión (Ec. 3.3):

$$IS(\%) = \left(\frac{V_t}{V_0} \right) * 100 \quad (\text{Ec. 3.3})$$

Donde V_t es el volumen de la fase sedimentada después de un tiempo t y V_0 es el volumen inicial a un tiempo t_0 . La influencia de las composiciones de las formulaciones en el proceso de sedimentación se analizó mediante una ecuación cinética de primer orden (Ec. 3.4).

$$IS = IS_{eq}(1 - e^{-vt}) \quad (\text{Ec. 3.4})$$

Donde IS es el volumen de sedimento en el equilibrio, t el tiempo, y v la velocidad de sedimentación en h^{-1} . Los experimentos fueron realizados por triplicado.

Evaluación instrumental del color: La medición del color se realizó mediante el sistema triestímulo CIELab usando un espectrofotómetro de esfera (Modelo CR400, Konica-Minolta) con iluminante D65 y con un ángulo visual de 10° previamente calibrado guiados en la metodología propuesta por Cserhalmi *et al.*, (2006). A partir del espacio uniforme de color CIELab, se determinó la diferencia de color (ΔE) definida mediante la siguiente expresión (Ec. 3.5). Fueron realizadas cinco mediciones por tratamiento.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (\text{Ec. 3.5})$$

Turbidez (Cloudiness): Las bebidas fueron sedimentados de forma acelerada mediante una centrifugadora (Hettich Universal, Modelo 320R, Germany) a $4200 g$ por 15 min en tubos graduados de 25 ml. Se recolectó el sobrenadante y se determinó la absorbancia a 660 nm en un espectrofotómetro UV-visible (Thermo Scientific, Evolution 60S, USA), tomando como patrón agua destilada. El resultado se relacionó directamente con la turbidez o nubosidad (cloudiness) del sobrenadante, dado que las partículas suspendidas absorben más radiación, y es inversamente proporcional a la sedimentación (Silva *et al.*, 2010; Kubo *et al.*, 2013). Los experimentos fueron realizados por triplicado.

Caracterización de fases: Las fases (sedimento y sobrenadante) obtenidas después del proceso de sedimentación por centrifugación, se caracterizaron a través de la evaluación de parámetros como densidad, potencial ζ y distribución del tamaño de partícula, tal como se describe anteriormente. La viscosidad se determinó mediante un viscosímetro (Brookfield, Modelo DV III Ultra, USA) con una geometría de cilindros concéntricos, a 25°C y una tasa de corte de 10s^{-1} . Los experimentos fueron realizados por triplicado.

Análisis sensorial: Se realizó una evaluación sensorial a todas las bebidas formuladas empleando una prueba descriptiva, paramétrica, con escala no estructurada para cada atributo sensorial: color, sabor, aroma y apariencia. La evaluación se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Control y Calidad de Alimentos (LabCCA), empleando 15 jueces semi-entrenados seleccionados por sus conocimientos previos en las características fisicoquímicas y sensoriales de la pulpa de tomate de árbol, y a los cuales les detalló un perfil parcial del producto. Después de la ponderación de los jueces por atributo basados en el formato de análisis sensorial (Anexo A-1), se estudiaron las calificaciones, y se aplicó el respectivo análisis estadístico (Márquez, 2009).

Diseño experimental: Para la experimentación fue establecido un diseño rotacional central compuesto con ocho unidades debido a la combinación de factores, cuatro réplicas en el punto central y seis puntos axiales, para un total de 18 unidades experimentales (Anexo B3-1). Los factores y niveles establecidos en el estudio se definen en la Tabla 3-1. Los resultados fueron analizados estadísticamente mediante generación de superficies de respuesta, análisis de varianza, prueba de falta de ajuste y determinación de coeficientes de regresión utilizando el software Statgraphics Centurion XVI, versión 16.1.18.

Tabla 3-1: Factores analizados y codificación de los niveles establecidos

Factor	Símbolo	Bajo	Medio	Alto
Codificación		-1	0	+1
*Aloe vera (% p/p)	X_1	0,5	1,0	1,5
*Goma xantán (% p/p)	X_2	0,025	0,05	0,075
*Carboximetilcelulosa sódica – CMC (% p/p)	X_3	0,025	0,05	0,075

* Cantidades estimadas respecto al peso total (300 g) de la bebida.

Los datos experimentales se ajustaron al siguiente modelo de segundo orden (Ec. 3.6):

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^3 \beta_i X_i + \sum_{i=1}^3 \beta_{ii} X_i^2 + \sum \sum_{i < j=1}^3 \beta_{ij} X_i X_j \quad (\text{Ec. 3.6})$$

Donde β_0 , β_i , β_{ii} , β_{ij} son los coeficientes de regresión para el intercepto, términos de interacción lineales y cuadráticos, respectivamente y X es la variable independiente.

ANÁLISIS Y RESULTADOS

Caracterización de materias primas: En La Tabla 3-2 se detallan algunas características fisicoquímicas de la pulpa de tomate de árbol y gel de aloe vera. Los valores de pH, acidez titulable y concentración de sólidos son cercanas a las reportadas por Márquez *et al.*, (2007) para tomate de árbol y Elbandy *et al.*, (2014) en jugo de aloe vera. No obstante, cabe resaltar que dichas características pueden diferir dado que están en función de la variedad, grado de madurez o condiciones ecofisiológicas de cultivo.

Propiedades fisicoquímicas: Los resultados de las características fisicoquímicas de las bebidas de tomate de árbol formuladas con hidrocoloides y aloe vera, se detallan en la Tabla 3-3. El efecto de la adición de hidrocoloides no fue significativo ($p > 0,05$) en el comportamiento de las propiedades fisicoquímicas de las bebidas. Resultados similares, fueron encontrados por Chatterjee *et al.*, (2004), quienes reportan que jugos clarificados de frutas, no sufrieron cambios significativos en la concentración de SST y acidez titulable

debido a la incorporación de quitosano ($p > 0,05$). Asimismo, Chaikham y Apichartsrangkoon (2012) reportan que la adición de GX no afectó el pH y acidez titulable de jugos de *Dimocarpus longan*. A su vez, se reporta que en jugos de durazno el porcentaje de acidez, la concentración de SST y pH presentan un comportamiento definido, independientemente de la concentración de goma de *Enterolobium cyclocarpum*, (Delmonte *et al.*, 2006).

Tabla 3-2: Propiedades fisicoquímicas de pulpa de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* cv. *Sendtn*) y gel de aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller).

Característica	Pulpa	Gel
pH	3,44 ± 0,39	4,33 ± 0,53
SST (°Brix)	11,20 ± 1,10	4,20 ± 0,32
Acidez titulable (% ácido cítrico)	1,66 ± 0,08	1,12 ± 0,02
Viscosidad (mPa.s)	2634 ± 87	3,10 ± 0,27
Rendimiento en pulpa (%)	69,35 ± 2,62	--

Media aritmética ± error estándar.

Tabla 3-3: Propiedades fisicoquímicas de bebidas de tomate de árbol

Tratamiento	pH	Acidez Titulable (% ácido cítrico)	Densidad (g/mL)	SST (°Brix)	Potencial ζ (mV)
T1	4,28	0,49	1,031	9,57	-36,90
T2	4,31	0,51	1,029	9,37	-33,20
T3	4,35	0,53	1,025	9,80	-37,40
T4	4,34	0,51	1,026	9,83	-35,93
T5	4,25	0,52	1,009	9,47	-29,33
T6	4,19	0,49	0,991	9,33	-38,27
T7	4,11	0,52	1,021	9,40	-38,90
T8	4,10	0,49	0,988	9,33	-36,46
T9	4,19	0,52	1,007	9,37	-30,53
T10	4,19	0,50	1,024	9,67	-34,23
T11	4,31	0,52	1,022	9,70	-41,00
T12	4,31	0,54	1,027	9,70	-36,20
T13	4,09	0,51	1,021	9,53	-34,93
T14	4,09	0,51	0,977	9,40	-35,12
T15	4,26	0,44	1,029	9,60	-36,23
T16	4,21	0,53	1,024	9,63	-42,67
T17	4,32	0,54	0,977	9,57	-27,57
T18	4,25	0,54	1,033	9,43	-39,80
Control	4,35	0,49	1,047	9,90	-18,17

No obstante, la concentración de aloe vera resultó ser significativa en la variación del pH y porcentaje de acidez titulable en las bebidas formuladas (Anexo B3-2, B3-3). Este comportamiento probablemente se deba a incorporación de ácidos orgánicos constituyentes del gel de aloe vera, que pueden intensificar la acidez en las bebidas formuladas. Boghani (2012) reporta una concentración de 1,23% de ácido cítrico en jugo de aloe. Además, Bozzi *et al.*, (2007) señala que gel de aloe vera contiene ácido cítrico, ácido acético y ácido málico, que pueden afectar la acidez de una matriz alimentaria, y relacionarse con el consecuente descenso del pH.

El valor de pH de las bebidas fluctuó entre 4,01 – 4,31 valores inferiores al estimado en la bebida control. Igualmente, se produjo un aumento de la acidez titulable en las bebidas tratados, respecto al testigo, diferencias asociadas al efecto otorgado por las propiedades del gel de aloe. Elbandy *et al.*, (2014) reportó un aumento significativo de la acidez titulable y valoración de pH, en néctares de mango formulados con aloe vera. A su vez, Hamid *et al.*, (2014) reportan un aumento de la acidez en néctares mixtos de zanahoria-naranja, el cual atribuyen al contenido de ácidos (salicílico, urónico, fenólicos) presentes en el gel de aloe. Los coeficientes de determinación (R^2) del modelo de ajuste para el comportamiento de pH y acidez titulable, respectivamente, fueron mayores a 0,75 (Tabla 3-4).

Tabla 3-4: Análisis estadístico de coeficientes de regresión para comportamiento de propiedades fisicoquímicas de bebidas de tomate de árbol.

Coeficientes	pH	Acidez (% ác. cítrico)	Potencial ζ (mV)
β_0	4,83	+0,63	-25,33
β_1	-0,55	-0,15	3,10
β_2	-9,80	-1,26	-111,73
β_3	-6,68	-0,63	-216,26
β_{11}	-1,31	0,22	-97,68
β_{12}	1,21	0,54	22,32
β_{13}	40,20	-2,00	NS
β_{22}	0,25	0,06	NS
β_{23}	87,43	11,12	-31,82
β_{33}	44,43	NS	835,66
R^2	0,80	0,86	0,75
Modelo (p-valor)	0,04	0,07	0,04
Falta ajuste (p-valor)	0,36	0,08	0,11

NS: Coeficientes no significativos

Por otro lado, la concentración de aloe vera, no ejerció un efecto significativo en el comportamiento de SST y densidad de las bebidas. Elbandy *et al.*, (2014) reportan que la adición de aloe hasta una concentración de 10%, no influyó en el comportamiento del contenido de SST en néctares de mango. Ellos exponen que el gel de aloe vera posee un bajo contenido de sólidos (<4,0%), que al incorporarse en matrices alimentarias afecta levemente el comportamiento fisicoquímico del producto. A su vez, Shubhra *et al.*, (2014) no encontraron diferencias en la variación de SST en néctares de mandarina (Kinnow), enriquecidos con gel de aloe al 4%. Los coeficientes de determinación del modelo de ajuste para la concentración de SST y densidad en bebidas de tomate de árbol, fueron mayores a 0,80 (Tabla 3-4). La prueba de ajuste permite establecer que los modelos estimados describen adecuadamente la tendencia de las variables fisicoquímicas, en función de la adición de hidrocoloides y aloe vera ($p > 0,05$).

Potencial Zeta (ζ): Se estimó un efecto significativo de la GX ($p < 0,05$) en la variación del potencial ζ (Fig. 3-1). Este comportamiento probablemente se deba al carácter aniónico de la goma que induce a la formación de fuerzas altamente repulsivas entre partículas, con el consecuente incremento del potencial ζ . Un comportamiento similar fue reportado en jugos de manzana formulados con GX al 0,4% p/p (Genovese y Lozano, 2001). Por su parte, Dluzewska *et al.*, (2005) argumenta que los hidrocoloides pueden estabilizar dispersiones mediante efectos viscosos, impedimento estérico o interacciones electrostáticas. En consecuencia, dado el aumento de la viscosidad aparente y comportamiento del potencial ζ con la adición de GX, se podría inferir que existen elementos dominantes relacionados con efectos viscosos y de estabilidad estérica en las bebidas de tomate de árbol, que

permitieron controlar ciertos mecanismos de inestabilidad coloidal, y a su vez el grado de separación de fases (Mirhosseini y Tan, 2010).

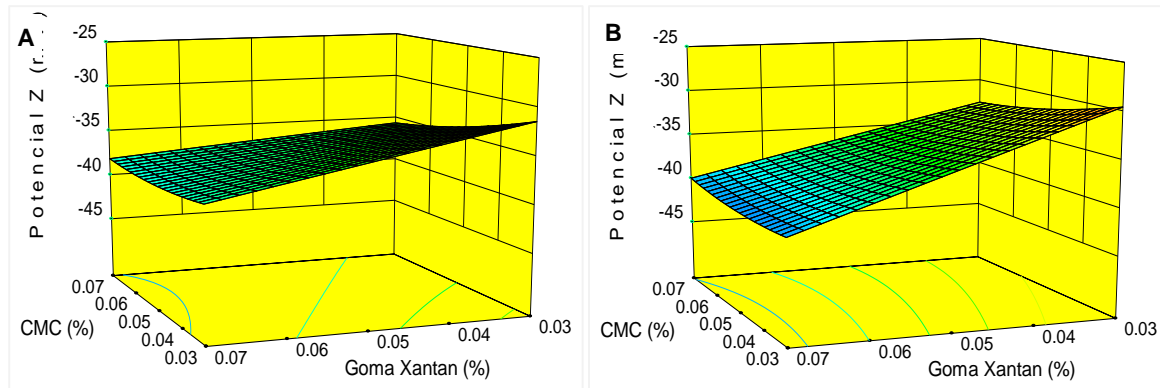


Figura 3-1: Superficies de respuesta para comportamiento de potencial ζ : (A) aloe vera al 0,5% (punto mínimo), (B) aloe vera al 1,5% (punto máximo).

En la Tabla 3-4, se detallan los coeficientes de regresión del modelo matemático que describe el comportamiento de potencial ζ en función del uso de hidrocoloides y aloe vera. Se estimó un coeficiente de determinación (R^2) de 0,76 y la prueba de ajuste permite inferir que el modelo seleccionado es adecuado para describir su comportamiento ($p > 0,05$). Los valores de potencial ζ en las bebidas de tomate de árbol, oscilaron entre -27,57 y -42,67 mV, para los tratamientos T17 y T16 respectivamente. Estas discrepancias se explican en función del grado de concentración de hidrocoloides aniónicos incorporados a las bebidas, las cuales afectan las fuerzas repulsivas entre partículas (Genovese y Lozano, 2001). No obstante, estos resultados son cercanos a los reportados en jugos de manzana, estabilizados con GX y CMC (Genovese y Lozano, 2001). Asimismo, se reportan valores de potencial ζ entre -24,6 y -39,1 en bebidas de naranjas, formuladas con pectina y CMC (Dluzewska *et al.*, 2005). Leiberman *et al.*, (1998) argumenta que valores absolutos mayores a 25mV en la medición de potencial ζ , es indicativo de sistemas de emulsión estables sin efecto de aglomeración. Abbasi y Mohammadi (2013) resaltan el poder estabilizante de goma persian en emulsiones de leche y jugo de naranja, a partir de los valores de potencial ζ que fluctuaron de -24 a -31 mV. En consecuencia, se puede resaltar la capacidad estabilizante de los hidrocoloides como GX y CMC en las bebidas, respecto al control el cual alcanzó un valor igual a -18,16 mV. Schramm (2005), establece que en suspensiones con potencial ζ menores a -20mV, predominan mecanismos de inestabilidad como la aglomeración y precipitación de partículas.

Tamaño de partícula: En la Tabla 3-5, se encuentra el tamaño de las partículas para los diferentes néctares formulados. Se evidencia que el diámetro medio basado en el volumen D [4,3] (influenciado por partículas más grandes) mostró valores mayores al diámetro medio basado en la superficie D [3,2] (influenciado por partículas más pequeñas), esto explica el efecto del tamaño en cada método de estimación.

La adición de hidrocoloides y aloe vera, no ejercieron un efecto significativo ($p > 0,05$) en la variación de los diámetros medio de las suspensiones (Anexo B3-4). Resultados similares fueron reportados por Sherafati *et al.*, (2013) en jugos de zanahoria estabilizados con goma gellan. El tamaño de partículas mostró una distribución monomodal entre ~80 y 800 μm , similar para todas las bebidas (Fig. 3-2). Lo anterior, puede explicarse atendiendo al

proceso estándar de homogeneización aplicado a las diferentes bebidas, contribuyendo a una mejor uniformidad de la distribución del tamaño de partícula. Silva *et al.*, (2010) expone que la homogeneización es un proceso mecánico que implica la reducción de partículas o gotas, para crear una dispersión estable.

Tabla 3-5: Tamaño de partícula y parámetros de color en bebidas de tomate de árbol

Tratamiento	D [3,2], μm	D [4,3], μm	L*	a*	b*	ΔE^*
T1	143	250	39,04	4,5	12,44	2,60
T2	145	243	39,12	4,12	10,74	2,78
T3	145	265	39	3,73	11,14	2,68
T4	148	246	39,03	3,89	10,97	2,69
T5	142	240	40,84	4,12	9,74	4,71
T6	142	237	38,27	4,18	10,64	2,06
T7	147	241	39,76	3,31	10,44	3,71
T8	140	243	38,19	4,76	11,58	1,61
T9	142	247	38,86	4,06	10,04	2,88
T10	139	248	40,28	3,98	12,24	3,84
T11	146	260	38,96	3,56	10,95	2,77
T12	145	241	39,24	3,58	11,61	2,92
T13	144	235	39,67	3,82	10,31	3,50
T14	145	247	39,47	4,19	10,78	3,07
T15	146	250	40,41	3,21	10,83	4,22
T16	148	242	40,85	3,02	9,85	4,96
T17	136	256	41,26	3,97	12,56	4,84
T18	140	256	40,55	3,08	11,68	4,32
Control	139	231	36,58	4,79	11,64	--

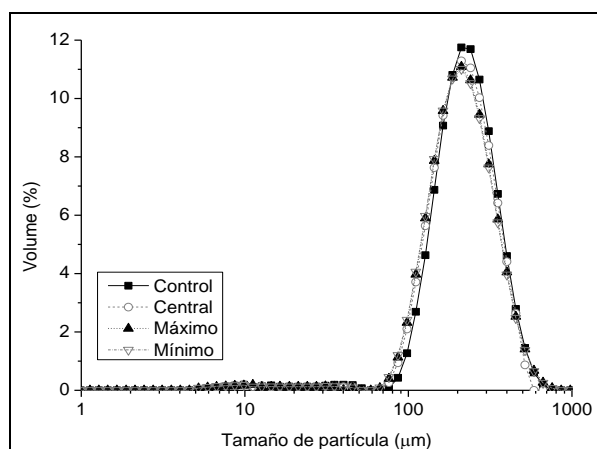


Figura 3-2: Distribución de tamaño de partículas en bebidas de tomate de árbol

Los diámetros medios basados en la superficie D [3,2] y en volumen D [4,3], en las bebidas oscilaron entre 139-150 μm y 235-265 μm , respectivamente. Estos valores son cercanos a los reportados por Kubo *et al.*, (2013) en jugos de tomate no homogeneizados a altas presiones. Leite *et al.*, (2014) estimaron valores medios del diámetro D [4,3] entre 228-278 μm en jugos de naranja. No obstante, el diámetro medio D [3,2] en estas mismas bebidas, son relativamente inferiores a los encontrados en este estudio. Al comparar, las bebidas tratadas respecto al control, se evidencia un aumento en los diámetros medios

(Tabla 3-5). Huang *et al.*, (2001) encontraron que la incorporación de hidrocoloides aumentó el tamaño de partícula en emulsiones. Keshtkaran *et al.*, (2013) argumenta que la incorporación de materiales poliméricos a suspensiones puede producir variación en la distribución del tamaño de partículas en suspensión, debido a fracciones insolubles de polisacáridos y sustancias celulósicas.

La ley de Stoke establece que la velocidad de sedimentación es proporcional al tamaño de partículas en suspensión. A su vez, Schramm, (2005) expone que dispersiones con una distribución hacia tamaños más pequeños representarán mayor estabilidad. No obstante, dado que los hidrocoloides tienden a aumentar los diámetros medios de partículas, estos pueden otorgar estabilidad a la dispersión durante el almacenamiento (Huang *et al.*, 2001). Koyama y Kitamura (2014), lograron estabilizar bebidas de arroz con diámetros de partícula que oscilaron entre 1,0 y 100 μm , con concentraciones de GX superiores a 0,1%.

Prueba de sedimentación: En la Tabla 3-6 se describen los parámetros cinéticos del modelo matemático que simulan el fenómeno de separación de fases en las bebidas, bajo condiciones de 10°C y 120 horas de almacenamiento. El índice de sedimentación (IS) disminuyó con la concentración de hidrocoloides (Fig. 3-3). Un comportamiento fue reportado en jugo mixto de tomate-zanahoria estabilizado con CMC, GX y goma guar (Nwaokoro y Akanbi, 2015). Asimismo, Ghafoor *et al.*, (2008) subrayan el poder estabilizante de GX, gellan y carragenina en la sedimentación de jugos de uva. Por otro lado, cabe resaltar que en algunos néctares no se presentaron efectos de sedimentación (IS=0), durante el periodo evaluado. Estos resultados se encontraron para concentraciones de GX y CMC mayores a 0,05%. Esto probablemente se deba al efecto complementario entre estabilizantes, dado que la GX tiene la capacidad de aumentar la viscosidad aparente de la fase dispersa, mientras que el CMC por ser un hidrocoloide electronegativo cuando se añade a suspensiones aumenta las fuerzas de repulsión electrostáticas entre partículas, otorgando estabilidad a suspensiones alimentarias (Genovese y Lozano, 2001).

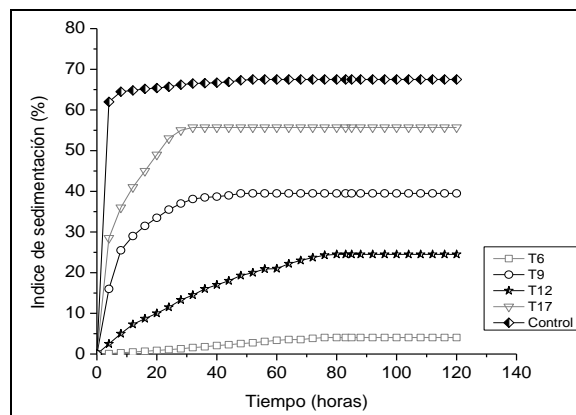


Figura 3-3: Comportamiento del índice de sedimentación en bebidas de tomate de árbol, durante el almacenamiento a temperatura de 10°C.

Tabla 3-6: Índice, velocidad de sedimentación (v) y turbidez en bebidas de tomate de árbol.

Ensayo	IS	v (h ⁻¹)*	Turbidez (Abs.)
T1	0,0	0,00	0,954
T2	40,9	0,127	0,195
T3	4,5	0,027	0,885
T4	0,0	0,00	0,762
T5	37,1	0,103	0,249
T6	4,06	0,024	1,092
T7	0,0	0,00	0,656
T8	5,0	0,022	0,982
T9	39,5	0,113	0,194
T10	7,38	0,064	0,415
T11	0,0	0,00	0,997
T12	24,5	0,028	0,895
T13	6,4	0,039	0,927
T14	3,50	0,023	0,788
T15	22,3	0,093	0,586
T16	0,0	0,00	0,914
T17	55,7	0,130	0,260
T18	0,0	0,00	0,894
Control	67,5	1,541	0,140

La adición de GX resultó ser significativa ($p < 0,05$) en la reducción de la separación de fases y control de la inestabilidad física de las bebidas (Tabla 3-6). Además, la ley de Stokes indica que la sedimentación de las partículas en suspensiones es inversamente proporcional a su viscosidad. Es decir, una mayor viscosidad de la fase continua puede aumentar beneficiosamente la estabilización de jugo. (Genovese y Lozano, 2001). Diversos estudios han reportado el uso de GX y capacidad para mejorar las propiedades reológicas y aumentar la viscosidad de dispersiones ofreciendo una mejor estabilidad de los productos alimenticios (Moraes *et al.*, 2011; Chaikham y Apichartsrangkoon, 2012; Paquet *et al.*, 2014). Además, Sahin y Ozdemir (2007) encontraron que el uso de GX es un excelente estabilizante de salsas de tomate. Ellos citan, que la GX posee una excelente capacidad de retención de agua y dado su alto peso molecular, provocan un aumento de la viscosidad aparente previniendo el control del proceso de sedimentación en suspensiones alimentarias.

Asimismo, se observa una disminución significativa de la velocidad de sedimentación con el incremento de GX (Anexo B3-7), resultado acorde con el aumento del potencial ζ , indicando una mejora en la estabilidad de las bebidas de tomate de árbol. Ghafoor *et al.*, (2008) argumentan que GX es un polisacárido aniónico, que tiene la capacidad de generar repulsión electrostática entre partículas, moderando la separación de fases. El modelo estadístico que describe el comportamiento de la velocidad en función de la adición de hidrocoloides y aloe vera, presentó un coeficiente de determinación de 0,94 (Tabla 3-7), y la prueba de ajuste no fue significativa ($p > 0,05$). La velocidad de sedimentación osciló entre 0,0-0,13 h⁻¹, dichos valores fueron superiores a los estimados en jugos de guanábana estabilizados con proteína de soja (Fasolin y Cunha, 2012). El IS y v se modelaron usando una función exponencial de primer orden, mostrando buenos coeficientes de determinación ($R^2 > 0,9$, Anexo B3-8). Kubo *et al.*, (2013) argumentan que este modelo matemático es adecuado para simular el proceso de separación de fases en suspensiones alimentarias,

cuando el fenómeno de sedimentación es función de partículas coloidales no rígidas, de forma esféricas y que sedimentan en forma libre en un medio acuoso dispersado.

Turbidez (Cloudiness): En la Tabla 3-6 se detalla el comportamiento de la turbidez en las diferentes bebidas formuladas. La incorporación de GX, resultó ser significativa ($p < 0,05$). La turbidez o nubosidad (cloudiness) en suspensiones es el resultado de partículas insolubles dispersas (Silva *et al.*, 2010). La incorporación de hidrocoloides produce mayor turbidez (absorbancia) en el sobrenadante, indicando una mayor retención de partículas en suspensión y disminución del fenómeno de separación de fases. Un comportamiento similar fue reportado por Ghafoor *et al.*, (2008) en jugos de uva estabilizados con GX, gellan y carragenina. Los coeficientes y parámetros de regresión se muestran en la Tabla 3-7. A partir la prueba de ajuste ($p > 0,05$), se puede inferir que los coeficientes de regresión describen satisfactoriamente el modelo derivado.

Tabla 3-7: Análisis estadístico de coeficientes de regresión para comportamiento de velocidad de sedimentación, tamaño de partícula y parámetros de color.

Coefficientes	v (h^{-1})	Turbidez (Abs.)	Viscosidad (mPa.s)
β_0	0,28	-0,76	10,41
β_1	-0,04	-0,41	-3,22
β_2	-4,99	31,22	168,89
β_3	-1,93	36,19	484,0
β_{11}	0,07	6,79	NS
β_{12}	NS	NS	54,80
β_{13}	9,48	-123,4	2696,0
β_{22}	0,01	-0,19	-1,59
β_{23}	25,31	NS	3887,96
β_{33}	7,29	-368,12	NS
R^2	0,94	0,87	0,98
Modelo (p-valor)	0,00	0,04	0,00
Falta ajuste (p-valor)	0,07	0,29	0,08

NS: Coeficientes no significativos

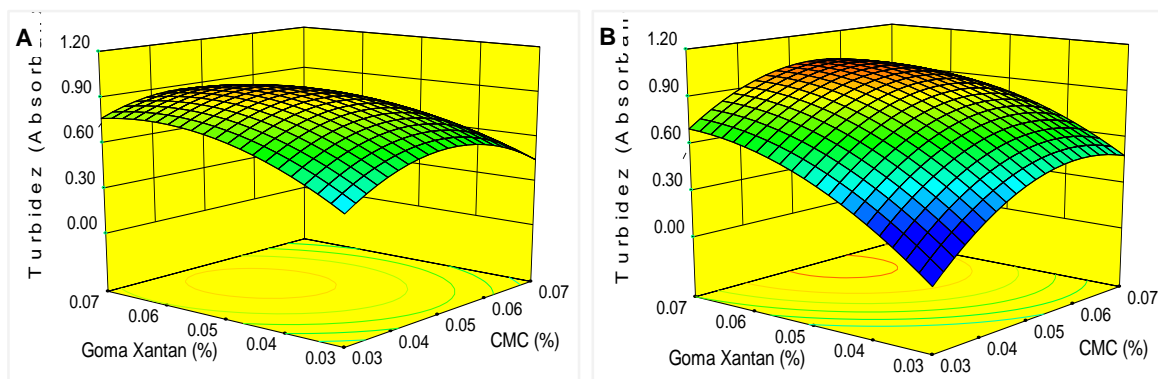


Figura 3-4: Superficies de respuesta para comportamiento de la turbidez en bebidas de tomate de árbol: A) Aloe vera al 0,5%, B) Aloe vera al 1,5%.

En la Fig. 3-4 se observa un aumento significativo en la turbidez a medida que se incrementa gradualmente la concentración de GX (Anexo B3-9). Mirhosseini *et al.*, (2008) expone un aumento en la turbidez de emulsiones de naranja estabilizadas con pectina y CMC. A su vez, Genovese y Lozano (2001) reporta una mejora en la estabilidad de jugos de manzana mediante la incorporación de CMC y GX, atribuible al aumento de la turbidez en la fase clarificada (sobrenadante). Autores sugieren que GX y CMC son polisacáridos iónicos cargados negativamente y producen un incremento de las fuerzas de repulsión electrostática entre partículas, provocando un efecto de estabilidad en las suspensiones (Genovese y Lozano, 2001; Ghafoor *et al.*, 2008).

Después del proceso de separación mecánica por centrifugación las bebidas de tomate de árbol lograron sedimentar. No obstante, se observa una relación directa entre los valores de potencial ζ , turbidez e índice de sedimentación. Los tratamientos T4, T11 y T16 ostentaron valores más altos de potencial ζ , una mayor turbidez de la fase clarificada y bajas velocidades de sedimentación; factores que indican una buena estabilidad de partículas en suspensión. Algunos autores logran establecer relaciones similares durante el estudio de estabilidad de jugos de frutas estabilizadas con coloides hidrofílicos (Genovese y Lozano, 2001; Benítez y Lozano, 2007; Mirhosseini y Tan, 2010).

Caracterización de fases: La caracterización de las fases en bebidas de tomate de árbol, fue realizada para comprender mejor el fenómeno de inestabilidad. No existen diferencias significativas en el comportamiento de la densidad, diferencial de potencial ζ y diámetros medios de partículas, en relación a la concentración de hidrocoloides y aloe vera ($p > 0,05$). Se observa que tanto la densidad como los diámetros medios de la fase sedimentada son superiores a los estimados en la fase sobrenadante (Tabla 3-8). Estas diferencias pueden considerarse como factores preponderantes en la aparición de mecanismos de inestabilidad en las bebidas. Una reducción en el tamaño de partículas conduce a posponer la separación gravitacional, porque de acuerdo a la ley Stokes, la velocidad de sedimentación es proporcional al cuadrado del radio de las partículas. Además, partículas de menor tamaño ostentarán menor peso (menor densidad), y precipitarán menos. McClement (2005), asevera que la tendencia de partículas grandes a la coalescencia es mayor que en partículas pequeñas, por tanto, reducir el tamaño puede aumentar la estabilidad y extender la vida útil de bebidas emulsificantes. Por otro lado, los diámetros medios en bebidas formuladas con hidrocoloides respecto al control, no presentaron diferencias significativas posiblemente asociado al proceso de homogeneización.

Tabla 3-8: Características fisicoquímicas de las fases, sobrenadante y sedimentada, en bebidas de tomate de árbol.

	Bebida Control		Bebidas tratadas	
	Sobrenadante	Sedimento	Sobrenadante*	Sedimento*
Densidad (g/ml)	0,99 ± 0,01	1,49 ± 0,12	1,08 ± 0,02	1,49 ± 0,07
Potencial ζ (mV)	-19,13 ± 1,83	-31,37 ± 2,21	-34,14 ± 2,18	-42,92 ± 3,68
D [3,2], μm	7,08 ± 1,43	151 ± 3,53	9,08 ± 1,44	157,61 ± 4,12
D [4,3], μm	29,60 ± 2,81	249,56 ± 12,32	35,88 ± 3,15	271 ± 12,84
Viscosidad (mPa.s)	4,50 ± 0,37	3229,8 ± 172	--	2722,60 ± 110

Media aritmética ± error estándar. * Valores promedios para los 18 ensayos realizados.

La viscosidad de la fase sobrenadante fue significativa en función de la adición de GX y CMC ($p < 0,05$). Se observa un aumento de la viscosidad con la incorporación de

hidrocoloides, sobresaliendo el efecto de GX (Fig. 3-5), debido que éstos ostentan una alta capacidad de retención de agua, otorgando mayor consistencia a suspensiones acuosas. A su vez, el incremento de la viscosidad en la fase sobrenadante, puede corresponder a una mayor presencia de partículas en suspensión, mayor turbidez, indicador de efectos estabilizantes en las bebidas. Los coeficientes y parámetros de regresión, del comportamiento de la viscosidad de la fase sobrenadante se indican en la Tabla 3-7, con una prueba de ajuste no significativa ($p>0,05$). En relación, al diferencial de potencial ζ en la fase sobrenadante, se aprecia un aumento significativo en las bebidas tratadas respecto al control, asociado a la presencia de sustancias de carácter aniónico. En consecuencia, se puede inferir que la estabilidad física que ostentan las bebidas con la adición de hidrocoloides se asocian a procesos estéricos (aumento de viscosidad de la fase continua) y electrostáticos (aumento de fuerzas repulsivas entre partículas).

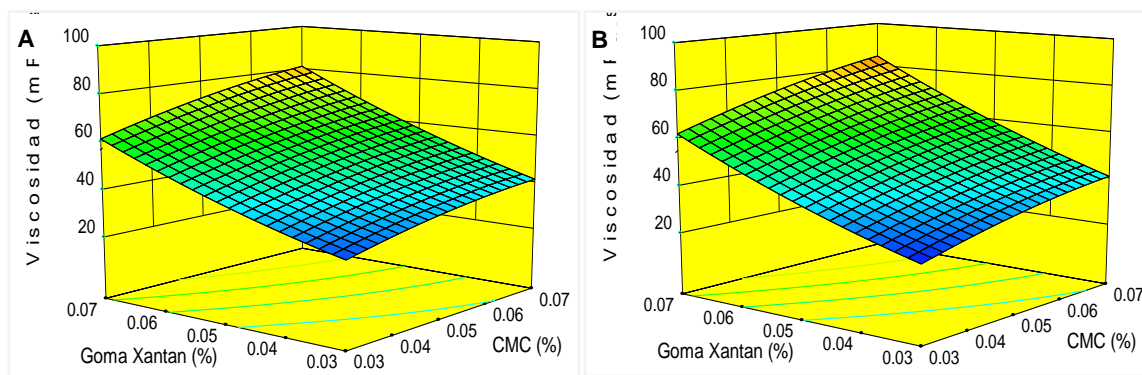


Figura 3-5: Superficies de respuesta para el comportamiento de la viscosidad de la fase sobrenadante en bebidas de tomate de árbol: A) Aloe vera al 0,5%, B) Aloe vera al 1,5 %.

La viscosidad de fase sedimentada no mostró un comportamiento significativo en función de la concentración de hidrocoloides y aloe vera ($p>0,05$). No obstante, la viscosidad fue menor respecto a la estimada en la muestra control, tendencia que puede estar asociada a la reducción de procesos de separación de fases o sedimentación de partículas. A su vez, la fase sedimentada en las bebidas tratadas presenta un mayor diferencial del potencial ζ , posiblemente debido a la presencia de hidrocoloides aniónicos.

Determinación del color: En la Tabla 3-9 se muestra el comportamiento de los parámetros de color en las coordenadas CIELab, así como el diferencial de color (ΔE), de bebidas de tomate de árbol. No se encontró un efecto significativo de los hidrocoloides y aloe vera ($p>0,05$), en la variación de los parámetros L^* , a^* y b^* . No obstante, los valores de luminosidad (L) en bebidas tratadas, fue superior a la estimada en la bebida control. Un comportamiento similar fue reportado en jugos enriquecidos de naranja estabilizados con quitosano (Martin *et al.*, 2009). La disminución de la luminosidad durante el tiempo de almacenamiento en jugos se atribuye a la decantación de partículas, durante el tiempo de almacenamiento (Genovese *et al.*, 1997). Sin embargo, los valores de la luminosidad (L^*) en bebidas de tomate de árbol tratadas, no mostraron esta tendencia. Estos resultados podrían explicarse por el aumento en la claridad de la suspensión, efecto asociado al uso de hidrocoloides (Chatterjee *et al.*, 2004). El incremento de los valores de L^* , puede ser debido al color natural de los biopolímeros, que produce un efecto de claridad en las

bebidas, especialmente a altas concentraciones (Martin *et al.*, 2009; Rungsardthong *et al.*, 2006; Halim *et al.*, 2014).

Tabla 3-9: Parámetros de color y evaluación sensorial en bebidas de tomate de árbol

Parámetro	Tipo de bebida	
	Control	Tratadas**
L*	36,58 ± 1,06	39,74 ± 1,54
a*	4,79 ± 0,81	3,85 ± 0,92
b*	11,64 ± 1,20	11,03 ± 1,64
Color	12,82 ± 1,33	11,49 ± 1,08
Sabor	13,54 ± 1,78	9,54 ± 1,21
Aroma	12,65 ± 2,33	11,53 ± 1,40
Apariencia	9,34 ± 1,54	12,49 ± 1,35

Media aritmética ± error estándar. ** Valores promedios de los 18 ensayos realizados.

Los valores positivos de a* oscilaron entre 3,02 y 4,76, indicando una posición visual referente hacia el color rojo; mientras los valores positivos de b* variaron entre 9,74 y 12,56 indicando una tendencia hacia el amarillo. Se observa una disminución no significativa de los parámetros a* y b* en bebidas tratadas, respecto al control. Qin *et al.*, (2002), argumentan que éstos cambios pueden atribuirse a la degradación o precipitación de pigmentos. A su vez, Halim *et al.*, (2014) reporta una disminución de los parámetros a* y b* en helados de yuca fermentada formulados con hidrocoloides (GX o CMC). Este mismo comportamiento fue reportado por Keshkaran *et al.*, (2013) en bebidas lácteas estabilizadas con goma tragacanto.

El diferencial de color (ΔE) en las bebidas tratadas respecto al control varió entre 1,61 a 4,96. Según Cserhalmi *et al.*, (2006) este cambio de color en las bebidas puede considerarse de ligeramente visible a muy visible. Sin embargo, a nivel estadístico no se encontró un efecto significativo de los hidrocoloides y aloe vera ($p > 0,05$) en la variación de ΔE . Nwaokoro y Akanbi (2015) explican que la retención en la pérdida de color en jugos de frutas posiblemente se deba a la capacidad de los biopolímeros aniónicos para coagular partículas en suspensión, y controlar fenómenos de precipitación y degradación oxidativa de pigmentos. Igualmente, Lins *et al.*, (2014) citan que la adición de pectina y gelatina coadyuvo en el control de pérdida de color en frutas reestructuradas. Martin *et al.*, (2009) expone que la retención en los cambios de parámetros de color, está estrechamente relacionados con los tratamientos de quitosano en jugos de naranja.

Evaluación sensorial: Los atributos sensoriales no mostraron diferencias significativas en función de la adición de gomas y gel de aloe vera ($p > 0,05$). Resultados similares fueron encontrados en jugos de mora estabilizados con GX y CMC (Akkarachaneeyakorn y Tinrat, 2015). Por su parte, Hamid *et al.*, (2014) reportan que no encontraron diferencias significativas entre los néctares mixtos de zanahoria-naranja formulados con gel de aloe, respecto al control en atributos como apariencia, color y sabor.

En la Tabla 3-9, se resume la evaluación sensorial para los dos tipos de bebidas formuladas. No se estimó una diferencia significativa en el parámetro de color entre las bebidas, resultado acorde a la evaluación instrumentan de color, realizada a través del método CIELab. Halim *et al.*, (2014) concluyeron que la adición de GX, guar y CMC no afecta el atributo de color en helados de yuca. Asimismo, no se reporta una disminución significativa en relación a la pérdida de compuestos volátiles por la adición de gomas o

componentes fisiológicamente activos. Resultado similar es reportado en una bebida láctea estabilizada con goma tragacanto (Keshtkaran *et al.*, 2013). Por otro lado, se observa una disminución significativa en el sabor de las bebidas asociado a la incorporación de gomas y aloe vera. Esta disminución probablemente se deba a la incorporación de gel de aloe que ostenta una concentración baja en SST, y puede mermar el dulzor en las bebidas. Elbandy *et al.*, (2014) en néctares de mango con aloe obtuvieron un comportamiento similar. A su vez, la incorporación de gomas puede reducir el dulzor de bebidas. Ibrahim *et al.*, (2011) argumentan que la adición de GX, pectina y CMC redujeron el sabor de jugos de manzana, asociado a una pérdida de dulzor.

La apariencia de las bebidas fue evaluada en función de cualidades como homogeneidad de la bebida (poca sedimentación) y buena textura. El incremento en la evaluación de la apariencia en las bebidas tratados, se puede asociar a la incorporación de gomas. Es de anotar, que las gomas tienen la capacidad de aumentar la viscosidad de suspensiones acuosas mejorando la textura, y controlar mecanismos de inestabilidad como la sedimentación de partículas; factores que contribuyen a una mejor valoración de la apariencia respecto a la bebida control. Resultados similares han sido expuestos por en jugos mixtos de tomate-zanahoria, manzana y frambuesa (Ibrahim *et al.*, 2011; Nwaokoro y Akanbi, 2015; Abedi *et al.*, 2014).

CONCLUSIONES

El presente estudio ha demostrado el efecto significativo de los hidrocoloides (GX, CMC) sobre el grado de estabilidad de las bebidas de tomate de árbol. La incorporación de GX fue significativa ($p < 0,05$) en la disminución de la velocidad de sedimentación y aumento de la repulsión electrostática entre partículas, basados en los valores de potencial ζ ($> 40\text{mV}$) para los tratamientos T11 y T18. Gel de aloe vera intensificó el pH y acidez, pero no influyó significativamente ($p > 0,05$) en el grado de estabilidad de las bebidas. Los diámetros medios de las partículas y parámetros de color, no presentaron una variación significativa en relación a la adición de GX, CMC y aloe vera ($p > 0,05$).

Debido al aumento significativo de la viscosidad de la fase continua, potencial ζ y turbidez bebidas con la adición de GX; se puede inferir que predominaron efectos de estabilidad estérica y electrostática en las bebidas, permitiendo controlar mecanismos de inestabilidad coloidal, y a su vez el grado de separación de fases. Los tratamientos T1, T7, T11, T16 y T18 no presentaron fenómenos de sedimentación en condiciones de almacenamiento. Además, en los tratamientos T1, T11, T16 y T18 se observa un aumento significativo de la turbidez como producto de la repulsión y estabilidad de partículas en suspensión. En consecuencia, se puede resaltar que los tratamientos T11 y T16, se pueden considerar como tratamientos adecuados en la estabilidad física de las bebidas, sin afectar las propiedades fisicoquímicas y atributos sensoriales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Dirección de Investigación de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín (DIME) el apoyo económico del proyecto de investigación radicado con el número 19822, a través de la convocatoria "Programa nacional de proyectos para el fortalecimiento de la investigación, la creación y la innovación en posgrados 2013-2015".

BIBLIOGRAFIA

Abbasi, S., Mohammadi, S. (2013). Stabilization of milk–orange juice mixture using persian gum: Efficiency and mechanism. *Food Bioscience*, 2, 53-60.

Abedi, F., Sani, A. M., Karazhiyan, H. (2012). Effect of some hydrocolloids blend on viscosity and sensory properties of raspberry juice-milk. *Journal of Food Science and Technology*, 51 (9), 2246-2250.

Akkarachaneeyakorn, S., Tinrat, S. (2015). Effects of types and amounts of stabilizers on physical and sensory characteristics of cloudy ready-to-drink mulberry fruit juice. *Food Science & Nutrition*, 3(3), 213-220.

Association of Official Agricultural Chemists (AOAC). Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. 18th Edition. Arlington, Virginia: AOAC, 2005.

Benítez, E. I., Lozano, J. E. (2007). Effect of gelatin on apple juice turbidity. *Latin American applied research*, 37(4), 261-266.

Bengtsson, H., Hall, C., Tornberg, E. (2011). Effect of physicochemical properties on the sensory perception of the texture of homogenized fruit and vegetable fiber suspensions. *Journal of Texture Studies*, 42, 291-299.

Boghani A. H, Raheem A, Hashmi S. I. (2012). Development and storage studies of blended papaya-aloe vera ready to serve (RTS) beverage. *Journal of Food Processing & Technology*, 3(19), 185-189.

Bozzi, A., Perrin, C., Austin, S., Arce, V. F. (2007). Quality and authenticity of commercial aloe vera gel powders. *Food Chemistry*, 103(1), 22-30.

Chaikham, P., Apichartsrangkoon, A. (2012). Comparison of dynamic viscoelastic and physicochemical properties of pressurised and pasteurised longan juices with xanthan addition. *Food Chemistry*, 134(4), 2194-2200.

Chatterjee, S., Chatterjee, S., Chatterjee, B. P., Guha, A. K. (2004). Clarification of fruit juice with chitosan. *Process Biochemistry*, 39, 2229-2232.

Cserhalmi, Z., Sass-Kiss, A., Thos-Markus, M., Lechner, N. (2006). Study of pulsed electric field treated citrus juices. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 7(2), 49-54.

Delmonte, M. L., Rincón, F., Pinto, G. L., Guerrero, R. (2006). Behavior of the gum from *Enterolobium cyclocarpum* in the preparation peach nectar. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería - Universidad del Zulia*, 29(1), 23-28.

Dluzewska, E., Smiechowski, K., Kowalska, M. (2005). Influence of pH on properties the selected hydrocolloids stabilized model beverage emulsions. *Journal of Food Technology*, 3(4), 542-545.

- Elbandy, M. A., Abed, S. M., Gad, S. S., Abdel, F. M. (2014). *Aloe vera* gel as a functional ingredient and natural preservative in mango nectar. *World Journal of Dairy & Food Sciences*, 9 (2): 191-203.
- Fasolin, L., y Cunha, R. L. (2012). Soursop juice stabilized with soy fractions: A rheological approach. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 32(3), 558-567.
- Genovese, D. B., Elustondo, M. P., Lozano, J. E. (1997). Color and cloud stabilization in cloudy apple juice by steam heating during crushing. *Journal of Food Science*, 62, 1171-1175.
- Genovese, D. B., Lozano, J. E. (2001). The effect of hydrocolloids on the stability and viscosity of cloudy apple juices. *Food Hydrocolloids*, 15(1), 1-7.
- Ghafoor, K., Jung, J. R., Choi, Y. H. (2008). Effects of gellan, xanthan, and λ -carrageenan on ellagic acid sedimentation, viscosity, and turbidity of 'Campbell early' grape juice. *Food Science and Biotechnology*, 17(1), 80-84.
- Halim, N. R. A., Shukri, W. H. Z., Lani, M. N., Sarbon, N. M. (2014). Effect of different hydrocolloids on the physicochemical properties, microbiological quality and sensory acceptance of fermented cassava (*Tapai ubi*) ice cream. *International Food Research Journal*, 21(5): 1825-1836.
- Hamid, G. H., El-Kholany, E. A., Nahla, E. A. (2014). Evaluation of *Aloe vera* gel as antioxidant and antimicrobial ingredients in orange-carrot blend nectars. *Middle East Journal of Agriculture Research*, 3(4), 1122-1134.
- Huang, X., Kakuda, Y., Cui, W. (2001). Hydrocolloids in emulsions: Particle size distribution and interfacial activity. *Food Hydrocolloids*, 15(4-6), 533-542.
- Ibrahim, G., Hassan, I., Abd-Elrashid, A., El-Massry, K., Eh-Ghorab, A., Ramadan, M., Osman, F. (2011). Effect of clouding agents on the quality of apple juice during storage. *Food Hydrocolloids*, 25(1), 91-97.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas. NTC 3549. Refrescos de frutas. Bogotá: ICONTEC, 1999.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas. NTC 4105. Frutas frescas. Tomate de árbol, Especificaciones. Refrescos de frutas. Bogotá: ICONTEC, 1997.
- Kubo, M., Augusto, P., Cristianini, M. (2013). Effect of high-pressure homogenization (HPH) on the physical stability of tomato juice. *Food Research International*, 51(1), 170-179.
- Keshtkaran, M., Mohammadifar, M. A., Asadi, G. A., Nejad, R. A., Balaghi, S. (2013). Effect of gum tragacanth on rheological and physical properties of a flavored milk drink made with date syrup. *Journal of Dairy Science*, 96(8), 4794-4803.
- Koyama, M., Kitamura, U. (2014). Development of a new rice beverage by improving the physical stability of rice slurry. *Journal of Food Engineering*, 131, 89-95.
- Leiberman, H. A., Reiger, M. M. and Banker, G. S. *Pharmaceutical Dosage Forms: Disperse Systems*. Second Edition. New York, USA: Marcel Dekker, 1998, 559p.
- Leite, T. S., Augusto, P. E., Cristianini, M. (2014). The use of high-pressure homogenization (HPH) to reduce consistency of concentrated orange juice (COJ). *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 26, 124-133.

Liang, C., Hu, X., Ni, Y., Wu, J., Chen, F., Liao, X. (2006). Effect of hydrocolloids on pulp sediment, white sediment, turbidity and viscosity of reconstituted carrot juice. *Food Hydrocolloids*, 20(8), 1190-1197.

Lins, A. C., Cavalcanti, B. D., Azoubel, P. M., Mélo, E. A., Maciel, S. M. (2014). Effect of hydrocolloids on the physicochemical characteristics of yellow mombin structured fruit. *Food Science and Technology*, 34(3), 456-463.

McClements, D. J. Food emulsions: Principles, practice, and techniques. Second Edition. Boca Raton, USA: CRC Press, 2005, 632 p.

Márquez, C., Otero, C., Cortes, M. (2007). Cambios fisiológicos, texturales, fisicoquímicos y microestructurales del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* S.) en postcosecha. *Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*, 14(2), 9-16.

Márquez, Carlos. (2009). Caracterización fisiológica, físico-química, reológica, nutraceútica, estructural y sensorial de la guanábana (*Annona muricata* L. cv. *Elita*). Tesis doctoral. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias. p. 274 p.

Martín, A., Rico, D., Barat, M., Barry, C. (2009). Orange juices enriched with chitosan: Optimisation for extending the shelf-life. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 10, 590-600.

Mirhosseini, H., Tan, C. P. (2010). Effect of various hydrocolloids on physicochemical characteristics of orange beverage emulsion. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 8(2), 308-313.

Mirhosseini, H., Tan, C. P., Aghlara, A., Hamid, N. S., Yusof, S., Chern, B. H. (2008). Influence of and CMC on physical stability, turbidity loss rate, cloudiness and flavor release of orange beverage emulsion during storage. *Carbohydrate Polymers*, 73, 83-91.

Moraes, I. C. F., Fasolin, L. H., Cunha, R. L., Menegalli, F. C. (2011). Dynamic and steady-shear rheological properties of xanthan and guar gums dispersed in yellow passion fruit pulp (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*). *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 28(3), 483-494.

Nascimento, G. E., Hamm, L. A., Baggio, C. H., Paula, W. M., Iacomini, M., Cordeiro, L. M. (2013). Structure of a galactoarabinoglucuronoxylan from tamarillo (*Solanum betaceum*), a tropical exotic fruit, and its biological activity. *Food Chemistry*, 141, 510-516.

Nwaokoro, O. G., Akanbi, C. T. (2015). Effect of the addition of hydrocolloids to tomato-carrot juice blend. *Journal of Nutritional Health & Food Science*, 3(1): 1-10.

Paquet, E., Alexandra Bédard, A., Lemieux, S., Turgeon, S. L. (2014). Effects of apple juice-based beverages enriched with dietary fibres and xanthan gum on the glycemic response and appetite sensations in healthy men. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 4, 39-47.

Qin L, Xu S, Zhang W. (2005). Effect of enzymatic hydrolysis on the yield of cloudy carrot juice and the effects of hydrocolloids on colour and cloud stability during ambient storage. *Journal of Science of Food and Agriculture*, 85, 505-512.

Rungsardthong, V., Wongvuttanakul, N., Kongpien, N., Chotiwaranon, P. (2006). Application of fungal chitosan for clarification of apple juice. *Process Biochemistry*, 41, 589-593.

Sahin, H., Ozdemir, F. (2007). Effect of some hydrocolloids on the serum separation of different formulated ketchups. *Journal of Food Engineering*, 81, 437-446.

Schramm, L. L. Emulsions, Foams, and Suspensions: Fundamentals and Applications. In: Schramm, L. L. Colloid Stability. Weinheim: Wiley-VCH, 2005, 117-152 p.

Sherafati, M., Kalbasi-ashtari, A., Ali-Mousavi, S. M. (2013). Effects of low and high acyl gellan gums on engineering properties of carrot juice. *Journal of Food Process Engineering*, 36(4), 418-427.

Shubhra, B., Swati, K., Pushpinder, S. R., Savita, S. (2014). Studies on Aloe juice supplemented kinnow nectar. *Research Journal of Agriculture and Forestry Sciences*, 2(8), 14-20.

Silva, V. M., Kawazoe, S. A., Barbosa, G., Dacanal G., Ciro-Velásquez, H. C., Cunha, R. L. (2010). The effect of homogenisation on the stability of pineapple pulp. *International Journal of Food Science and Technology*, 45(10), 2127-2133.

4. Capítulo 4.

EFFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE HIDROCOLOIDES Y ALOE VERA (*Aloe barbadensis*) EN LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DE BEBIDAS DE TOMATE DE ÁRBOL (*Cyphomandra betacea*)

RESUMEN - El efecto de la incorporación de goma xantán (GX), carboximetilcelulosa CMC) y aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) en las características reológicas de bebidas de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) fue evaluado mediante ensayos rotacionales y oscilatorios. Los resultados obtenidos se ajustaron a diversos modelos reológicos, y se utilizó la ecuación de Arrhenius para estudiar la dependencia de los parámetros reológicos con la temperatura. Los resultados mostraron que para el rango de concentraciones y temperaturas estudiadas, las bebidas formuladas muestran un comportamiento pseudoplástico donde el modelo de Ley de Potencia mostró el mejor ajuste con relación a los datos experimentales. Los ensayos oscilatorios revelan la predominancia del módulo elástico ($G' > G''$) en todo el rango de frecuencia. Los parámetros estimados del estudio reológico oscilatorio no mostraron una relación lineal, basados en el principio de Arrhenius. Las concentraciones de $GX \geq 0,025\%$ y $CMC \geq 0,05\%$ se valoran como los mejores tratamientos, asociado al aumento del coeficiente de consistencia (K) y la tendencia de los valores de la tangente de pérdida ($\delta < 1,0$) que se asumen como excelente indicadores de estabilidad en suspensiones.

Palabras claves: Reología, estabilidad, hidrocoloides, viscosidad, pseudoplástico.

ABSTRACT - The effect of the incorporation of xanthan gum (GX), carboxymethylcellulose (CMC) and aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) on the rheological characteristics of tree tomato drinks (*Cyphomandra betacea*) was evaluated by rotational and oscillatory tests. The results were adjusted to different rheological models, and the Arrhenius equation was used to study the dependence of the rheological parameters with temperature. The results showed that for the range of concentrations and temperatures studied drinks made show shear thinning where the power law model showed the best fit with respect to the experimental data. The oscillatory tests reveal the predominance of elastic modulus ($G' > G''$) throughout the frequency range. The estimated parameters of oscillatory rheological study showed no linear relationship based on the principle of Arrhenius. Xanthan gum concentrations $GX \geq 0,025\%$ and $CMC \geq 0,05\%$ are measured as the best treatments, associated with increased consistency coefficient (K) and the trend of the values of the loss tangent ($\delta < 1,0$) which are assumed as excellent suspension stability indicators.

Keywords: Rheology, stability, hydrocolloids, viscosity, pseudoplastic.

INTRODUCCIÓN

El tomate árbol (*Cyphomandra betacea*) es considerada una fruta exótica, de pulpa succulenta y que posee excelentes propiedades nutricionales (Meza y Manzano, 2009). El gel de aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) posee excelentes propiedades funcionales, y se menciona que su incorporación en alimentos fortalece su valor nutritivo (Lad y Murthy, 2013). Sin embargo, tanto la pulpa como el gel de aloe vera poseen una gran cantidad de material polimérico insoluble, que pueden afectar el comportamiento reológico y estabilidad física de suspensiones durante el almacenamiento (Genovese *et al.*, 1997).

La inestabilidad física o separación de fases en bebidas es percibida por el consumidor como un indicativo de calidad deficiente, la cual se puede prevenir mediante la aplicación de hidrocoloides alimentarios (Genovese *et al.*, 2007; Meng y Rao 2005). Los hidrocoloides son polímeros hidrofílicos ampliamente utilizados en sistemas alimentarios debido a su capacidad para modificar propiedades reológicas, proporcionando una modificación de la viscosidad, formando estructuras de gel, o estabilizando partículas en suspensión, entre otras (Norton *et al.*, 2011; Whistler y BeMiller, 1997). Diversas investigaciones han estudiado el efecto de goma xantán (GX), carboximetilcelulosa (CMC), goma guar, goma gellan, quitosano, pectina y almidones modificados sobre la estabilidad, comportamiento reológico y propiedades sensoriales de jugo de frutas (Liang *et al.*, 2006; Meng y Rao 2005; Ibrahim *et al.*, 2011; Paquet *et al.*, 2014).

La caracterización reológica en alimentos es importante para la evaluación de la calidad, análisis de su estructura y aplicaciones en ingeniería de procesos (Dak *et al.*, 2006). El comportamiento de flujo en alimentos se estudia mediante ensayos rotacionales, y se describe a partir de parámetros reológicos estimados de modelos como ley de Newton, Bingham, Ley de potencia, Herschel-Bulkley y Casson. La ley de potencia es el modelo más utilizado para describir la reología de jugos de frutas, especialmente en las operaciones de manipulación, ya que es conveniente, simple y fácil de utilizar (Gratão *et al.*, 2007; Ahmed *et al.*, 2007; Quek *et al.*, 2013). Sin embargo, muchos de los fenómenos reológicos no pueden ser descritos tan sólo en función de la viscosidad, y por lo tanto, se debe evaluar el comportamiento elástico. Las propiedades viscoelásticas en dispersiones se determinan mediante pruebas dinámicas realizando barridos oscilatorios, sin alterar la estructura de la red interna de los materiales usados (Ahmed *et al.*, 2007). Estas propiedades son útiles para evaluar y predecir la estabilidad de suspensiones alimentarias durante etapas de procesamiento, almacenamiento y consumo (Augusto *et al.*, 2013a).

Estudios resaltan aumento de la viscosidad y comportamiento pseudoplástico de jugos de frutas estabilizados con hidrocoloides, con buen ajuste al modelo de ley de potencia (Cabral *et al.*, 2007; Chin *et al.*, 2009). Asimismo, se describe una relación lineal del coeficiente de consistencia y viscosidad con la temperatura a partir de la ecuación de Arrhenius (Dak *et al.*, 2006; Chin *et al.*, 2009). Abbasi *et al.*, (2013) en jugos de naranja anotan la predominancia del módulo elástico (G') y factor de pérdida menor a la unidad ($\tan\delta < 1$) a altas frecuencias, aduciendo estabilidad estérica debido a la incorporación de hidrocoloides. Mezger (2006) señala que suspensiones alimentarias de carácter pseudoplástico en la cual exista una superioridad del módulo elástico sobre el viscoso ($G' > G''$), son termodinámicamente estables, dado que poseen estructura de gel débil. Además, Moraes *et al.*, (2011) argumentan que las gomas mejoran la textura y propiedades viscoelásticas de suspensiones, aumentando la viscosidad de la fase continua y otorgando una estructura tipo gel que favorecen el control de procesos de separación de fases. Por

tal razón, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la adición de hidrocoloides y aloe vera en el comportamiento reológico de bebidas de tomate de árbol, y correlacionar su incorporación en el grado de estabilidad de la suspensión.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron frutos de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) de la variedad anaranjado común. Los frutos fueron seleccionados con un grado de madurez, tipología color 6 (NTC 4105/1997). Los hidrocoloides (GX y CMC) y conservantes de grado alimenticio (benzoato de sodio y sorbato de potasio) utilizados fueron suministrados por la empresa Bell Chem Internacional S.A. Gel de Aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) grado alimenticio con 98% de pureza, fue adquirido en la entidad Ayala Benard S.A.S.

Preparación de la bebida tipo néctar: El material vegetal fue desinfectado en soluciones de hipoclorito de sodio a 100 ppm, durante 10 minutos, y finalmente lavado en agua. La pulpa se extrajo en una máquina despulpadora (D1000, CITALSA, Colombia). Las bebidas fueron formuladas a partir de una base de cálculo de 300 g, con participación de pulpa del 18% según la NTC 3549/1999. Se utilizó sacarosa como edulcorante, y se adicionó agua como disolvente hasta obtener una bebida con una concentración de SST de 10°Brix. La respectiva concentración de hidrocoloides (Anexo B3-1) fue adicionada, previa preparación en una suspensión de agua a 40°C. Además, fue adicionada una mezcla de conservantes al 0,125% p/p en una relación 50/50 (sorbato de potasio/benzoato de sodio). Las bebidas fueron homogenizadas en un dispersor Ultra-Turrax (IKA, T25 Basic, Alemania) durante 60s a 5000 rpm; y sometidas a un proceso leve de pasteurización a 60°C, durante un minuto. El producto final fue envasado en recipientes plásticos tipo PET y almacenado bajo refrigeración, para su posterior caracterización.

Ensayos rotacionales. Las curvas de flujo se determinaron en un viscosímetro (Brookfield, Modelo DV III Ultra, USA) en modo rotacional, empleando la geometría de cilindros concéntricos (SC4-21, 2,5 cm de diámetro) guiados en la metodología propuesta por Chin *et al.*, (2009) con ligeras modificaciones. Se realizaron medidas experimentales a temperaturas de 10, 20, 30, 40 y 50°C. Con el fin de eliminar la posible tixotropía presentada por el producto fueron realizados barridos de tasa de deformación ($\dot{\gamma}$) en el rango de 0 a 200 s⁻¹, primero en forma ascendente, luego en forma descendente y finalmente de manera ascendente. La curva obtenida del último procedimiento fue tomada como referencia, para estudiar el comportamiento reológico de la bebida formulada. El equipo registró directamente el esfuerzo de corte (σ), tasa de deformación ($\dot{\gamma}$) y viscosidad aparente (μ). Los valores experimentales de las curvas de flujo, se ajustaron a modelos reológicos de Newton, Ley de potencia, Herschel-Bulkley y Casson (Tabla 4-1). El ajuste de datos experimentales fue evaluado utilizando herramientas estadísticas de regresión no lineal, coeficiente de correlación (R^2), cuadrado medio del error (CME) y prueba de Fisher.

Tabla 4-1: Modelos reológicos estudiados.

Modelo	Ecuación	Parámetros
Newton	$\sigma = K(\dot{\gamma})$	K
Ley de potencia	$\sigma = K(\dot{\gamma}^n)$	K, n
Herschel-Bulkley	$\sigma = \sigma_0 + K(\dot{\gamma}^n)$	σ_0, K, n
Casson	$\sigma^{0.5} = (\sigma_0)^{0.5} + K(\dot{\gamma}^{0.5})$	σ_0, K

El efecto de la temperatura sobre la viscosidad se estudió analizando el coeficiente de consistencia (K) e índice de flujo (n) a través de la ecuación de Arrhenius (Ec. 4.1, Ec.4.2).

$$K = K_o e^{\left(\frac{E_a}{RT}\right)} \quad (\text{Ec. 4.1})$$

$$n = n_o e^{\left(\frac{E_a}{RT}\right)} \quad (\text{Ec. 4.2})$$

Donde K_o es el factor de frecuencia ($\text{Pa}\cdot\text{s}^n$), n_o es el parámetro de ajuste asociado con el índice de flujo, E_a es la energía de activación, R es la constante de los gases y T es la temperatura en la escala absoluta.

Ensayos oscilatorios. El comportamiento viscoelástico del material, se determinó en un reómetro (Anton Paar, MCR 302, Austria) en modo oscilatorio, utilizando la geometría de platos paralelos, con diámetro de 25mm (P-PTD 200/E, Anton Paar, Austria). Se fijó un espacio de 1,0 mm entre platos. El reómetro se complementó con un sistema Peltier para control de temperatura de la muestra, la cual fue previamente controlada y monitoreada. El perímetro de la muestra expuesta se cubrió con una cámara metálica para minimizar la evaporación a temperaturas altas. Inicialmente, se realizó un barrido de amplitud a una deformación entre 0-100% y frecuencia de 1,0 Hz, para determinar la región de viscoelasticidad lineal. La caracterización viscoelástica del material, fue obtenida variando la frecuencia entre 0,01 a 100 Hz (Augusto *et al.*, 2013b), donde todas las mediciones reológicas se llevaron a cabo por duplicado. El módulo de almacenamiento (G') una medida de la propiedad elástica, módulo de pérdida (G'') una medida de la propiedad viscosa, y la tangente de pérdida ($\tan \delta$) se obtuvieron directamente del software Rheocompass (Versión 1.12, Anton Paar, Austria). El comportamiento de las variables mencionadas anteriormente se estudió en función de la temperatura a 10, 20, 30, 40 y 50°C.

Diseño experimental. Para la experimentación fue establecido un diseño rotacional central compuesto con ocho unidades debido a la combinación de factores, cuatro réplicas en el punto central y seis puntos axiales, para un total de 18 unidades experimentales (Anexo B3-1). Los factores y niveles establecidos en el estudio se definen en la Tabla 4-2. Los resultados fueron analizados estadísticamente mediante generación de superficies de respuesta, análisis de varianza, prueba de falta de ajuste y determinación de coeficientes de regresión utilizando el software Statgraphics Centurion XVI, versión 16.1.18.

Tabla 4-2: Factores analizados y codificación de los niveles establecidos.

Factor	Símbolo	Bajo	Medio	Alto
Codificación		-1	0	+1
Aloe vera (% p/p)	X_1	0,5	1,0	1,5
GX (% p/p)	X_2	0,025	0,05	0,075
CMC (% p/p)	X_3	0,025	0,05	0,075

Los datos experimentales se ajustaron al siguiente modelo de segundo orden (Ec. 4.3):

$$Y = \beta_o + \sum_{i=1}^3 \beta_i X_i + \sum_{i=1}^3 \beta_{ii} X_i^2 + \sum \sum_{i<j=1}^3 \beta_{ij} X_i X_j \quad (\text{Ec. 4.3})$$

Donde β_o , β_i , β_{ii} , β_{ij} son los coeficientes de regresión para el intercepto, términos de interacción lineales y cuadráticos, respectivamente y X es la variable independiente.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Reología rotacional: Los datos experimentales de las medidas rotacionales de bebidas de tomate de árbol fueron ajustados a varios modelos reológicos como Newton, Ley de potencia, Herschel-Bulkley y Casson. Los modelos resultaron ser significativos estadísticamente ($p < 0,05$) con un coeficiente de regresión mayor a 0,9 (Tabla 4-3). En el modelo de Herschel- Bulkley que relaciona tres parámetros, fueron estimados valores negativos en el umbral de fluencia que no tienen sentido desde un punto de vista físico. Sin embargo, la ley de potencia es el modelo que más se ajusta a los datos experimentales con $R^2 \approx 1$, y valores de cuadrados medios del error (CME) bajos. Diversos estudios han explicado el comportamiento de flujo en jugos de frutas mediante el modelo de ley de potencia (Cabral *et al.*, 2007; Chin *et al.*, 2009; Sogi *et al.*, 2010; Goula and Adamopoulos, 2011; Quek *et al.*, 2013).

Tabla 4-3: Parámetros de modelos reológicos estimados en bebidas de tomate de árbol, bajo condiciones de temperatura a 30°C.

Modelo	Parámetros	Control	Punto Mínimo	Punto Medio	Punto Máximo
Newton	K	0,006	0,010	0,013	0,018
	R^2	0,924	0,916	0,900	0,849
	CME	0,012	0,045	0,076	0,228
Ley de potencia	K	0,032	0,065	0,089	0,177
	n	0,677	0,647	0,624	0,564
	R^2	0,997	0,999	0,999	0,999
	CME	0,004	0,001	0,008	0,011
Herschel-Bulkley	K	0,028	0,063	0,086	0,179
	σ_0	0,023	0,015	0,019	-0,005
	n	0,699	0,654	0,631	0,563
	R^2	0,998	0,999	0,999	0,999
	CME	0,004	0,001	0,008	0,013
Casson	K	0,065	0,087	0,096	0,098
	σ_0	0,027	0,048	0,058	0,084
	R^2	0,979	0,975	0,964	0,954
	CME	0,002	0,005	0,009	0,012

En las curvas de flujo se observa una disminución en el esfuerzo de corte a medida que aumenta la tasa de deformación, expresado en una disminución de la viscosidad aparente de las diferentes bebidas formuladas de tomate de árbol (Fig. 4-1). Este comportamiento es debido a un adelgazamiento por corte no newtoniano, característico de un fluido pseudoplástico. Abbasi y Mohammadi (2013) reportaron un comportamiento pseudoplástico, en jugos de naranja evaluando diferentes concentraciones de hidrocoloides. Banerjee y Ghosh (2015) también reportan que el jugo de tamarindo estabilizado con GX y CMC, a diversas temperaturas se comportó como un fluido pseudoplástico.

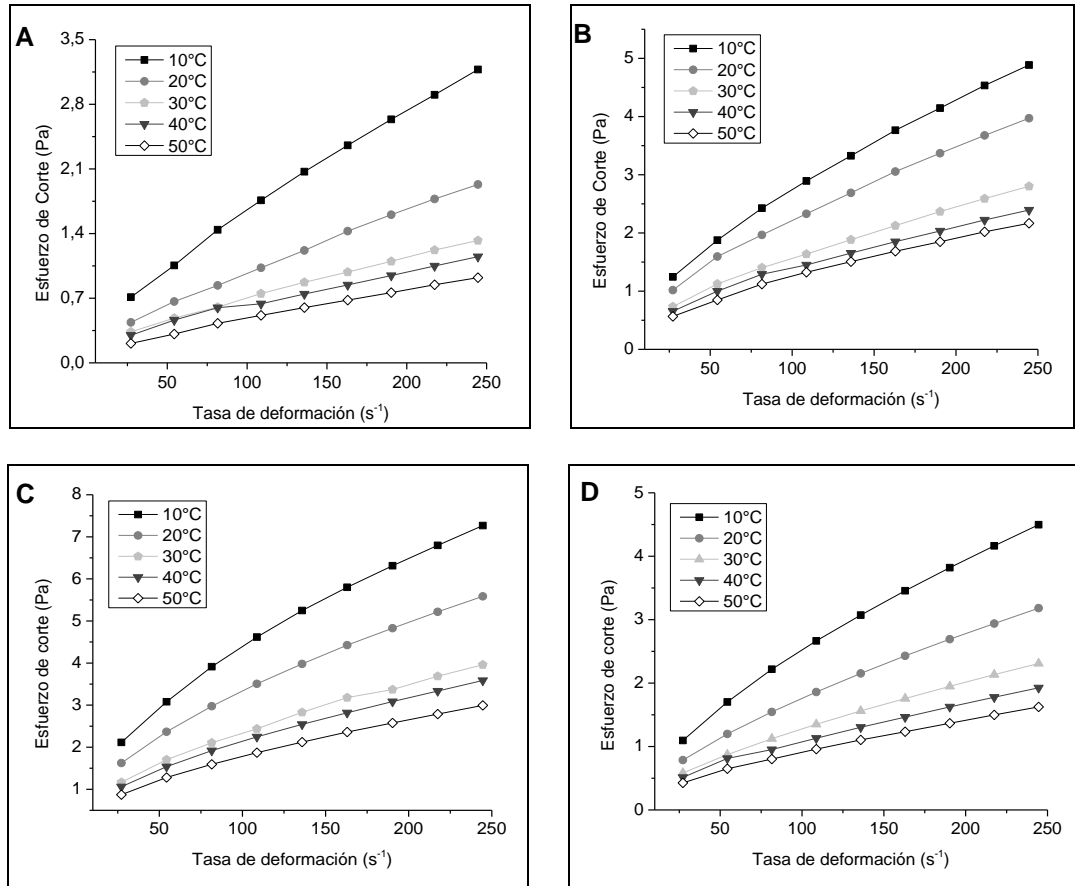


Figura 4-1: Comportamiento reológico de la bebida de tomate de árbol a diversas temperaturas: (A) Control, (B) Punto mínimo, (C) Punto medio y (D) Punto máximo.

La Tabla 4-4 muestra los valores del coeficiente de consistencia (K) ajustado al modelo de potencia. Se observa un aumento significativo en los valores del coeficiente de consistencia de las bebidas formuladas con hidrocoloides respecto al control. Es decir, se produjo un aumento en la viscosidad aparente de las bebidas. Algunos autores han citado que la adición de GX y CMC, aumentan la viscosidad de la fase continua en jugos de zanahoria y manzana respecto al control, mejorando la estabilidad de partículas en la dispersión (Liang *et al.*, 2006; Ibrahim *et al.*, 2011). El coeficiente K , en el modelo de ley de potencia osciló entre 0,019 y 0,326 Pa.sⁿ. Resultados similares han sido reportados en jugos de cerezas, toronja y guanaba (Cabral *et al.*, 2007; Chin *et al.*, 2009; Fasolin y Cunha, 2012). Adicionalmente, existe un marcado efecto en el índice de consistencia respecto a la temperatura, mostrando una disminución de la viscosidad a temperaturas más elevadas. Esto probablemente se debe a que las fuerzas de cohesión y la transferencia de cantidad de movimiento en suspensiones se reducen con el aumento de temperatura, disminuyendo la resistencia al flujo (Earle, 1985). Xu *et al.*, (2013) señala que las soluciones de GX disminuyen la viscosidad aparente con el aumento de la temperatura. Comportamientos similares han sido descritos en jugos de zanahoria, sandía, tamarindo y toronja (Vandresen *et al.*, 2009; Sogi *et al.*, 2010; Ahmed *et al.*, 2007; Chin *et al.*, 2009).

Tabla 4-4: Coeficiente de consistencia K (Pa.sⁿ) estimado a partir del modelo de ley de potencia en función de la temperatura y ajustado al modelo de Arrhenius.

Tratamiento	Temperatura (°C)					Parámetros Arrhenius		
	10	20	30	40	50	K_0 (Pa.s ⁿ)	E_a (kJ/mol)	R^2
1	0,138	0,097	0,084	0,092	0,071	1,29E-03	10,824	0,942
2	0,073	0,051	0,044	0,053	0,035	2,83E-04	12,871	0,929
3	0,111	0,092	0,072	0,086	0,065	2,46E-03	8,914	0,903
4	0,326	0,233	0,179	0,146	0,115	8,37E-05	10,384	0,996
5	0,084	0,063	0,044	0,046	0,039	1,78E-04	10,318	0,932
6	0,149	0,127	0,090	0,095	0,075	6,15E-04	14,556	0,949
7	0,163	0,148	0,183	0,109	0,078	6,15E-02	16,267	0,933
8	0,146	0,124	0,088	0,093	0,074	6,93E-03	12,544	0,917
9	0,093	0,069	0,073	0,048	0,040	1,31E-04	16,465	0,906
10	0,100	0,082	0,069	0,067	0,046	3,46E-04	15,365	0,927
11	0,271	0,232	0,183	0,185	0,162	9,49E-02	11,582	0,930
12	0,178	0,136	0,099	0,108	0,087	7,54E-04	12,690	0,956
13	0,150	0,129	0,092	0,098	0,077	7,89E-04	14,321	0,911
14	0,106	0,115	0,090	0,095	0,074	2,94E-02	14,600	0,918
15	0,175	0,122	0,084	0,068	0,052	1,64E-05	9,933	0,994
16	0,326	0,244	0,177	0,164	0,131	2,36E-02	16,923	0,975
17	0,131	0,090	0,065	0,065	0,053	1,18E-04	16,278	0,926
18	0,226	0,177	0,147	0,119	0,106	4,51E-04	14,585	0,994
Control	0,063	0,035	0,032	0,037	0,019	1,02E-06	20,330	0,949

Los valores del índice de comportamiento de flujo, están por debajo de la unidad ($n < 1$), indicando el comportamiento pseudoplástico de las bebidas (Tabla 4-5). Adicionalmente, se observa una disminución en los valores del índice, n , en los néctares formulados con hidrocoloides, respecto al control. La reducción de la pseudoplasticidad en las bebidas, es posible debido a la incorporación de hidrocoloides en la suspensión. Xu *et al.*, (2013) menciona que los hidrocoloides en general presentan un comportamiento no-newtoniano de tipo pseudoplástico, dado por una disminución de la viscosidad aparente a altas tasas de cizalla. El índice n , para el modelo de ley de potencia osciló entre 0,522 y 0,728. Cabral *et al.*, (2007) y Quek *et al.*, (2013) reportan valores similares en jugos de cereza y guanábana, respectivamente, formulados a una concentración de sólidos en 20°Brix. No obstante, se corrobora que el índice (n) no presenta un comportamiento lineal con la temperatura, donde disminuye gradualmente hasta los 40°C, y luego presenta un leve aumento a 50°C. Resultados similares, se reportan en jarabes concentrados de frutas Yoğurtçu y Kanişlı (2006). A su vez, Dark *et al.*, (2006) en jugos de mango indican que parámetros reológicos como el índice de flujo no ajustan linealmente al modelo de Arrhenius en un rango de temperatura entre 20 y 70°C.

Se utilizó la relación de Arrhenius para describir el efecto de la temperatura sobre los parámetros reológicos estimados en el modelo de ley de potencia, obteniéndose modelos significativos para el coeficiente de consistencia (K_0). La Tabla 4-4 detalla los resultados del factor de frecuencia K_0 y energía de activación (E_a) determinados a partir de la ecuación de Arrhenius. Se estimó que la concentración de GX ejerció un efecto significativo ($p < 0,05$) en el factor de frecuencia, K_0 . El factor K_0 , osciló entre 1,02E-06 y 9,49E-02 valores cercanos a los reportados por Quek *et al.*, (2013) en jugos concentrados de guanábana en

un rango de temperatura de 10 a 50°C. Goula y Adamopoulos (2011) estimaron valores similares del factor de frecuencia en jugos de kiwi con una concentración de sólidos de 15 y 30°Brix, para un rango de temperatura de 25 a 65°C. El modelo matemático que describe el comportamiento del factor K_0 , presentó un coeficiente de regresión del 0,79 (Tabla 4-6), y la prueba de ajuste muestra que el modelo seleccionado es adecuado para describir su comportamiento ($p > 0,05$).

Tabla 4-5: Índice de comportamiento de flujo (n) estimado del modelo de ley de potencia, en función de la temperatura y ajuste al modelo de Arrhenius.

Tratamiento	Temperatura (°C)					Parámetros Arrhenius		
	10	20	30	40	50	n_0	E_a (kJ/mol)	R^2
1	0,639	0,659	0,632	0,584	0,615	0,242	2,442	0,472
2	0,703	0,724	0,690	0,625	0,675	0,160	0,627	0,428
3	0,645	0,638	0,629	0,576	0,610	0,422	0,006	0,569
4	0,566	0,561	0,561	0,568	0,573	0,416	0,213	0,448
5	0,710	0,687	0,697	0,642	0,637	0,282	2,180	0,817
6	0,634	0,625	0,624	0,584	0,612	0,486	0,651	0,479
7	0,615	0,575	0,501	0,550	0,577	0,444	0,675	0,249
8	0,634	0,626	0,623	0,586	0,609	0,380	0,652	0,561
9	0,687	0,658	0,595	0,626	0,628	0,307	2,874	0,474
10	0,664	0,625	0,614	0,601	0,631	0,300	1,829	0,388
11	0,549	0,548	0,546	0,522	0,535	0,441	0,524	0,558
12	0,618	0,623	0,622	0,578	0,602	0,428	0,936	0,399
13	0,637	0,625	0,622	0,583	0,611	0,474	0,688	0,530
14	0,605	0,626	0,621	0,583	0,613	0,489	0,609	0,476
15	0,653	0,660	0,664	0,664	0,677	0,287	0,619	0,875
16	0,565	0,569	0,564	0,560	0,567	0,488	0,366	0,562
17	0,643	0,648	0,647	0,613	0,620	0,401	1,160	0,594
18	0,581	0,572	0,555	0,563	0,550	0,387	0,952	0,812
Control	0,713	0,728	0,677	0,722	0,704	0,143	3,922	0,393

En la Fig. 4-2, se observa un aumento en el factor K_0 a medida que se incrementa la concentración de goma xantán. García *et al.*, (2000) citan que la GX es un estabilizante de alto peso molecular, que genera un aumento significativo de la viscosidad aparente y disminución de la tasa de fluidez en suspensiones de partículas, comparado con el efecto de otras gomas. Además, no se encontró efecto significativo debido a la incorporación de aloe vera y CMC. Sin embargo, a medida que se incrementa la concentración de CMC el factor K_0 disminuyó (Anexo B4-1), posiblemente debido al efecto de la temperatura en la estabilidad del hidrocoloide. Coffey *et al.*, (2006) argumentan que soluciones viscosas de CMC se ven afectadas por la temperatura, disminuyendo gradualmente con el aumento del efecto térmico.

Tabla 4-6: Análisis de coeficientes de regresión para coeficiente de consistencia K , factor de consistencia (K_o) e índice de flujo n .

Coeficientes	K (Pa.s ⁿ), [10°C]	K_o (Pa.s ⁿ)	n , [10°C]
β_0	0,26	-0,01	0,64
β_1	-0,15	0,02	0,06
β_2	-3,82	-1,69	0,24
β_3	-1,81	1,36	-0,05
β_{11}	0,66	0,84	NS
β_{12}	0,10	-0,37	-0,22
β_{13}	45,6	NS	NS
β_{22}	0,05	-0,02	NS
β_{23}	34,92	19,39	-4,09
β_{33}	NS	NS	10,33
R^2	0,82	0,79	0,91
Modelo (p-valor)	0,03	0,05	0,01
Falta ajuste (p-valor)	0,06	0,31	0,26

*NS: Coeficientes no significativos

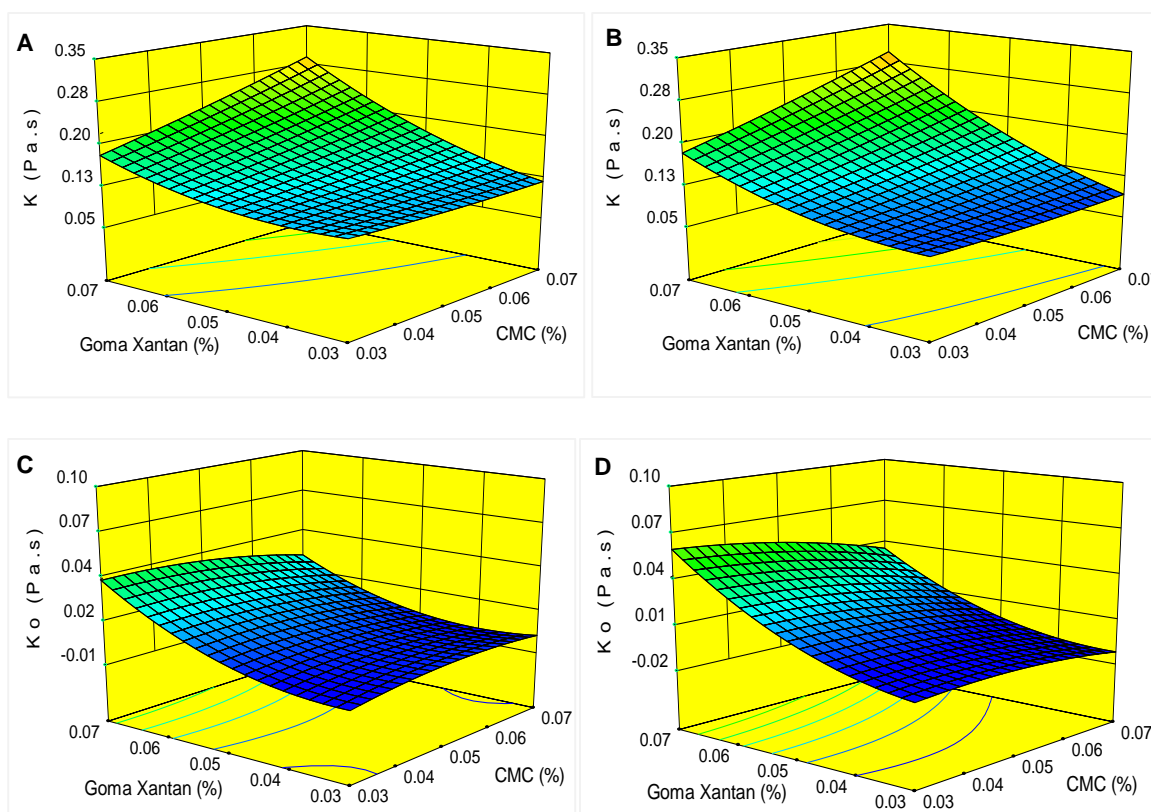


Figura 4-2: Superficies de respuesta para coeficiente de consistencia (K) y factor de frecuencia (K_o): A) K a 10°C y aloe al 0,5%, B) A) K a 10°C y aloe al 1,5%; C) K_o para aloe al 0,5%, D) K_o para aloe al 1,5%.

Dada la trascendencia de evaluar la estabilidad de las bebidas en condiciones de almacenamiento, se analizaron los parámetros reológicos K y n , a temperatura de 10°C . Se estimó que la concentración de GX ejerce un efecto significativo ($p < 0,05$) en los parámetros reológicos, observándose mayor consistencia de la bebida y tendencia a un fluido pseudoplástico, a medida que se incrementa la concentración del hidrocoloide (Fig. 4-2, Fig. 4-3). Whistler y BeMiller, (1997) exponen que soluciones de GX forman estructuras rígidas debido a la formación de agregados de alto peso molecular, confiriendo a las suspensiones mayor viscosidad y notable pseudoplasticidad. Resultados similares han sido reportados en pulpa de maracuyá estabilizada con GX (Moraes *et al.*, 2011). Además, se resalta el aumento de la viscosidad aparente y mayor estabilidad de las suspensiones a medida que se aumenta la concentración de GX en jugo de manzana (Genovese y Lozano, 2001) y jugo reconstituido de zanahoria (Liang *et al.*, 2006). La ley de Stokes ilustra que la sedimentación de las partículas en suspensiones es inversamente proporcional a su viscosidad, lo que significa que una mayor viscosidad de la fase continua puede mejorar de forma significativa la estabilidad física en jugos de frutas (Genovese y Lozano, 2001). Los modelos matemáticos estimados para K y n a 10°C , presentaron coeficientes de determinación de 0,82 y 0,91, respectivamente (Tabla 4-6). Asimismo, la prueba de ajuste nos permite inferir que los coeficientes estimados describen satisfactoriamente el comportamiento de las variables analizadas ($p > 0,05$).

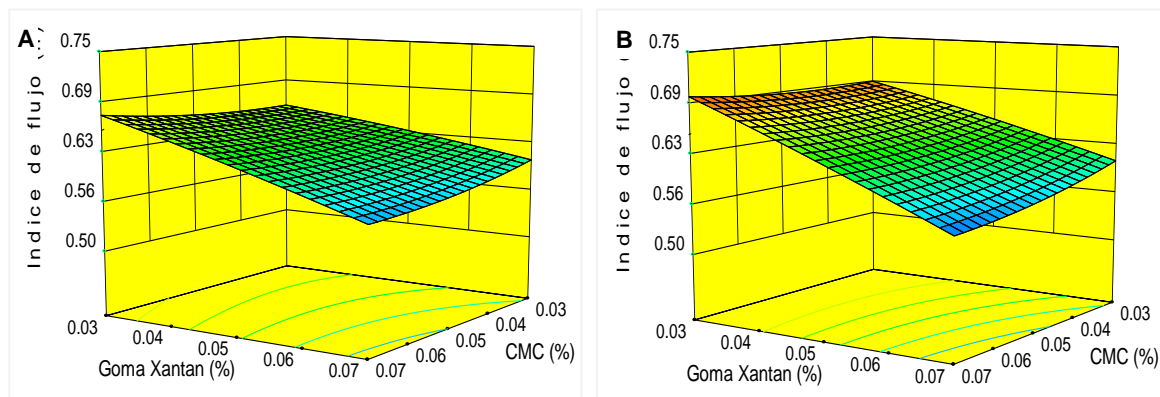


Figura 4-3: A) Superficies de respuesta para índice de flujo (n) a 10°C : A) Aloe al 0,5%, B) Aloe al 1,5%.

Por otro lado, se encontró que las concentraciones de goma y aloe vera, no ejercen efecto significativo ($p > 0,05$) sobre el parámetro de energía de activación. La energía de activación (E_a) es la energía umbral que debe ser superada para que el proceso de flujo elemental pueda ocurrir (Shamsudin *et al.*, 2013). El valor de la E_a estimado a partir de los coeficientes de consistencia característicos de las diversas bebidas formuladas, osciló entre 8,914 y 20,330 kJ/mol (Tabla 4-4). Estos resultados están por debajo de los estimados en jugos concentrados de toronja (Quek *et al.*, 2013) y guanábana (Chin *et al.*, 2009) con un contenido en sólidos del 20°Brix . Estas diferencias pueden estar marcadas por los rangos de temperaturas establecidos en cada estudio. Además, Haminuik *et al.*, (2006) afirman que los cambios más significativos de la viscosidad se alcanzan a altas temperaturas, y están asociados a valores altos en la E_a . No obstante, se detecta una disminución del valor de la E_a en las bebidas formuladas con hidrocoloides, respecto al control. Esta disminución posiblemente se deba a la incorporación de hidrocoloides como GX y CMC, sustancias que en suspensión adquieren un comportamiento pseudoplástico, caracterizada por una disminución de la viscosidad aparente a altas tasas de deformación. Según Krokida *et al.*,

(2001), el valor de la energía de activación tiende a aumentar en aquellas suspensiones donde el comportamiento de flujo se acerca al newtoniano, como el simulado por la bebida control, que ostentó un índice de comportamiento de flujo más cercano a la unidad.

Reología Oscilatoria - El módulo elástico o de almacenamiento (G') y el módulo viscoso o de pérdida (G''), en función de la frecuencia para bebidas de tomate de árbol se representan en la Fig. 4-4. El módulo elástico (G') siempre predominó sobre el módulo viscoso (G''), para todas las formulaciones. Esto indica que las propiedades elásticas fueron dominantes frente a las viscosas, por lo tanto, las bebidas pueden definirse como geles débiles. Este comportamiento se presenta en la mayoría de suspensiones con estructura en forma de red, característico de productos derivados de vegetales y frutas (Augusto *et al.*, 2013b). Estos mismos autores reportan la predominancia del componente elástico en jugos de tomate homogeneizados a altas presiones. Moraes *et al.*, (2011) reportan un comportamiento tipo gel ($G' > G''$) en jugos de maracuyá estabilizados con GX. Por su parte, Benchabane y Bekkour (2008) resaltan el efecto dominante del módulo elástico comparado con el módulo viscoso en suspensiones poco concentradas de CMC (<2,0%). Tiziani y Vodovotz (2005) reportan resultados similares en jugos de tomate a los cuales se les adicionó proteína de soja. Los autores consideran que el producto formulado se comporta físicamente como un gel débil ($G' > G''$), debido a la estructura reticulada formada por la pectina altamente esterificada en presencia de iones calcio. Moelants *et al.*, (2013) cita que suspensiones derivadas de zanahoria se comportan elásticamente evaluadas en un rango de frecuencia angular de 0 a 10 rad/s.

Los resultados de los barridos de frecuencia se analizaron mediante un modelo de ley de potencia (Ec. 4.4 y 4.5) donde K' , K'' , n' , n'' son constantes y ω es la frecuencia angular. Los valores estimados de los parámetros se resumen en la Tabla 4-7.

$$G' = K'(\omega)^{n'} \quad (\text{Ec. 4.4})$$

$$G'' = K''(\omega)^{n''} \quad (\text{Ec. 4.5})$$

Los valores de K' y K'' oscilaron entre 0,006–0,086 Pa.s ^{n'} y 0,009–0,063 Pa.s ^{n''} , respectivamente. Estos valores son inferiores a los reportados por Augusto *et al.*, (2013b) en jugo de tomate, posiblemente a las condiciones disímiles de trabajo (rango de frecuencia angular). Los valores de n' y n'' oscilaron en el rango de 1,546 hasta 2,124 y de 1,351–1,942, respectivamente. Estos valores coinciden con los reportados en jugos de tomate tratados a altas presiones (HPH). Dado que las magnitudes de G' fueron ligeramente más altos que los de G'' , y los valores de n' y n'' fueron bajos pero diferentes de cero, el comportamiento reológico de todos los néctares, se describen como geles débiles. Resultados similares fueron reportados por Moelants *et al.*, (2013) en suspensiones de zanahoria. Sharoba *et al.*, (2006) estimaron bajo la ley de potencia valores de pendientes positivas en jugos y pastas de tomate, a partir del cual declararon el sistema físico de dichos productos como geles débiles. Asimismo, Chen *et al.*, (1996) indican que suspensiones de globulinas estabilizadas con almidones de maíz y proteína de soja se comportan como geles, a partir de la estimación de los parámetros viscoelásticos ajustados al modelo de ley de potencia.

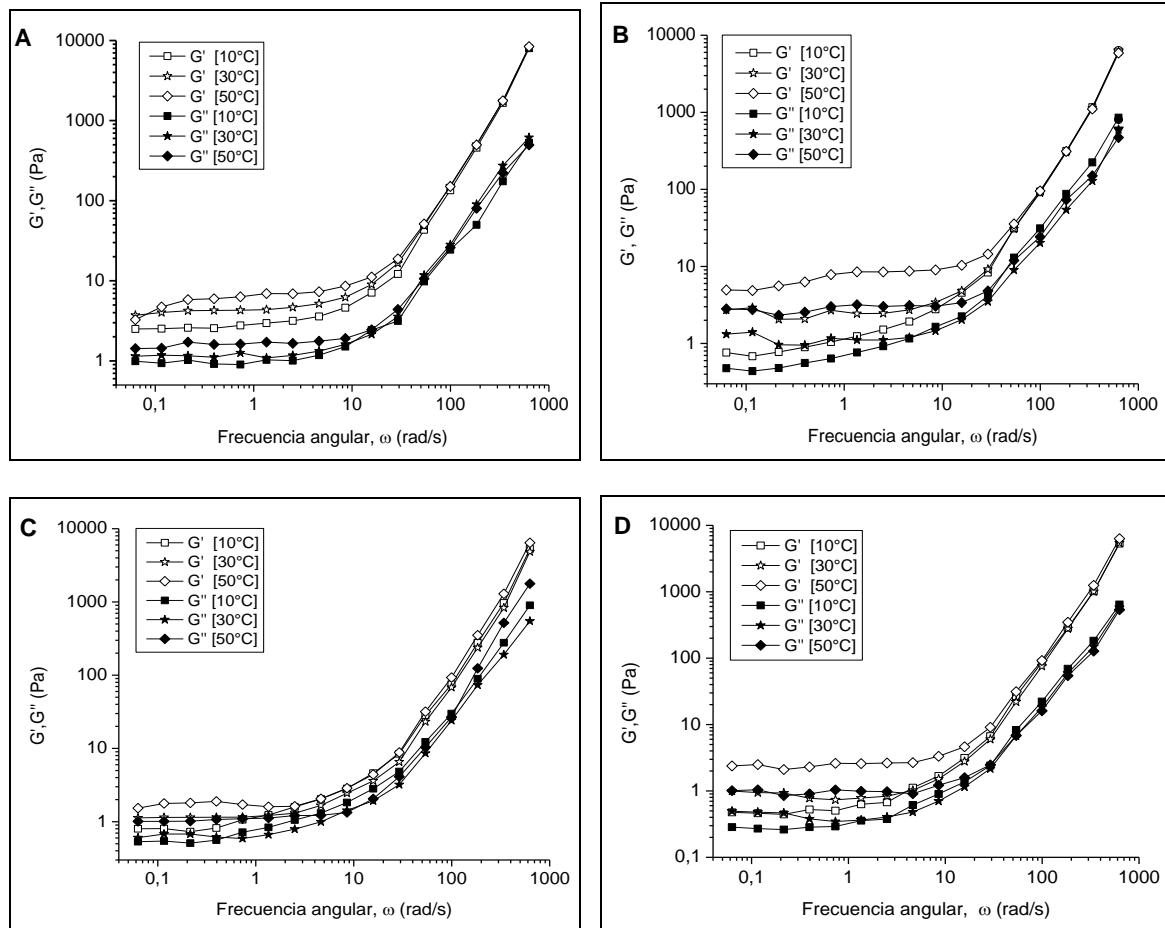


Figura 4-4: Comportamiento viscoelástico de bebidas de tomate de árbol a temperatura de 10, 30 y 50°C: (A) Control, (B) Punto mínimo, (C) Punto central, y (D) Punto máximo.

Comparando los valores de los exponentes estimados a partir de la ley de potencia, se obtiene que $n' > n''$, infiriendo que el componente elástico es más dependiente de la frecuencia que el componente viscoso (Falguera & Ibarz, 2014). Este comportamiento se observa claramente cuando las bebidas se someten a altas frecuencias ($>10\text{rad/s}$). El efecto de la frecuencia y el dominio del carácter elástico sobre el viscoso ha demostrado ser típico en la reología de suspensiones de jugos de frutas y otros productos derivados de vegetales (Ahmed *et al.*, 2007; Semero *et al.*, 2009; Augusto *et al.*, 2013b; Falguera & Ibarz, 2014). A medida que se aumenta la frecuencia oscilatoria el período de la deformación aplicada disminuye, y el tiempo para el reordenamiento estructural de la muestra es demasiado corto. Por tal razón, las deformaciones elásticas en la estructura, se vuelven más significativas que las propiedades viscosas (Ahmed *et al.*, 2007).

En la Fig. 4-4 se muestra la tendencia de los módulos viscoelásticos en función de la temperatura, en bebidas de tomate de árbol. Se percibe que los módulos G' y G'' disminuyen ligeramente con el aumento de temperatura. La disminución de los módulos viscoelásticos con el aumento de la temperatura ha mostrado ser predominante en varios productos derivados de frutas. Sharoba *et al.*, (2006) reportan una disminución de G' y G'' en jugos de tomate a medida que se aumenta la temperatura en el rango de 0 a 50 °C. Tiziani y Vodovotz, (2005) destacan una disminución de los módulos en jugos de tomate

con proteína de soja durante el calentamiento hasta 65°C. Este mismo comportamiento fue reportado en pulpa de maracuyá estabilizada con goma guar y goma xantán, a bajas frecuencias angulares (<10 rad/s).

Sin embargo, se presenta un comportamiento disímil de los valores de los módulos cuando se comparan a altas y bajas frecuencias. Para frecuencias altas ($\omega > 10$ rad/s) no se observan diferencias marcadas en los valores de G' o G'' con el cambio de temperatura; pero a bajas frecuencias ($\omega < 10$ rad/s) se advierte que los valores de G' o G'' tienden a ser ligeramente diferentes con el incremento de la temperatura. Este comportamiento probablemente se deba a la forma de almacenamiento o pérdida de energía, que sucede en los diferentes rangos de frecuencia. Chaikham y Apichartsrangkoon (2012), argumentan que el almacenamiento de energía a altas frecuencias es reversible, y está marcado por el estiramiento elástico de las cadenas moleculares. Sin embargo, a bajas frecuencias el modo de almacenamiento y pérdida de energía es dependiente del movimiento de traslación de las moléculas, considerada una medida de la temperatura.

Tabla 4-7: Parámetros viscoelásticos estimados según el modelo de ley de potencia, en bebidas de tomate de árbol.

		Temperatura (°C)					R ²	CME
		10	20	30	40	50		
K'	Control	0,029	0,036	0,039	0,021	0,075	0,997	0,921
	Mínimo	0,011	0,006	0,008	0,013	0,027	0,998	0,985
	Central	0,035	0,034	0,033	0,026	0,046	0,997	1,345
	Máximo	0,043	0,014	0,019	0,013	0,027	0,998	1,159
K''	Control	0,029	0,009	0,032	0,011	0,050	0,999	1,376
	Mínimo	0,012	0,006	0,010	0,017	0,032	0,998	1,275
	Central	0,036	0,042	0,053	0,014	0,028	0,999	0,731
	Máximo	0,049	0,017	0,016	0,009	0,010	0,997	0,582
n'	Control	1,831	1,809	1,795	1,546	1,652	0,997	0,921
	Mínimo	1,942	2,084	1,983	1,945	1,762	0,998	0,985
	Central	1,710	1,719	1,718	1,78	1,577	0,997	1,345
	Máximo	1,620	1,875	1,769	1,942	1,771	0,998	1,159
n''	Control	1,461	1,769	1,468	1,762	1,357	0,999	1,376
	Mínimo	1,636	1,784	1,623	1,564	1,351	0,998	1,275
	Central	1,466	1,429	1,287	1,641	1,485	0,999	0,731
	Máximo	1,391	1,629	1,589	1,659	1,709	0,997	0,582

Para evaluar el efecto de la temperatura en el comportamiento viscoelástico de las bebidas, los parámetros K' , K'' , n' , n'' se ajustaron a la ecuación de Arrhenius. Los modelos estimados no fueron significativos ($p > 0,05$), y los coeficientes de determinación fueron relativamente bajos. Es decir, no se encontró una relación lineal para los módulos G' y G'' frente a la temperatura. Resultados similares fueron determinados en jugos de tomate, al evaluar los módulos oscilatorios a partir de la viscosidad compleja en función de la temperatura (Tiziani y Vodovotz, 2005).

La Fig. 4-5 muestra el comportamiento de la tangente o factor de pérdida (δ) a diferentes temperaturas. Se observa que los valores están por debajo de la unidad ($\tan \delta < 1,0$) que confirman el comportamiento como gel viscoelástico de las bebidas formulados (Rao, 2006). Asimismo, se encontró que la relación de módulos (G''/G') es dependiente de la frecuencia. Se detalla una tendencia de la $\tan(\delta)$, a permanecer constante a bajas

frecuencias (<1,0 Hz), pero empieza a disminuir a medida que se incrementan las velocidades de oscilación (>1,0 Hz). Una tendencia similar en la variación de $\tan(\delta)$, en jugos de naranja-leche estabilizados con goma persian fue reportado por Abbasi y Mohammadi (2013). Moraes *et al.*, (2011) expone que la $\tan(\delta)$ en pulpa de maracuyá, mostró valores menores a la unidad con una débil dependencia de la frecuencia para las muestras formuladas con GX. No obstante, esa disminución de la relación G''/G' a altas frecuencias confirman el predominio del componente elástico, asociado a los materiales poliméricos (hidrocoloides) en la suspensión dado que éstos sistemas se acercan a geles verdaderos.

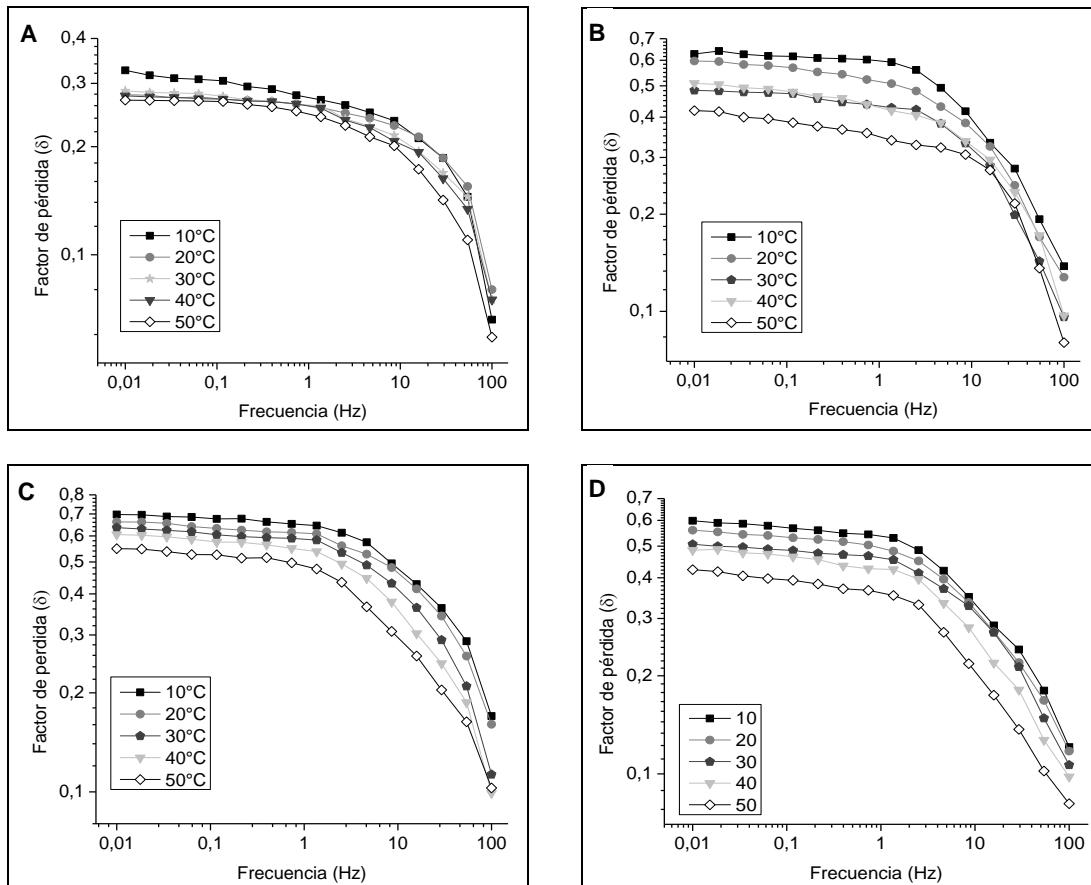


Figura 4-5: Comportamiento de la tangente o factor de pérdida (δ) en función de la temperatura en bebidas de tomate de árbol. A) Control, B) Punto mínimo, C) Punto medio, D) Punto máximo.

La temperatura ejerció una ligera influencia en la disminución del factor de pérdida, sin embargo, no se encontró una relación lineal a partir de la ecuación de Arrhenius. Sharoba *et al.*, (2006) al evaluar las propiedades viscoelásticas de jugos y pasta de tomate en el rango de 0,01 a 100 Hz, encontraron una disminución de los valores de $\tan(\delta)$ durante el calentamiento. Asimismo, Tiziani y Vodovotz, (2005) describen el efecto de la temperatura en parámetros como la viscosidad compleja y tangente, indicadores del comportamiento viscoelástico de dispersiones alimentarias. Los autores describen que el aumento de temperatura puede afectar el sistema físico de los jugos que se comportan como un gel, ocasionando leves daños en su estructura, probablemente a causa del debilitamiento de las interacciones hidrofílicas e hidrofóbicas entre los hidrocoloides y las partículas

suspendidas de pulpa de tomate. Características similares han sido reportadas por Choppe *et al.*, (2010) en suspensiones de GX sometidas a barridos de frecuencias entre 0,01 y 100 Hz. Por su parte, Lad y Murthy (2013) señalan que el aumento de la temperatura causó un debilitamiento en la estructura reticulada que forman los polisacáridos constituyentes del gel de aloe vera, produciendo una disminución en la tangente.

Con el fin de evaluar la estabilidad de las bebidas simulando condiciones de almacenamiento, se analizó el comportamiento de los parámetros viscoelásticos G' , G'' y $\tan(\delta)$ a temperatura de 10°C y frecuencia de 0,1Hz. Se estimó que la adición de hidrocoloides y aloe vera, no influyeron en el comportamiento de los módulos viscoelásticos ($p > 0,05$), manteniéndose la tendencia $G' > G''$ en las bebidas. Además, Falguera & Ibarz (2014) indican que a bajas frecuencias se simula el sistema físico del producto en condiciones de baja deformación, como ocurre durante el almacenamiento y sedimentación de partículas en suspensión. La $\tan(\delta)$ se ha considerado una medida relevante de la estabilidad física en dispersiones y se ha encontrado que para valores de $\tan(\delta) < 1,0$, éstas son menos susceptibles a la separación de fases (Kuentz y Röthlisberger, 2003). Mezger (2006) argumenta que la estructura de gel débil ($\tan \delta < 1,0$) se exhibe como cierta forma de estabilidad de dispersiones alimentarias. Basados en el análisis estadístico, se encontró que los factores concentración de GX y CMC son significativos en el comportamiento de la $\tan(\delta)$ en bebidas de tomate de árbol ($p < 0,05$). El modelo matemático estimado que describe el comportamiento de la $\tan(\delta)$ mostró un valor R^2 de 0,89 (Tabla 4-8). Asimismo, el modelo obtenido en relación con la prueba de bondad de ajuste, presentó una buena estimación estadística ($p > 0,05$).

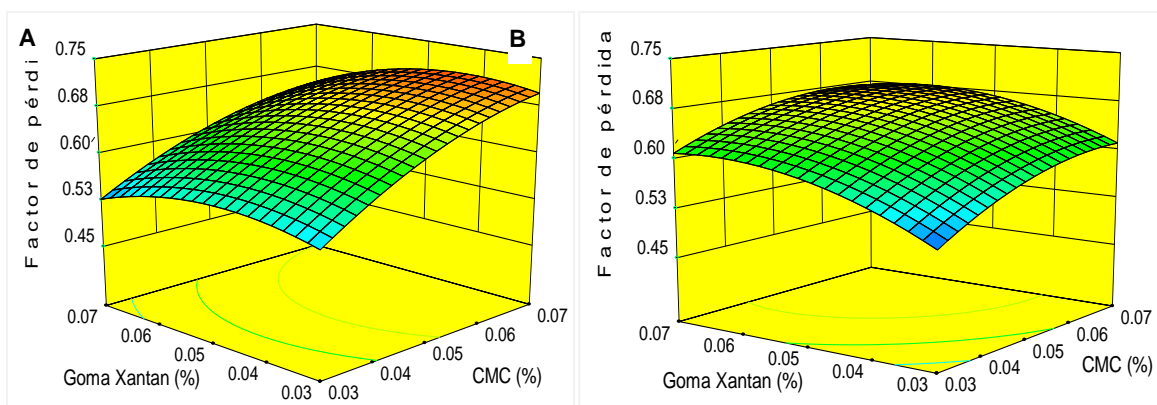


Figura 4-6: Superficie de respuesta para tangente de pérdida ($\tan \delta$) a 10°C y 0,1 Hz. A) Aloe vera al 0,5% (punto mínimo), B) Aloe vera al 1,5% (punto máximo).

En la Fig. 4-6 se observa que a medida que se aumenta la concentración de hidrocoloides, los valores de $\tan \delta$ se incrementan, pero se conserva la estructura de gel débil ($\tan \delta < 0,1$). Resultados similares fueron reportados por Moraes *et al.*, (2011) en jugos de maracuyá tratados con GX. Diversos autores citan que estas características pueden explicarse debido a que los hidrocoloides en suspensiones tienden a formar una estructura compleja altamente ordenada en forma de red de moléculas rígidas particular de un gel débil contribuyendo a la estabilidad de partículas en suspensión (Rao, 2006; Norton *et al.*, 2011). Lo anterior, coincide con lo expuesto por Meng y Rao (2005) quienes argumentan que el comportamiento físico como gel en algunas suspensiones alimentarias se atribuye principalmente a las presencia de sustancias poliméricas. Chaikham y Apichartsrangkoon

(2012) encontraron un predominio del componente elástico en jugos de *Dimocarpus longan* utilizando una concentración de GX al 0,1%, para los cuales se estimaron valores del factor de pérdida menores a la unidad. El aumento de los valores de los componentes viscoelásticos en suspensiones de jugos de manzana, se deriva del uso de almidones reticulados de maíz (Meng y Rao, 2005). Ellos señalan que el aumento de la concentración de almidón en la suspensión, genera un aumento en los valores de la tangente a bajas frecuencias (<10Hz).

Tabla 4-8: Efectos del modelo de regresión para tangente de pérdida (δ) a 10°C y 0,1 Hz.

Coeficientes	tan (δ)
β_0	0,43
β_1	-0,19
β_2	1,77
β_3	8,72
β_{11}	NS
β_{12}	3,80
β_{13}	-2,22
β_{22}	-47,21
β_{23}	-11,20
β_{33}	-37,57
R ²	0,89
Modelo (p-valor)	0,04
Falta ajuste (p-valor)	0,96

*NS: Coeficientes no significativos

Se ha encontrado que una concentración máxima de 0,15% de GX confiere óptimas características viscoelásticas en un jugo de fruta, otorgando estabilidad basados en el dominio del componente elástico ($G' > G''$) y un valor de tan (δ) <1,0 (Chaikham y Apichartsrangkoon, 2012). Por su parte, Benchabane y Bekkour (2008) exponen que suspensiones poco concentradas de CMC (<2,0%) pueden conferir buena estabilidad dado su comportamiento tipo gel débil. A partir de lo anterior, las propiedades viscoelásticas deseables ($G' > G''$) con valores de tan (δ) < 0,8 en bebidas de tomate de árbol se perciben para concentraciones de GX $\geq 0,025\%$, y concentraciones de CMC $\geq 0,05\%$. Además, bajo estas mismas concentraciones se percibe un comportamiento pseudoplástico ($n < 1$) y un aumento significativo en la viscosidad de la fase continua (incremento del coeficiente de consistencia) parámetros que se relacionan como indicadores de buena estabilidad en suspensiones. Tiziani y Vodovotz 2005) argumentan que la alta capacidad de retención de agua y capacidad de aumentar la viscosidad de la fase continua de los coloides hidrofílicos, resaltan sus propiedades de retención e ionización de partículas, formando a su vez una estructura tipo gel más fuertes ($G' > G''$) confiriendo estabilidad a suspensiones alimentarias. Por otro lado, se observa que la GX puede ejercer mejores propiedades como estabilizante que la goma CMC, a menores concentraciones. Algunos autores señalan que a pesar de su alto costo, la GX sigue siendo la primera opción debido a sus incomparables propiedades reológicas. Ellos exponen que la capacidad de conferir mayor viscosidad a bajas tasas de cizalla (<10s⁻¹), aumentar las propiedades viscoelásticas y poseer una deformación de fluencia más baja, explican sus excelentes propiedades estabilizantes (Lazaridou *et al.*, 2007; Li *et al.*, 2015).

CONCLUSIONES

El presente estudio ha demostrado el efecto significativo de la adición de hidrocoloides sobre las propiedades reológicas de las bebidas de tomate de árbol. Los parámetros de flujo y propiedades viscoelásticas de las bebidas presentaron un buen ajuste al modelo de Ley de Potencia ($R^2 > 0,90$). La disminución del índice de flujo debido a la incorporación de materiales poliméricos, indican el comportamiento pseudoplástico de las bebidas ($n < 1$). La viscosidad de los néctares formulados disminuyó significativamente con la temperatura. El modelo principio de Arrhenius ajustó adecuadamente para describir el efecto de la temperatura sobre el coeficiente de consistencia.

Pruebas oscilatorias dinámicas confirman el comportamiento como gel débil de las bebidas de tomate de árbol los valores de n' y n'' mayores a la unidad, y predominancia del módulo elástico sobre el módulo viscoso ($G' > G''$). El aumento de la temperatura no marcó una tendencia lineal de los parámetros viscoelásticos, basados en el principio de Arrhenius. El coeficiente K y $\tan(\delta)$ resultaron ser significativos, con la adición de hidrocoloides ($p < 0,05$). Los tratamientos T11, T16 y T18 presentaron índices de comportamiento de flujo en el rango $0,4 \leq n \leq 0,6$, y valores de tangentes de pérdida en el rango $0,7 \leq \tan(\delta) \leq 0,8$ bajo condiciones de 10°C y $0,1$ Hz; indicadores de excelente estabilidad estérica.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Dirección de Investigación (DIME) de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín, el apoyo económico del proyecto de investigación radicado con el número 19822, a través de la convocatoria “Programa Nacional de Proyectos para el fortalecimiento de la investigación, la creación y la innovación en posgrados 2013-2015”.

BIBLIOGRAFÍA

- Abbasi, S., Mohammadi, S. (2013). Stabilization of milk–orange juice mixture using persian gum: Efficiency and mechanism. *Food Bioscience*, 2(1), 53–60.
- Ahmed, J., Ramaswamy, H. S., Sashidhar, K. C. (2007). Rheological characteristics of tamarind (*Tamarindus indica* L.) juice concentrates. *LWT - Food Science and Technology*, 40(2), 225–231.
- Augusto, P. E., Ibarz, A., Cristianini, M. (2013a). Effect of high-pressure homogenization (HPH) on the rheological properties of tomato juice: Viscoelastic properties and the Cox–Merz rule. *Journal of Food Engineering*, 114(1), 57–63.
- Augusto, P., Ibarz, A., Cristianini, M. (2013b). Effect of high-pressure homogenization (HPH) on the rheological properties of tomato juice: Creep and recovery behaviours. *Food Research International*, 54(1), 169–176.
- Banerjee, I., Ghosh, U. (2015). Effect of different hydrocolloids on rheology of tamarind (*Tamarindus indica* L.) juice. *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology*, 5(1), 60-70.
- Benchabane, A., Bekkour, K. (2008). Rheological properties of carboxymethyl cellulose (CMC) solutions. *Colloid and Polymer Science*, 286(10), 1173-1180.

Coffey, D. G., Bel, D. A., Henderson, A. Cellulose and cellulose derivatives. In: Stephen, A. M., Phillips, G. O., Williams, P. A. Food polysaccharides and their applications. Boca Raton, USA: CRC Press, 2006.

Cabral, R. A. F., Orrego, A. C. E., Gabas, A. L. Telis, R. J. (2007). Rheological and thermophysical properties of blackberry juice. *Ciência e Tecnologia de Alimentos - Campinas*, 27(3), 589-596.

Chaikham. P., Apichartsrangkoon, A. (2012). Comparison of dynamic viscoelastic and physicochemical properties of pressurised and pasteurised longan juices with xanthan addition. *Food Chemistry*, 134(4), 2194-2200.

Chen, C. J., Liao, H. J., Okechukwu, P. E., Damodaran, S., Rao, M. A. (1996). Rheological properties of heated corn starch + soybean 7S and 11S globulin dispersions. *Journal of Texture Studies*, 27(4), 419-432.

Chin., N. L., Chan, S. M., Yusof, Y. A., Chuah, T. G., Talib, R. A. (2009). Modelling of rheological behaviour of pummelo juice concentrates using master-curve. *Journal of Food Engineering*, 93(2), 134-140.

Choppe, E., Puaud, F., Nicolai, T., Benyahia, L. (2010). Rheology of xanthan solutions as a function of temperature, concentration and ionic strength. *Carbohydrate Polymers*, 82(4), 1228-1235.

Dak, M., Verma, R.C., Sharma, G.P. (2006). Flow characteristics of juice of "Totapuri" mangoes. *Journal of Food Engineering*, 76(4), 557-561.

Earle, R. L. Unit Operations in Food Processing. Second Edition. London, UK: Pergamon Press, 1989, 207 p.

Falguera, V., Ibarz, A. Juice Processing: Quality, Safety and Value-Added Opportunities. First Edition. Boca Raton, Florida: CRC Press, 2014, 401 p.

Fasolin, L., y Cunha, R. (2012). Soursop juice stabilized with soy fractions: A rheological approach. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 32(2), 558-567.

García, O. F., Santos, V. E., Casas, J. A., Gómez, E. (2000). Xanthan gum: production, recovery, and properties. *Biotechnology Advances*, 18(7), 549- 579.

Genovese, D. B., Elustondo, M. P., Lozano, J. E. (1997). Color and cloud stability in cloudy apple juice by steam heating during crushing. *Journal of Food Science*, 62(6), 1171-1175.

Genovese, D. B., Lozano, J. E. (2001). The effect of hydrocolloids on the stability and viscosity of cloudy apple juices. *Food Hydrocolloids*, 15(1), 1-7.

Genovese, D., Lozano, J. (2006). Contribution of colloidal forces to the viscosity and stability of cloudy apple juice. *Food Hydrocolloids*, 20(6), 67-773.

Goula, A. M., Adamopoulos, K. G. (2011). Rheological models of kiwifruit juice for processing applications. *Food Processing & Technology*, 2(1), 106-113.

Gratão, A.C, Silveira Jr., V., Telis-Romero, J. (2007). Laminar flow of soursop juice through concentric annuli: friction factors and rheology. *Journal of Food Engineering*, 78(4), 1343-1354.

Haminuik, C. W., Sierakowski, M. R., Vidal, J. M., Masson, M. L. (2006). Influence of temperature on the rheological behaviour of whole araca pulp (*Psidium cattleianum sabine*). *Food Science and Technology*, 39(4), 426-430.

Ibrahim, G., Hassan, I., Abd-Elrashid, A., El-Massry, K., Eh-Ghorab, A., Ramadan, M., Osman, F. (2011). Effect of clouding agents on the quality of apple juice during storage. *Food Hydrocolloids*, 25(1), 91-97.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas. NTC 3549. Refrescos de frutas. Bogotá: ICONTEC, 1999.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas. NTC 4105. Frutas frescas. Tomate de árbol, Especificaciones. Refrescos de frutas. Bogotá: ICONTEC, 1997.

Krokida, M.K., Maroulis, Z.B., Saravacos, G.D. (2001). Rheological properties of fluid fruit and vegetables puree products: Compilation of literature data. *International Journal of Food Properties*, 4(2), 179–200.

Kuentz, M., Röthlisberger, D. (2003). Rapid assessment of sedimentation stability in dispersions using near infrared transmission measurements during centrifugation and oscillatory rheology. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 56(3), 355-361.

Kumar, S., Kumar, P. (2015). Rheological modeling of non-depectinized beetroot juice concentrates. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 1, 1-8.

Lad, V., Murthy, Z. P. (2013). Rheology of *Aloe barbadensis* M.: A naturally available material of high therapeutic and nutrient value for food applications. *Journal of Food Engineering*, 115(3), 279-284.

Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Belc, N., Biliaderis, C. G. (2007). Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering*, 79(3), 1033-1047.

Liang, C., Hu., X., Ni, Y., Wu., J., Chen, F., Liao, X. (2006). Effect of hydrocolloids on pulp sediment, white sediment, turbidity and viscosity of reconstituted carrot juice. *Food Hydrocolloids*, 20(8), 1190-1197.

Li, J. M., Nie, S. P. (2015). The functional and nutritional aspects of hydrocolloids in foods. *Food Hydrocolloids*, In Press, 1-16.

Meng, Y., Rao, M. (2005). Rheological and structural properties of cold-water-swelling and heated cross-linked waxy maize starch dispersions prepared in apple juice and water. *Carbohydrate Polymers*, 60(3), 291–300.

Meza, N., Manzano, M. J. (2009). Características del fruto de tomate de árbol (*Cyphomandra betaceae* [Cav.] Sendtn) basadas en la coloración del arilo, en la Zona Andina Venezolana. *Revista UDO Agrícola*, 9(2), 289-294.

Mezger, T. G. (2006). The rheology handbook. Second Edition. Hannover: Vincentz Network, 300p.

Moelants, K. R. N., Cardinaels, R., Jolie, R. P., Verrijssen, T. A. J., Van Buggenhout, S., Zumalacarregui, L. M., Van Loey, A. M., Moldenaers, P., Hendrickx, M. E. (2013). Relation between particle properties and rheological characteristics of carrot-derived suspensions. *Food Bioprocess Technology*, 6(5):1127–1143.

Moraes, I. C. F., Fasolin, L. H., Cunha, R. L., Menegalli, F. C. (2011). Dynamic and steady-shear rheological properties of xanthan and guar gums dispersed in yellow passion fruit pulp (*Passiflora edulis* Flavicarpa). *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 28(3), 483-494.

Nwaokoro, O. G., Akanbi, C. T. (2015). Effect of the addition of hydrocolloids to tomato-carrot juice blend. *Journal of Nutritional Health & Food Science*, 3(1), 1-10.

Norton, I., Spyropoulos, F., Cox, P. Practical Food Rheology - An Interpretive Approach. First Edition. Oxford, UK: Wiley-Blackwell, 2011, 280 p.

Paquet, E., Bédard, A., Lemieux, S., Turgeon, S. L. (2014). Effects of apple juice-based beverages enriched with dietary fibres and xanthan gum on the glycemic response and appetite sensations in healthy men. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 4(1), 39-47.

Quek, M. C, Chin, N. L., Yusof, Y. A (2013). Modelling of rheological behaviour of soursop juice concentrates using shear rate-temperature-concentration superposition. *Journal of Food Engineering*, 118(4), 380-386.

Rao, M. A. Rheology of Fluid and Semisolid Foods: Principles and Applications. Second Edition. Geneva, NY, USA: Springer, 2006, 481p.

Sesmero, R., Mitchell, J. R., Mercado, J. A., Quesada, M. A. (2009). Rheological characterisation of juices obtained from transgenic pectate lyase-silenced strawberry fruits. *Food Chemistry*, 116(2), 426-432.

Shamsudin, R., Chia, S. L, Mohd, A. N., Wan, D. W. (2013). Rheological properties of ultraviolet-irradiated and thermally pasteurized Yankee pineapple juice. *Journal of Food Engineering*, 116(2), 548-553.

Sharoba, A. M., Senge, B., El-Mansy, H. A., Bahlol, H. E. M., Blochwitz, R. Rheological properties of some Egyptian and European tomato products. In: First Inter. Conf. & Exh. Food & Tourism. Egypt: HITH, 2006, p. 316 – 334.

Sogi, D. S., Oberoi, D. P., Malik., S. (2010). Effect of particle size, temperature, and total soluble solids on the rheological properties of watermelon juice: A response surface approach. *International Journal of Food Properties*, 13(6), 1207–1214.

Tiziani, S., Vodovotz, Y. (2005). Rheological effects of soy protein addition to tomato juice. *Food Hydrocolloids*, 19(1), 45-52.

Vandresen, S., Quadri, M. G., de Souza, J. A., Hotza, D. (2009). Temperature effect on the rheological behavior of carrot juices. *Journal of Food Engineering*, 92(3), 269-274.

Xu, L., Xu, G., Liu, T., Chen, Y., Gong, H. (2013). The comparison of rheological properties of aqueous welan gum and xanthan gum solutions. *Carbohydrate Polymers*, 92 (1), 516– 522.

Yoğurtçu, H., Kanişlı, F. (2006). Determination of rheological properties of some pekmez samples in Turkey. *Journal of Food Engineering*, 77(4), 1064-1068.

Whistler, R. L., BeMiller, J. N. Carbohydrate Chemistry for Food Scientists. Second Edition. St. Paul MN, USA: Eagan Press, 1997.

Williams, P. A. y Phillips, G.O. Introduction to food hydrocolloids. In Phillips, G.O., Williams, P.A. Handbook of hydrocolloids. Cambridge, United Kingdom: CRC Press, 2009.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

- Gel de aloe vera intensificó el pH y acidez de las bebidas ($p < 0,05$). Los diámetros medios de las partículas, parámetros de color y atributos sensoriales, no presentaron una variación significativa con la adición de GX, CMC y aloe vera ($p > 0,05$).
- La incorporación de GX fue significativa ($p < 0,05$) en la disminución de la velocidad de sedimentación y aumento de la repulsión electrostática entre partículas. Los tratamientos T11 y T16 presentaron valores de potencial $\zeta \geq -40\text{mV}$, indicador de buena estabilidad.
- Debido al aumento significativo de la viscosidad de la fase continua, potencial ζ y turbidez en las bebidas con la adición de GX, se puede inferir que predominaron efectos de estabilidad estérica y electrostática, permitiendo controlar mecanismos de inestabilidad coloidal.
- Las bebidas presentaron un comportamiento pseudoplástico ($n < 1$) y tendencia a gel débil dada la predominancia del módulo elástico sobre el viscoso ($G' > G''$). Asimismo, los parámetros reológicos presentaron un buen ajuste al modelo de Ley de Potencia ($R^2 > 0,90$).
- La viscosidad de los néctares formulados disminuyó significativamente con la temperatura, encontrándose una relación lineal entre el coeficiente de consistencia y el inverso de la temperatura, descrita a través del modelo de Arrhenius.
- Los tratamientos T4, T11, T16 y T18 presentaron índices de comportamiento de flujo en el rango $0,4 \leq n \leq 0,6$, y valores de tangentes de pérdida en el rango $0,7 \leq \tan(\delta) \leq 0,8$ bajo condiciones de 10°C y $0,1\text{ Hz}$; indicadores de excelente estabilidad estérica.
- A partir del comportamiento de parámetros fisicoquímicos y sensoriales y correlacionándolos con algunos parámetros reológicos y de estabilidad coloidal; podemos inferir que los tratamientos T11 y T16 se conciben como los más adecuados, confiriendo buena estabilidad a las bebidas sin afectar las propiedades fisicoquímicas y atributos sensoriales.

5.2 Recomendaciones

- Para identificar la formulación óptima de la bebida en función de las características fisicoquímicas, sensoriales y de estabilidad, es aconsejable ampliar el estudio utilizando herramientas estadísticas de modelamiento y optimización de múltiples respuestas.
- En relación al estudio de análisis sensorial, es recomendable ampliar la caracterización de bebidas realizando una prueba de aceptación para un público objetivo.
- En estudios anexos a esta investigación, se aconseja realizar la validación de los modelos reológicos obtenidos. Asimismo, establecer una relación entre temperatura y parámetros de módulos viscoelásticos, a través del ajuste a modelos no lineales.

A. Anexo: Formato Análisis Sensorial

Nombre: _____
Fecha: _____

Instrucciones: A continuación se muestra una escala no estructurada con el fin de evaluar cuatro parámetros sensoriales en bebidas funcionales de tomate de árbol. Pruebe la bebida y marque con una línea perpendicular a la escala su apreciación, atendiendo a su percepción de una bebida estable y conocimiento de las características propias de la pulpa de tomate de árbol.

Muestra: N° _____

Apariencia: Bebida homogénea (sin sedimentación), sin presencia de trozos de corteza o materiales extraños

Poco homogéneo Muy homogéneo
|-----|

Color: Característico de la pulpa de la pulpa de tomate de árbol, homogéneo, brillante

Poco característico Muy característico
|-----|

Aroma: Característico de la pulpa de tomate de árbol.

Poco característico Muy característico
|-----|

Sabor: Característico de la pulpa de tomate de árbol.

Poco característico Muy característico
|-----|

B. Anexo: Análisis Estadístico

ANEXOS DE CAPITULO TRES

B3-1. Diseño experimental

Tratamiento	Aloe vera (%)	GX (%)	CMC (%)	Aloe vera (X ₁)	GX (X ₂)	CMC (X ₃)
T1	1	0.05	0.092	1,68	0	0
T2	1	0.008	0.05	0	0	-1,68
T3	0.16	0.05	0.05	0	-1,68	0
T4	0.5	0.075	0.075	1	-1	1
T5	1.5	0.025	0.075	1	1	-1
T6	1	0.05	0.05	0	0	0
T7	1.5	0.075	0.025	-1	1	1
T8	1	0.05	0.05	0	0	0
T9	1.5	0.025	0.025	-1	1	-1
T10	1	0.05	0.008	-1,68	0	0
T11	1	0.092	0.05	0	0	1,68
T12	1.84	0.05	0.05	0	1,68	0
T13	1	0.05	0.05	0	0	0
T14	1	0.05	0.05	0	0	0
T15	0.5	0.025	0.075	1	-1	-1
T16	1.5	0.075	0.075	1	1	1
T17	0.5	0.025	0.025	-1	-1	-1
T18	0.5	0.075	0.025	-1	-1	1
Control	-	-	-	-	-	-

B3-2. Análisis de varianza – Variable pH

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Aloe	0,0202	1	0,0202	6,15	0,0381
B:Goma Xantan	0,0018	1	0,0018	0,54	0,4832
C:CMC	0,0096	1	0,0096	2,94	0,1250
AA	0,0475	1	0,0475	14,45	0,0052
AB	0,0022	1	0,0022	0,66	0,0439
AC	0,0019	1	0,0019	0,57	0,4732
BB	0,0376	1	0,0376	11,45	0,0096
BC	0,0051	1	0,0051	1,55	0,0248
CC	0,0097	1	0,0097	2,94	0,1245
Error total	0,0263	8	0,0033		
Total	0,1317	17			

R-cuadrada = 0,800 porciento

Estadístico Durbin-Watson = 1,776 (P=0,359)

Falta de ajuste = 1,50 (P=0,362)

Modelo= 3,59 (P=0,043)

B3-3. Análisis de varianza - Acidez titulable

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Aloe	0,00209	1	0,00209	11,48	0,0095
B:Goma Xantan	0,00002	1	0,00002	0,13	0,7290
C:CMC	0,00055	1	0,00055	3,04	0,1194
AA	0,00157	1	0,00157	8,62	0,0188
AB	0,00076	1	0,00076	4,18	0,0751
AC	0,00296	1	0,00296	16,3	0,0038
BB	0,00023	1	0,00023	1,25	0,0296
BC	0,00101	1	0,00101	5,57	0,0460
CC	0,00005	1	0,00005	0,27	0,6202
Error total	0,00146	8	0,00018		
Total	0,01029	17			

R-cuadrada = 0,859 por ciento

Estadístico Durbin-Watson = 1,65277 (P=0,274)

Falta de ajuste = 6,51 (P=0,08)

Modelo= 3,03 (0,07)

B3-4. Análisis de varianza – Tamaño de partícula, D [3,2]

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Aloe	10.837	1	10.837	2.41	0.1593
B:Goma Xantan	21.681	1	21.681	4.82	0.0695
C:CMC	0.4954	1	0.4954	0.11	0.7486
AA	6.8510	1	6.8516	1.52	0.2523
AB	3.1250	1	3.1250	0.69	0.4288
AC	36.125	1	36.125	8.03	0.0620
BB	10.541	1	10.541	2.34	0.1644
BC	0.1250	1	0.1250	0.03	0.8718
CC	5.8340	1	5.8345	1.30	0.2878
Error total	36.002	8	4.5002		
Total	182.50	17			

R-cuadrada = 0,827 por ciento

Estadístico Durbin-Watson = 2,226 (P=0,693)

Falta de ajuste = 0,86 (P=0,587)

Modelo= 0,127 (P=0,022)

B3-5. Análisis de varianza – Diferencia de color (ΔE)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Aloe	1,4005	1	1,4005	1,63	0,2373
B:Goma Xantan	0,5737	1	0,5737	0,67	0,4373
C:CMC	1,8831	1	1,8831	2,19	0,1769
AA	1,3148	1	1,3148	1,53	0,2510
AB	1,2144	1	1,2144	1,41	0,2684
AC	3,5497	1	3,5497	4,13	0,0765
BB	1,2185	1	1,2185	1,42	0,2676
BC	0,3172	1	0,3172	0,37	0,5601
CC	2,7787	1	2,7787	3,24	0,1097
Error total	6,8682	8	0,8585		
Total	16,0154	17			

R-cuadrada = 0,571 por ciento

Estadístico Durbin-Watson = 1,258 (P=0,080)

Falta de ajuste = 1,190 (P=0,472)

Modelo= 0,172 (P=0,251)

B3-6. Análisis de varianza - Potencial ζ

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Aloe	0,047	1	0,0471	0,01	0,9409
B:Goma Xantan	106,166	1	106,1660	13,18	0,0067
C:CMC	1,202	1	1,2017	0,15	0,7094
AA	0,096	1	0,0958	0,01	0,9159
AB	11,927	1	11,9267	1,48	0,2584
AC	0,623	1	0,6227	0,08	0,7881
BB	0,005	1	0,0046	0	0,9815
BC	7,156	1	7,1555	0,89	0,3736
CC	3,465	1	3,4654	0,43	0,5303
Error total	64,455	8	8,0569		
Total	258,222	17			

R-cuadrada = 0,750 porciento

Estadístico Durbin-Watson = 2,456 (P=0,831)

Falta de ajuste = 4,85 (P=0,112)

Modelo= 2,67 (0,041)

B3-7. Análisis de varianza - Velocidad de sedimentación

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Aloe	8,685E-05	1	8,685E-05	0,29	0,6027
B:Goma Xantan	1,019E-02	1	1,019E-02	34,43	0,0004
C:CMC	2,597E-04	1	2,597E-04	0,88	0,3762
AA	1,137E-04	1	1,137E-04	0,38	0,5525
B	6,125E-06	1	6,125E-06	0,02	0,8891
AC	9,113E-05	1	9,113E-05	0,31	0,594
BB	3,132E-03	1	3,132E-03	10,59	0,0116
BC	2,761E-04	1	2,761E-04	0,93	0,3623
CC	2,665E-04	1	2,665E-04	0,9	0,3703
Error total	2,366E-03	8	2,958E-04		
Total	3,884E-02	17			

R-cuadrada = 0,939 porciento

Estadístico Durbin-Watson = 1,377 (P=0,124)

Falta de ajuste = 6,72 (P=0,074)

Modelo= 13,77 (0,001)

B3-8. Parámetros de regresión en la determinación de la velocidad de sedimentación

Tratamiento	IS	v (h ⁻¹)*	R ²	CME
T1	0,0	0,00	-	-
T2	40,9	0,127	0,9881	0.602
T3	4,5	0,027	0.9261	0.159
T4	0,0	0,00	-	-
T5	37,1	0,103	0.9572	0.872
T6	4,06	0,024	0.9362	0.212
T7	0,0	0,00	-	-
T8	5,0	0,022	0.9168	0.238
T9	39,5	0,113	0.9881	0.578
T10	7,38	0,064	0.9439	0.101
T11	0,0	0,00	-	-
T12	24,5	0,028	0.9493	0.986
T13	6,4	0,039	0.9850	0.049
T14	3,50	0,023	0.9478	0.216
T15	22,3	0,093	0.9785	0.211
T16	0,0	0,00	-	-
T17	55,7	0,130	0.9393	0.768
T18	0,0	0,00	-	-
Control	67,5	1,541	0.9463	0.920

B3-9. Análisis de varianza - Turbidez

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Aloe	0,04697	1	0,04697	1,75	0,2220
B:Goma Xantan	0,34726	1	0,34726	12,96	0,0070
C:CMC	0,05460	1	0,05460	2,04	0,1912
AA	0,03387	1	0,03387	1,26	0,2934
AB	0,01256	1	0,01256	0,47	0,5128
AC	0,00177	1	0,00177	0,07	0,8036
BB	0,30688	1	0,30688	11,46	0,0096
BC	0,00813	1	0,00813	0,3	0,5968
CC	0,19591	1	0,19591	7,31	0,0269
Error total	0,21429	8	0,02679		
Total	1,60882	17			

R-cuadrada = 0,867 por ciento

Estadístico Durbin-Watson = 1,797 (P=0,374)

Falta de ajuste = 2,08 (P=0,289)

Modelo= 3,33 (0,042)

B3-10. Análisis de varianza - Viscosidad sobrenadante

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Aloe	0,0116	1	0,0116	0,0600	0,8172
B:Goma Xantan	20,9804	1	20,9804	103,1600	0,0000
C:CMC	4,4928	1	4,4928	22,0900	0,0015
AA	0,0198	1	0,0198	0,1000	0,7633
AB	0,0699	1	0,0699	0,3400	0,5738
AC	0,0375	1	0,0375	0,1800	0,6788
BB	0,7501	1	0,7501	3,6900	0,0910
BC	0,2271	1	0,2271	1,1200	0,3215
CC	0,4986	1	0,4986	2,4500	0,1560
Error total	1,6270	8	0,2034		
Total	64,6072	17			

R-cuadrada = 0,975 por ciento

Estadístico Durbin-Watson = 0,991 (P=0,022)

Falta de ajuste = 6,62 (P=0,075)

Modelo= 34,43 (0,002)

ANEXOS DE CAPITULO CUATRO

B4-1. Análisis de varianza - Factor de consistencia (K_0)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Aloe	0,000010	1	0,000010	0,06	0,8278
B:Goma Xantan	0,004340	1	0,004340	23,36	0,0169
C:CMC	0,000325	1	0,000325	1,75	0,2779
AA	0,000218	1	0,000218	1,17	0,3580
AB	0,000890	1	0,000890	4,79	0,1164
AC	0,000175	1	0,000175	0,94	0,4037
BB	0,001857	1	0,001857	10,00	0,0508
BC	0,000183	1	0,000183	0,98	0,3947
CC	0,000248	1	0,000248	1,34	0,3314
Falta de ajuste	0,001814	5	0,000363	1,95	0,3086
Error puro	0,000557	3	0,000186		
Total	0,011484	17			

R-cuadrada = 0,793 porciento

Estadístico Durbin-Watson = 2,966 (P=0,979)

Falta de ajuste = 1,95 (P=0,308)

Modelo= 3,42 (0,048)

B4-2. Análisis de varianza - Coeficiente de consistencia (K) A 10°C,

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Aloe	0,000918	1	0,000918	0,40	0,5456
B:Goma Xantan	0,029841	1	0,029841	12,94	0,0070
C:CMC	0,004366	1	0,004366	1,89	0,2061
AA	0,001861	1	0,001861	0,81	0,3952
AB	0,000545	1	0,000545	0,24	0,6400
AC	0,000013	1	0,000013	0,01	0,9431
BB	0,006044	1	0,006044	2,62	0,1441
BC	0,006498	1	0,006498	2,82	0,1317
CC	0,000122	1	0,000122	0,05	0,8237
Error total	0,018444	8	0,002306		
Total	0,100598	17			

R-cuadrada = 0,817 porciento

Estadístico Durbin-Watson = 1,979 (P=0,512)

Falta de ajuste = 7,58 (P=0,063)

Modelo= 3,95 (0,033)

B4-3. Análisis de varianza - Índice de flujo (n) a 10°C

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Aloe	0,000056	1	0,000056	0,25	0,6532
B:Goma Xantan	0,015256	1	0,015256	67,21	0,0038
C:CMC	0,000332	1	0,000332	1,46	0,3130
AA	0,000005	1	0,000005	0,02	0,8923
AB	0,000578	1	0,000578	2,55	0,2088
AC	0,000061	1	0,000061	0,27	0,6413
BB	0,000084	1	0,000084	0,37	0,5870
BC	0,001201	1	0,001201	5,29	0,1050
CC	0,000527	1	0,000527	2,32	0,2251
Falta de ajuste	0,002641	5	0,000528	2,33	0,2592
Error puro	0,000681	3	0,000227		
Total	0,035492	17			

R-cuadrada = 0,906 porciento

Estadístico Durbin-Watson = 1,723 (P=0,321)

Falta de ajuste = 2,33 (P=0,259)

Modelo= 8,61 (0,01)

B4-4. Análisis de varianza - Tangente de pérdida (δ)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Aloe	0,001564	1	0,001564	1,24	0,2980
B:Goma Xantan	0,013280	1	0,013280	10,52	0,0118
C:CMC	0,002935	1	0,002935	2,32	0,1659
AA	0,002313	1	0,002313	1,83	0,2129
AB	0,018050	1	0,018050	14,30	0,0054
AC	0,006161	1	0,006161	4,88	0,0582
BB	0,010979	1	0,010979	8,70	0,0185
BC	0,000392	1	0,000392	0,31	0,5926
CC	0,006954	1	0,006954	5,51	0,0469
Error total	0,010100	8	0,001262		
Total	0,098238	17			

R-cuadrada = 0,897 por ciento

Estadístico Durbin-Watson = 1,908 (P=0,457)

Falta de ajuste = 0,17 (P=0,957)

Modelo= 7,76 (0,001)

B4-5. Coeficiente de consistencia K (Pa.sⁿ) en función de la temperatura y ajuste al modelo de Arrhenius.

Tratamiento	Temperatura (°C)					Parámetros Arrhenius		
	10	20	30	40	50	K_0 (Pa.s ⁿ)	E_a (kJ/mol)	R^2
1	0,138	0,097	0,084	0,092	0,071	1,29E-03	10,824	0,942
2	0,073	0,051	0,044	0,053	0,035	2,83E-04	12,871	0,929
3	0,111	0,092	0,072	0,086	0,065	2,46E-03	8,914	0,903
4	0,326	0,233	0,179	0,146	0,115	8,37E-05	10,384	0,996
5	0,084	0,063	0,044	0,046	0,039	1,78E-04	10,318	0,932
6	0,149	0,127	0,090	0,095	0,075	6,15E-04	14,556	0,949
7	0,163	0,148	0,183	0,109	0,078	6,15E-02	16,267	0,933
8	0,146	0,124	0,088	0,093	0,074	6,93E-03	12,544	0,917
9	0,093	0,069	0,073	0,048	0,040	1,31E-04	16,465	0,906
10	0,100	0,082	0,069	0,067	0,046	3,46E-04	15,365	0,927
11	0,271	0,232	0,183	0,185	0,162	9,49E-02	11,582	0,930
12	0,178	0,136	0,099	0,108	0,087	7,54E-04	12,690	0,956
13	0,150	0,129	0,092	0,098	0,077	7,89E-04	14,321	0,911
14	0,106	0,115	0,090	0,095	0,074	2,94E-02	14,600	0,918
15	0,175	0,122	0,084	0,068	0,052	1,64E-05	9,933	0,994
16	0,326	0,244	0,177	0,164	0,131	2,36E-02	16,923	0,975
17	0,131	0,090	0,065	0,065	0,053	1,18E-04	16,278	0,926
18	0,226	0,177	0,147	0,119	0,106	4,51E-04	14,585	0,994
Control	0,063	0,035	0,032	0,037	0,019	1,02E-06	20,330	0,949

B4-6 Índice de flujo de comportamiento de flujo (n), en función de la temperatura y ajuste al modelo de Arrhenius.

Tratamiento	Temperatura (°C)					Parámetros Arrhenius		
	10	20	30	40	50	n_0	E_a (kJ/mol)	R^2
1	0,639	0,659	0,632	0,584	0,615	0,242	2,442	0,472
2	0,703	0,724	0,690	0,625	0,675	0,160	0,627	0,428
3	0,645	0,638	0,629	0,576	0,610	0,422	0,006	0,569
4	0,566	0,561	0,561	0,568	0,573	0,416	0,213	0,448
5	0,710	0,687	0,697	0,642	0,637	0,282	2,180	0,817
6	0,634	0,625	0,624	0,584	0,612	0,486	0,651	0,479
7	0,615	0,575	0,501	0,550	0,577	0,444	0,675	0,249
8	0,634	0,626	0,623	0,586	0,609	0,380	0,652	0,561
9	0,687	0,658	0,595	0,626	0,628	0,307	2,874	0,474
10	0,664	0,625	0,614	0,601	0,631	0,300	1,829	0,388
11	0,549	0,548	0,546	0,522	0,535	0,441	0,524	0,558
12	0,618	0,623	0,622	0,578	0,602	0,428	0,936	0,399
13	0,637	0,625	0,622	0,583	0,611	0,474	0,688	0,530
14	0,605	0,626	0,621	0,583	0,613	0,489	0,609	0,476
15	0,653	0,660	0,664	0,664	0,677	0,287	0,619	0,875
16	0,565	0,569	0,564	0,560	0,567	0,488	0,366	0,562
17	0,643	0,648	0,647	0,613	0,620	0,401	1,160	0,594
18	0,581	0,572	0,555	0,563	0,550	0,387	0,952	0,812
Control	0,713	0,728	0,677	0,722	0,704	0,143	3,922	0,393

B4-7. Parámetros de modelos reológicos y coeficiente de correlación, estimados a partir del modelo de ley de potencia.

Tratamiento	10 °C			20°C			30°C			40°C			50°C		
	<i>K</i>	<i>n</i>	R ²	<i>K</i>	<i>n</i>	R ²	<i>K</i>	<i>n</i>	R ²	<i>K</i>	<i>n</i>	R ²	<i>K</i>	<i>n</i>	R ²
1	0,138	0,639	0.9995	0,097	0,659	0.9994	0,084	0,632	0.9970	0,092	0,584	0.9987	0,071	0,615	0.9995
2	0,073	0,703	0.9997	0,051	0,724	0.9996	0,044	0,690	0.9988	0,053	0,625	0.9976	0,035	0,675	0.9988
3	0,111	0,645	0.9998	0,092	0,638	0.9990	0,072	0,629	0.9986	0,086	0,576	0.9985	0,065	0,610	0.9986
4	0,326	0,566	0.9994	0,233	0,561	0.9999	0,179	0,561	0.9997	0,146	0,568	0.9998	0,115	0,573	0.9997
5	0,084	0,710	0.9999	0,063	0,687	0.9998	0,044	0,697	0.9982	0,046	0,642	0.9976	0,039	0,637	0.9972
6	0,149	0,634	0.9998	0,127	0,625	0.9992	0,090	0,624	0.9990	0,095	0,584	0.9989	0,075	0,612	0.9998
7	0,163	0,615	0.9995	0,148	0,575	0.9994	0,183	0,501	0.9979	0,109	0,550	0.9975	0,078	0,577	0.9998
8	0,146	0,634	0.9998	0,124	0,626	0.9993	0,088	0,623	0.9989	0,093	0,586	0.9988	0,074	0,609	0.9997
9	0,093	0,687	0.9997	0,069	0,658	0.9995	0,073	0,595	0.9994	0,048	0,626	0.9989	0,040	0,628	0.9986
10	0,100	0,664	0.9997	0,082	0,625	0.9980	0,069	0,614	0.9992	0,067	0,601	0.9989	0,046	0,631	0.9976
11	0,271	0,549	0.9997	0,232	0,548	0.9993	0,183	0,546	0.9985	0,185	0,522	0.9989	0,162	0,535	0.9996
12	0,178	0,618	0.9997	0,136	0,623	0.9993	0,099	0,622	0.9989	0,108	0,578	0.9993	0,087	0,602	0.9996
13	0,150	0,637	0.9998	0,129	0,625	0.9993	0,092	0,622	0.9989	0,098	0,583	0.9989	0,077	0,611	0.9999
14	0,106	0,605	0.9998	0,115	0,626	0.9993	0,090	0,621	0.9989	0,095	0,583	0.9989	0,074	0,613	0.9998
15	0,175	0,653	0.9999	0,122	0,660	0.9999	0,084	0,664	0.9999	0,068	0,664	0.9998	0,052	0,677	0.9998
16	0,326	0,565	0.9999	0,244	0,569	0.9999	0,177	0,564	0.9992	0,164	0,560	0.9998	0,131	0,567	0.9998
17	0,131	0,643	0.9999	0,090	0,648	0.9998	0,065	0,647	0.9997	0,065	0,613	0.9997	0,053	0,620	0.9991
19	0,226	0,581	0.9995	0,177	0,572	0.9997	0,147	0,555	0.9996	0,119	0,563	0.9995	0,106	0,550	0.9995
Control	0,063	0,713	0.9995	0,035	0,728	0.998	0,032	0,677	0.9974	0,037	0,722	0.9941	0,019	0,704	0.9989

Bibliografía

Abbasi, S., Mohammadi, S. (2013). Stabilization of milk–orange juice mixture using Persian gum: Efficiency and mechanism. *Food Bioscience*, 2, 53–60.

Ahlawat, K. S., Khatkar, B. S. (2011). Processing, food applications and safety of aloe vera products: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 48(5), 525-533.

Alarcón-Restrepo, J. J., Chavarriaga-Montoya, W. (2007). Diagnóstico precoz de la antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*) (Penz) Penz & Sacc., en tomate de árbol mediante el empleo de infecciones quiescentes. *Agronomía*, 15(1), 89-102.

Alves, D.S., Pérez, F. L., Estepa, A., Micol, V. (2004). Membrane-related effects underlying the biological activity of the anthraquinones emodin and barbaloin. *Biochemical Pharmacology*, 68, 549-561.

Amaya, J., Hashimoto, J. Tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt). Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente. Trujillo: GRNM, 2006, 8p.

Aranberri, I., Binks, B., Clint, J., Fletcher, P. (2006). Elaboración y caracterización de emulsiones estabilizadas por polímeros y agentes tensoactivos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 7(3), 211-231.

Arslan, E. Rheological characterization of tahin/pekmez (sesame paste/concentrated grape juice) blends. Master in Science. Turkia, 2003, 59 p. Department of Food Engineering. Middle East Technical University.

Augusto, P., Ibarz, A., Cristianini, M. (2013). Effect of high-pressure homogenization (HPH) on the rheological properties of tomato juice: Creep and recovery behaviours. *Food Research International*, 54(1), 169-176.

Benítez, E. I., Genovese, D. B., Lozano, Jorge. E. (2009). Effect of typical sugars on the viscosity and colloidal stability of apple juice. *Food Hydrocolloids*, 23, 519-525.

Benítez, S., Achaerandio, I., Sepulcre, F., Pujola, M. (2013). Aloe vera based edible coatings improve the quality of minimally processed 'Hayward' kiwifruit. *Postharvest Biology and Technology*, 81, 29-36.

Black, N., Ortega, L. Uso de atmósferas modificadas en la conservación de babaco, tomate de árbol y granadilla. Salgolquí, 2005, 187 p. Trabajo de Grado (Ingeniero Agropecuario). Escuela Politécnica del Ejército. Facultad de Ciencias Agropecuarias.

- Boghani, A. H., Raheem, A., Hashmi, S. I. (2012). Development and storage studies of blended papaya-aloe vera ready to serve (RTS) beverage. *Journal of Food Processing & Technology*, 3, 185-189.
- Boudreau, M. y Beland, F. (2006). An evaluation of the biological and toxicological properties of *Aloe barbadensis* Miller (Aloe vera). *Journal of Environmental Science and Health, Part C* 24, 103-154.
- Brito, B., Espin, S., Villacrés, E., Vaillant, F., Torres, N. y Sañaicela, D. Tomate de árbol. Características físicas y nutricionales de la fruta, importantes en la investigación y desarrollo de pulpas y chips. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. Quito: INIAP, 2008, 2 p.
- Cáceres-Miranda, Lorena. Manejo postcosecha de los frutos de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) y su relación con el tiempo de vida útil en el mercado central del Cantón (Ambato). Ambato, 2012, 240p. Trabajo de Grado (Magister en Producción más Limpia). Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos.
- Calvo-Villegas, Iván. Cultivo de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*). Manejo integrado de cultivos. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. Costa Rica: INTA, 2009, 6 p.
- Castro, H., Benelli, P., Ferreira, S., Parada, F. (2013). Supercritical fluid extracts from tamarillo (*Solanum betaceum* Sendtn) epicarp and its application as protectors against lipid oxidation of cooked beef mea. *Journal of Supercritical Fluids*, 76, 17-23.
- Castro-Parra, Andrea. Efecto de la aplicación de recubrimientos comestibles en la calidad postcosecha de tomate de árbol (*Solanum betaceum*). Quito, 2013, 138p. Trabajo de Grado (Ingeniero Agroindustrial). Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria.
- Chaikham, P., Apichartsrangkoon, A. (2012). Comparison of dynamic viscoelastic and physicochemical properties of pressurised and pasteurised longan juices with xanthan addition. *Food Chemistry*, 134(4), 2194-2200.
- Chandan, B., Saxena, A. K., Shukla, S., Sharma, N., Gupta, D., Suri, K., Suri, J., Bhadauria, M., Singh, B. (2007). Hepatoprotective potential of *Aloe barbadensis* Miller. Against carbon tetrachloride induced hepatotoxicity. *Journal Ethnopharmacology*, 111, 560-566.
- Chin., N. L., Chan, S. M., Yusof, Y. A., Chuah, T. G., Talib, R. A. (2009). Modelling of rheological behaviour of pummelo juice concentrates using master-curve. *Journal of Food Engineering*, 93(2), 134-140.
- Chivero, P., Gohtani, S., Yoshii, H., Nakamura, A. (2015). Effect of xanthan and guar gums on the formation and stability of soy soluble polysaccharide oil-in-water emulsions. *Food Research International*, 70, 7-14.
- Choi, S., Chung, M. (2003). A review on the relationship between Aloe vera components and their biologic effects. *Seminars in Integrative Medicine*, 1, 53-62.

Chun-Hui, L., Chang-Hai, W., Zhi-Liang, X., Yi, W. (2007). Isolation, chemical characterization and antioxidant activities of two polysaccharides from the gel and the skin of *Aloe barbadensis* Miller irrigated with sea water. *Process Biochemistry*, 42, 961-970.

Croak, S., Corredig, M. (2006). The role of pectin in orange juice stabilization: Effect of pectin methylesterase and pectinase activity on the size of cloud particles. *Food Hydrocolloids*, 20, 961-965.

Davis, K., Philpott, S., Kumar, D., Mendall, M. (2006). Randomised double-blind placebocontrolled trial of *Aloe vera* for irritable bowel syndrome. *International Journal of Clinical Practice*, 60, 1080-1086.

Domínguez, F. R., Arzate, V. I., Chanona, P. J., Welti, C. J., Alvarado, G. J., Calderón, D. G., Garibay, F. V., Gutiérrez, L. G. (2012). El gel de aloe vera: estructura, composición, química, procesamiento, actividad biológica e importancia en la industria farmacéutica y alimentaria. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 11(1), 23-43.

Do-Sang, L., Ryu, I., Kap-Sang, L., Yang-See, S., Seung-Ho, C. (1999). Optimisation in the preparation of aloe vinegar by *Acetobacter sp.* and inhibitory effect against lipase activity. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*, 42(2), 105-110.

Drago, S. M., López, L. M., Sainz, E. T. (2006). Componentes bioactivos de alimentos funcionales de origen vegetal. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 37(4), 58-68.

Duque, A., Giraldo, G., Quintero, V. (2011). Caracterización de la fruta, pulpa y concentrado de uchuva (*Physalis peruviana L.*). *Temas agrarios*, 16(1), 75-83.

Elbandy, M. A., Abed, S. M., Gad, S. A., Abdel-Fadeel, M. G. (2014). Aloe vera gel as a functional ingredient and natural preservative in mango nectar. *World Journal of Dairy & Food Sciences*, 9(2), 191-203.

Eshun, K., He, Q. (2004) Aloe vera: A valuable ingredient for the food, pharmaceutical and cosmetic industries. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44(2), 91-96.

Farfán, D., Zambrano, Mayra. Plan de negocio para comercializar tomate de árbol desde Ecuador hacia los Estados Unidos de Norte América. Ecuador, 2010, 94 p. Trabajo de grado (Ingeniero en Comercio Exterior y Negocios Internacionales). Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Facultad de Comercio y Negocios Internacionales.

Fasolin, L., Cunha, R. (2012). Soursop juice stabilized with soy fractions: A rheological approach. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 32(2), 558-567.

Fayyaz, A., Sani, M. A., Arian, A. F. (2014). The effect of some hydrocolloids on inhabitation of serum separation of doogh. *DAMA International*, 3(2), 259-266.

Ferrer, L. B., Dalmau, S. J. (2001). Alimentos funcionales: probióticos. *Acta Pediátrica Española*, 59, 150-155.

García, M., García, H. Manejo cosecha y postcosecha de mora, lulo y tomate de árbol. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. Corpoica: Bogotá, 2001, 102 p.

García-Muñoz, María. Manual de manejo cosecha y postcosecha del tomate de árbol. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. Bogotá: Corpoica, 2008, 98 p.

Garriga, A. M. Reología de espesantes celulósicos para pinturas al agua: Modelación y mecanismo de espesamiento asociativo. Barcelona, 2002, 76 p. Tesis doctoral. Universidad de Barcelona. Departamento de Ingeniería Química.

Genovese, D., Elustondo, M., Lozano, J. (1997). Color and cloud stabilization in cloudy apple juice by steam heating during crushing. *Journal of Food Science*, 62, 1171-1175.

Genovese, D., Lozano, J., Rao, M. (2007). The rheology of colloidal and noncolloidal food dispersions. *Journal of Food Science*, 72(2), 11-20.

Genovese, D., Lozano, J. (2001). The effect of hydrocolloids on the stability and viscosity of cloudy apple juices. *Food Hydrocolloids*, 15, 1-7.

Giupponi, G., y Pagonabarraga, I. (2011). Determination of the zeta potential for highly charged colloidal suspensions. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 369, 2546-2554.

Goula, A. M., Adamopoulos, K. G. (2011). Rheological models of kiwifruit juice for processing applications. *Food Processing & Technology*, 2(1), 106-113.

Gratão, A, Silveira Jr., Telis, R. J. (2007). Laminar flow of soursop juice through concentric annuli: friction factors and rheology. *Journal of Food Engineering*, 78 (4), 1343-1354.

Guerrero, S. N., Alzamora, S. M. (1998). Effect of pH, temperature and glucose addition on flow behavior of fruit purees: II. Peach, papaya, and mango purees. *Journal of Food Engineering*, 33, 239-256.

Habeeb, F., Shakir, E., Bradbury, F., Cameron, P., Taravati, M. R., Drummond, A. J., Gray, A. I., Ferro, V. A. (2007). Screening methods used to determine the anti-microbial properties of *Aloe vera* inner gel. *Methods*, 42, 315-320.

Hamman, J. H. (2008). Composition and applications of *Aloe vera* leaf gel. *Molecules*, 13, 1599-1616.

Hu, Q., Hu, Y., Xu, J. (2005). Free radical-scavenging activity of *Aloe vera* (*Aloe barbadensis* Miller) extracts by supercritical carbon dioxide extraction. *Food Chemistry*, 91, 85-90.

Ibrahim, G., Hassan, I., Abd-Elrashid, A., El-Massry, K., Eh-Ghorab, A., Ramadan, M., Osman, F. (2011). Effect of clouding agents on the quality of apple juice during storage. *Food Hydrocolloids*, 25(1), 91-97.

Im, S. A., Oh, S. T., Song, S., Kim, M. R., Woo, S. S., Jo, T. H., Park, Y. I., Lee, C. K. (2005). Identification of optimal molecular size of modified *Aloe* polysaccharides with maximum immunomodulatory activity. *International Immunopharmacology*, 5, 271-279.

Jayme, M. L., Dunstan, D. E., Gee, M. L. (2009). Zeta potential of gum arabic stabilized oil-in-water emulsions. *Food Hydrocolloids*, 13(6), 459-465.

Jibaja-Mera, Hugo. Modelado de la cinética de absorción de aceite durante el proceso de fritura al vacío de hojuelas de tomate de árbol (*Solanum betaceum*). Quito, 2010, 148p. Trabajo de Grado (Ingeniero Agroindustrial). Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería y Química.

Juárez, I., M. Presente y futuro de los alimentos funcionales. En: Juárez, I. M., Perote, A., A. Alimentos saludables y de diseño específico: Alimentos funcionales. Madrid, España: IMC S.A., 2010. p. 30-45.

Kubo, M., Augusto, P., Cristianini, M. (2013). Effect of high-pressure homogenization (HPH) on the physical stability of tomato juice. *Food Research International*, 51, 170-179.

Kaya, A., Sözer, N., (2005). Rheological behaviour of sour pomegranate juice concentrates (*Punica granatum*). *International Journal of Food Science & Technology*, 40 (2), 223-227.

Keshtkaran, M., Mohammadifar, M. A., Asadi, G. A., Nejad, R. A., Balaghi, S. (2013). Effect of gum tragacanth on rheological and physical properties of a flavored milk drink made with date syrup. *Journal of Dairy Science*, 96(8), 4794-4803.

Khoshgozaran, A. S., Hossein, A. M., Hamidy, Z., Bagheripoor, F. N. (2012). Mechanical, physicochemical and color properties of chitosan based-films as a function of aloe vera gel incorporation. *Carbohydrate Polymers*, 87, 2058-2062.

Kim, K., Kim, H., Kwon, J., Lee, S., Kong, H., Im, S., Lee, Y., Oh, S., Jo, T., Park, Y., Lee, C., Kim, K. (2009). Hypoglycemic and hypolipidemic effects of processed *Aloe vera* gel in a mouse model of non-insulin-dependent diabetes mellitus. *Phytomedicine*, 16, 856-863.

Kou, M., Yen, J., Hong, J., Wang, C., Lin, C., Wu, M. (2009). *Cyphomandra betacea* Sendt. phenolics protect LDL from oxidation and PC12 cells from oxidative stress. *LWT – Food Science and Technology*, 42, 458-463.

Kumar, S., Kumar, P. (2015). Rheological modeling of non-depectinized beetroot juice concentrates. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 1, 1-8.

Lagos-Santander, Liz. Evaluación del potencial genético de algunos parentales de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Cav. Sendt) a partir de un dialélico parcial circulante. Palmira, 2012, 79 p. Trabajo de grado (Magister en Ciencias Agrarias). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias.

Langmead, L., Makins, R. J., Rampton, D. S. (2004). Anti-inflammatory effects of Aloe vera gel in human colorectal mucosa in vitro. *Alimentary Pharmacology and Therapeutics*, 19, 521-527.

Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Belc, N., & Biliaderis, C. G. (2007). Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering*, 79(3), 1033-1047.

Lee, J., Hand, H. (1997). Characteristics of aloe vera suspended liquid yoghurt inoculated with *Lactobacillus Casei* YIT 9018. *Korean Journal of Animal Science*, 39, 93-100.

- Lee, M., Lee, O. Yoon, S. (1998). In vitro angiogenic activity of aloe vera gel on calf pulmonary artery endothelial (CAPE) cells. *Archives Pharmacal Research* 21, 260-265.
- León, J., Viteri, P., Cevallos, G. Manual de cultivo de tomate de árbol. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Ecuador: INIAP, 2004, 70p.
- Li, J. M., Nie, S. P. (2015). The functional and nutritional aspects of hydrocolloids in foods. *Food Hydrocolloids*, In Press, 1-16.
- Liang, C., Hu., X., Ni, Y., Wu., J., Chen, F., Liao, X. (2006). Effect of hydrocolloids on pulp sediment, white sediment, turbidity and viscosity of reconstituted carrot juice. *Food Hydrocolloids*, 20, 1190-1197.
- Lucas, K., Maggi, J., Yagual, M. Creación de una empresa de producción, comercialización y exportación de tomate de árbol en el área de Sangolquí, Provincia de Pichincha. Guayaquil, 2011, 140 p. Trabajo de grado (Ingeniera Comercial y Empresarial). Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Economía y Negocios.
- Lutz, R. M. (2012). ¿Podemos hablar de alimentos funcionales en Chile? *Revista Chilena Nutrición*, 39(2), 211-216.
- Ly, M.H., Aguedo, M., Goudot, S., Le, M. L., Cayot, P., Teixeira, J. A., Le, T. M., Belin, J. M., Wache, Y. (2008). Interactions between bacterial surfaces and milk proteins, impact on food emulsions stability. *Food Hydrocolloids*, 22, 742-751.
- Ma, Z., Boye, J. I., Fortin, J., Simpson, B. K., Prasher, S. O. (2013). Rheological, physical stability, microstructural and sensory properties of salad dressings supplemented with raw and thermally treated lentil flours. *Journal of Food Engineering*, 116, 862-872.
- Márquez, C., Otero, C., Cortes, M. (2007). Cambios fisiológicos, texturales, fisicoquímicos y micro-estructurales del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* S.) en postcosecha. *Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*, 14(2), 9-16.
- Martín, D. A., Rico, D., Barat, J. M., Barry, R. C. (2009). Orange juices enriched with chitosan: Optimisation for extending the shelf-life. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 10, 590-600.
- Meng, Y., Rao, M. (2005). Rheological and structural properties of cold-water-swelling and heated cross-linked waxy maize starch dispersions prepared in apple juice and water. *Carbohydrate Polymers*, 60(3), 291-300.
- Mewis, J., Wagner, N. Introduction to colloid science and rheology. In: Mewis, J., Wagner, N. Colloidal Suspension Rheology. Cambridge: Cambridge University Press, 2012, p. 1-34.
- Meza, N., Manzano-Méndez, J. (2009). Características del fruto de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* [Cav.] Sendtn) basadas en la coloración del arilo, en la Zona Andina Venezolana. *Revista UDO Agrícola*, 9(2), 289-294.
- Mezger, T. G. (2006). The rheology handbook. Second Edition. Hannover, Germany: Vincentz Network, 300p.

Milani, J., Maleki, G. (2012). Hydrocolloids in food industry. In Valdez, B. Food industrial processes e Methods and equipment. Croatia: In Tech, 2012, p. 17-38.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Evaluaciones Agropecuarias Municipales (MADR-EVA). Bogotá: MADR, 2015, 181 p.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Sistema de Estadísticas Agropecuarias – SEA. Anuario Estadístico de Frutas y Hortalizas, 1992-2013. Bogotá: MADR, 2013, 304 p.

Mirhosseini, H., Ping, T. C. (2010). Effect of various hydrocolloids on physicochemical characteristics of orange beverage emulsion. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 8(2), 308-313.

Moelants, K. R. N., Cardinaels, R., Jolie, R. P., Verrijssen, T. A. J., Van Buggenhout, S., Zumalacarregui, L. M., Van Loey, A. M., Moldenaers, P., Hendrickx, M. E. (2013). Relation between particle properties and rheological characteristics of carrot-derived suspensions. *Food Bioprocess Technology*, 6(5):1127–1143.

Moraes, I. C., Fasolin, L., Cunha, R., Menegalli, F. (2011). Dynamic and steady-shear rheological properties of xanthan and guar gums dispersed in yellow passion fruit pulp (*Passiflora edulis flavicarpa*). *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 28(3), 483 – 494.

Mueller, S., Llewellyn, E. W., Y Mader, H. M. (2010). The rheology of suspensions of solid particles. *Proceedings Real Society A.*, 466, 1201-1228.

Nascimento, G., Hammb, L., Baggio, C., De Paula, M., Lacomini, M., Cordeiro, L. (2013). Structure of a galactoarabinoglucuronoxylan from tamarillo (*Solanum betaceum*), a tropical exotic fruit, and its biological activity. *Food Chemistry*, 141, 510-516.

Nindo, C. I., Tanga, J., Powers, J. R., Takhar, P. S. (2005). Rheological properties of blueberry puree for processing applications. *LWT*, 40, 292-299.

Nuñez, S., Scrofani, L. Determinación de la eficiencia del proceso de deshidratación mediante el uso del método Demcom en un crudo mediano. Puerto la Cruz, 2011, 80 p. Trabajo de grado (Ingeniero de Petróleo). Universidad de Oriente. Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas.

Nwaokoro. O, G., Akanbi, C. T. (2015). Effect of the addition of hydrocolloids to tomato-carrot juice blend. *Journal of Nutritional Health & Food Science*, 3(1), 1-10.

Ordoñez, R., Cardozo, M., Zampini, I., Isla, M. (2010). Evaluation of antioxidant activity and genotoxicity of alcoholic and aqueous beverages and pomace derived from ripe fruits of *Cyphomandra betacea* Sendt. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 58, 331-337.

Osorio, C., Hurtado, N., Dawid, C., Hofmann, T., Heredia, F., Morales, A. (2012). Chemical characterisation of anthocyanins in tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.) and Andes berry (*Rubus glaucus* Benth.) fruits. *Food Chemistry*, 132, 1915-1921.

Pabst, W. (2004). Fundamental considerations on suspension rheology. *Journal Ceramics Silikáty*, 48, 6-13.

- Paquet, E., Alexandra, A., Lemieux, S., Turgeon, S. (2014). Effects of apple juice-based beverages enriched with dietary fibres and xanthan gum on the glycemic response and appetite sensations in healthy men. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 4, 39–47.
- Pegg, M. A. (2012). The application of natural hydrocolloids to foods and beverages. In: Baines, D., Seal, R. Natural food additives, ingredients and flavourings. Cambridge, UK: Woodhead Publishing Limited, 2012, 455 p.
- Pérez, P., Rocío. Aplicación de microondas en el tratamiento de emulsiones del tipo agua en aceite (w/o) y aceite en agua(o/w). Valencia: España, 2009, 290 p. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Comunicaciones.
- Phillips, R. J. (2010). Structural instability in the sedimentation of particulate suspensions through viscoelastic fluids. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 165, 479–488.
- Pogribna, M., Freeman, J.P., Paine, D., Boudreau M.D. (2008). Effect of Aloe vera whole leaf extract on short chain fatty acids production by *Bacteroides fragilis*, *Bifidobacterium infantis* and *Eubacterium limosum*. *Letters in Applied Microbiology*, 46, 575-580.
- Prabjone, R., Thong-Ngam, D., Wisedopas, N., Chatsuwan, T., Patumraj, S. (2006). Anti-inflammatory effects of *Aloe vera* on leukocyte-endothelium interaction in the gastric microcirculation of Helicobacter pylori-infected rats. *Clinical Hemorheology and Microcirculation*, 35, 359-366.
- Pugh, N., Ross, S. A., ElSohly, M. A., Pasco, D. S. (2001). Characterization of aloride, a new high molecular weight polysaccharide from *Aloe vera* with potent immunostimulatory activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49, 1030-1034.
- Quek, M. C, Chin, N. L., Yusof, Y. A (2013). Modelling of rheological behaviour of soursop juice concentrates using shear rate–temperature–concentration superposition. *Journal of Food Engineering*, 118(4), 380-386.
- Raeuber, H., Nikolaus, H. (1980). Structure of foods. *Journal of Texture Studies*, 11, 187-198.
- Rajasekaran, S., Ravi, K., Sivagnanam, K., Subramanian, S. (2006). Beneficial effects of Aloe vera leaf gel extract on lipid profile status in rats with streptozotocin diabetes. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, 33, 232-237.
- Ramírez, Q. J., Aristizábal, T. I., Restrepo F. J. (2013). Conservación de mora de castilla mediante la aplicación de un recubrimiento comestible de gel de mucílago de penca de sábila. *Vitae*, 20(3), 172-183.
- Rao, M. A. Rheology of Fluid and Semisolid Foods: Principles and Applications. Second Edition. Geneva, NY, USA: Springer, 2006, 481p.
- Restrepo, F. I. Conservación de fresa (*Fragaria x ananassa Duch* cv. Camarosa) mediante la aplicación de recubrimientos comestibles de gel de mucílago de penca de sábila (*Aloe barbadensis* Miller). Medellín, 2009, 83p. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Ingeniería Agrícola y de Alimentos.

Rivero, R., Rodríguez, E., Menéndez, R., Fernández, J., Del Barrio, G., González, M. (2002). Obtención y caracterización preliminar de un extracto de Aloe vera L. con actividad antiviral. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 7, 32-38.

Sagñay-Tanqueño, Mónica. Estudio comparativo del potencial nutritivo de dos variedades de tomate de árbol (*Solanum betaceum Cav.*) deshidratado por microondas a tres potencias. Riobamba, 2010, 120 p. Trabajo de Grado (Bioquímico Farmacéutico). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias.

Saha, D., Bhattacharya, S. (2010). Hydrocolloids as thickening and gelling agents in food: A critical review. *Journal of Food Science and Technology*, 47(6), 587-597.

Sahin, H., Ozdemir, F. (2007). Effect of some hydrocolloids on the serum separation of different formulated ketchups. *Journal of Food Engineering*, 81, 437-446.

Salinas, G., y Fuentes, F. (2012). Evaluación experimental del comportamiento de la velocidad de sedimentación de partículas. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 11(20), 239-250.

Schramm, L. L. Emulsions, Foams, and Suspensions: Fundamentals and Applications. In: Schramm, L. L. Colloid Stability. Weinheim: Wiley-VCH, 2005, p. 117-152.

Shamsudin, R., Chia, S. L, Mohd, A. N., Wan, D. W. (2013). Rheological properties of ultraviolet-irradiated and thermally pasteurized Yankee pineapple juice. *Journal of Food Engineering*, 116(2), 548-553.

Sherafati, M., Kalbasi-ashtari, A., Ali-Mousavi, S. M. (2013). Effects of low and high acyl gellan gums on engineering properties of carrot juice. *Journal of Food Process Engineering*, 36(4), 418-427.

Sierra, G. A. Desarrollo de un prototipo de bebida de sábila (*Aloe vera barbadensis Miller*) y naranja. Zamorano, 2002, 55 p. Tesis de pregrado (Ingeniero Agrónomo). Escuela Agrícola Panamericano (Zamorano). Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria.

Sigrid, S. M., Vidal, B. D. (2011). Functional foods enriched in Aloe vera. Effects of vacuum impregnation and temperature on the respiration rate and the respiratory quotient of some vegetables. *Procedia Food Science*, 1, 1528-1533.

Singh, A., Singh, A. K. (2009) Optimization of processing variables for the preparation of herbal bread using Aloe vera gel. *Journal of Food Science and Technology*, 46(4), 335-338.

Song, K. W., Kuk, H. K., Chang, G. S. (2006). Rheology of concentrated xanthan gum solutions: Oscillatory shear flow behavior. *Korea-Australia Rheology Journal*, 18(2), 67-81.

Stading, M. (2011). Food rheology. *Rheology*, 1(2), 1-8.

Steenkamp, V., Stewart, M. J. (2007). Medicinal applications and toxicological activities of Aloe products. *Pharmaceutical Biology*, 45, 411-420.

Steffe, J. F. *Rheological Methods in Food Process Engineering*. Second Edition. Michigan, USA: Freeman Press, 1996, p. 418.

Stokes, J., Boehm, M., Stefan, B. (2013). Oral processing, texture and mouthfeel: From rheology to tribology and beyond. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 18 (2013), 349-359.

Strickland, F. M. (2001). Immune regulation by polysaccharides: implications for skin cancer. *Journal of Photochemistry and Photobiology*, 63, 132-140.

Suvitayavat, W. C., Sumrongkit C., Thirawarapan, S. y Bunyaphrathatsara, N., (2004). Effects of Aloe preparation on the histamine-induced gastric secretion in rats. *Journal of Ethnopharmacology*, 90, 239-247.

Thompson, D., Harvey, A., Kazmi, M. y Stout, J. (1991). Fibrinolysis and angiogenesis in wound healing. *Journal of Pathology*, 165, 311-318.

Torres, J. A., Tello, M. E., y Ostos, S. (2008). Desarrollo y optimización de una metodología analítica para la determinación de sedimento en bebida de mesa derivada del cacao. *Revista Colombiana de Ciencias Químico Farmacéuticas*, 37(2), 177-190.

Urquijo, Jeaneth. Síntesis de nanopartículas magnéticas y su implementación como ferrofluidos. Medellín, 2007, 79 p. Trabajo de grado (Magister en Ciencias Químicas). Universidad de Antioquia. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.

Vandresen, S., Quadri, M. G., de Souza, J. A., Hotza, D. (2009). Temperature effect on the rheological behavior of carrot juices. *Journal of Food Engineering*, 92(3), 269-274.

Wei, L., Chun-Cheng, Y., Hua-Feng, Z., Ru-Gang, Y. (2004) Preparation of aloe-herbs health beverage. *Food Science China*, 25(6), 207-209.

Williams, P. A., Phillips, G. O. Introduction to food hydrocolloids. In: Handbook of hydrocolloids. Florida, USA: CRC Press, 2009, 924p.

Yasar, Y., Togrul, H., Arslan, N. (2007). Flow properties of cellulose and carboxymethyl cellulose from orange peel. *Journal of Food Engineering*, 81, 187-199.

Yulianingsih, R., Maharani, D. M., Hawa, L. C., Sholikhah, L. (2013). Physical quality observation of edible coating made from aloe vera on cantaloupe (*Cucumis melo* L.) minimally processed. *Pakistan Journal of Nutrition*, 12(9), 800-805.

Yusuf, S., Agunu, A., Diana, M. (2004). The effect of *Aloe vera* A. Berger (*Liliaceae*) on gastric acid secretion and acute gastric mucosa injury in rats. *Journal of Ethnopharmacology*, 93, 33-37.

Zheng, W. y Wang, S. Y. (2001). Antioxidant activity and phenolic compounds in selected herbs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49, 5165-5170.

Zhong, Q., y Daubert, C. R. Food Rheology. In: Kutz, M. Handbook of Farm and Food Machinery. Norwich, New York: William Andrew Publishing, 2007. p. 391-414.