



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO**

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**“DESARROLLO Y APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS  
PARA LA CONSERVACIÓN DE LAS  
PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DE UNA BEBIDA DE  
MANGO TIPO SMOOTHIE”**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
**INGENIERO QUÍMICO EN ALIMENTOS**

PRESENTA

**ANA CAROLINA SÁNCHEZ RANGEL**

DIRGIDA POR

**Dra. SILVIA AMAYA LLANO**

CODIRIGIDA POR

**Dr. GONZALO VELÁZQUEZ DE LA CRUZ**

SANTIAGO DE QUERÉTARO, QUERÉTARO, 2014.



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO**

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**“DESARROLLO Y APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS  
PARA LA CONSERVACIÓN DE LAS PROPIEDADES  
FISICOQUÍMICAS DE UNA BEBIDA DE MANGO TIPO  
SMOOTHIE”**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO QUÍMICO EN ALIMENTOS**

**PRESENTA  
ANA CAROLINA SÁNCHEZ RANGEL**

**DIRGIDA POR  
Dra. SILVIA AMAYA LLANO**

**SINODALES**

**Dra. SILVIA LORENA AMAYA LLANO**  
DIRECTOR

---

**Dr. GONZALO VELÁZQUEZ DE LA CRUZ**  
CODIRECTOR

---

**Dr. EDUARDO CASTAÑO TOSTADO**  
SINODAL

---

**Dr. CARLOS REGALADO GONZÁLEZ**  
SINODAL

---

## ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
ÍNDICE GENERAL	I
ÍNDICE DE CUADROS	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
RESUMEN	
1. ANTECEDENTES	1
1.1 Panorama del mercado de bebidas	1
1.2 Generalidades del mango	3
1.2.1 Caracterización del mango	3
1.2.2 Características nutricionales del mango	3
1.2.3 Variedades de mango	5
1.3 Producción de mango en México	6
1.4 Puré de mango	8
1.5 Tecnologías para la conservación de puré de mango	9
1.5.1 Pasteurización	9
1.5.1.1 Efecto del calor en atributos sensorial y nutricional	10
1.5.2 Altas presiones hidrostáticas	11
1.5.3 Calentamiento óhmico	12
2. HIPÓTESIS	15
3. OBJETIVOS	16
3.1 General	16
3.2 Específicos	16
4. METODOLOGÍA	17
4.1 Materiales	17
4.1.1 Material biológico	17
4.2 Métodos	17
4.2.1 Color	17

4.2.2 Acidez titulable	17
4.2.3 Ácido ascórbico	18
4.2.4 Conductividad eléctrica	18
4.2.5 Viscosidad	19
4.2.6 pH	19
4.2.7 Sólidos totales	19
4.2.8 Sólidos solubles totales	19
4.2.9 Análisis sensorial	19
4.3 Diseño experimental	20
4.3.1 Selección de frutos, obtención y manejo de pulpas	20
4.3.2 Diseño de formulaciones	21
4.3.3 Tratamientos aplicados a la bebida.	24
4.3.3.1 Tratamientos de APH	24
4.3.3.2 Tratamientos térmicos de pasteurización	26
4.3.3.3 Tratamiento de pasteurización por calentamiento óhmico	26
4.3.4 Toma de muestras durante el periodo de almacenamiento	26
4.3.5 Análisis de resultados	26
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
5.1 Caracterización de pulpas de mango y bebidas comerciales	27
5.2 Producción de lotes para el análisis de vida de útil	29
5.3 Efecto de tratamientos aplicados	32
5.3.1 Efecto de tratamiento térmico convencional (TC)	32
5.3.1.1 Cambios en pH de bebidas tipo smoothie tratadas por TC durante almacenamiento	32
5.3.1.2 Cambios en sólidos solubles de bebidas tipo smoothie tratadas por TC durante almacenamiento	33
5.3.1.3 Cambios en porcentaje de acidez de bebidas tipo smoothie tratadas por TC durante almacenamiento	34
5.3.1.4 Cambios en ácido ascórbico de bebidas tipo smoothie tratada por TC durante almacenamiento	35

5.3.1.5 Cambios en porcentaje de sólidos totales de bebidas tipo smoothie tratada por TC durante almacenamiento	37
5.3.1.6 Cambios en viscosidad de bebidas tipo smoothie tratada por TC durante almacenamiento	37
5.3.1.7 Cambios en color de bebidas tipo smoothie tratada por TC durante almacenamiento	38
5.3.2 Efecto de tratamiento térmico por calentamiento óhmico (TCO)	41
5.3.2.1 Cambios en pH de bebidas tipo smoothie tratadas por TCO durante almacenamiento	41
5.3.2.2 Cambios en sólidos solubles de bebidas tipo smoothie tratadas por TCO durante almacenamiento	42
5.3.2.3 Cambios en porcentaje de acidez de bebidas tipo smoothie tratadas por TCO durante almacenamiento	43
5.3.2.4 Cambios en ácido ascórbico de bebidas tipo smoothie tratada por TCO durante almacenamiento	43
5.3.2.5 Cambios en porcentaje de sólidos totales de bebidas tipo smoothie tratada por TCO durante almacenamiento	44
5.3.2.6 Cambios en viscosidad de bebidas tipo smoothie tratada por TCO durante almacenamiento	45
5.3.2.7 Cambios en conductividad de bebidas tipo smoothie tratadas por TCO durante almacenamiento	46
5.3.2.8 Cambios en color de bebidas tipo smoothie tratada por TCO durante almacenamiento	47
5.3.3 Efecto de tratamiento altas presiones hidrostáticas (APH)	49
5.3.3.1 Cambios en pH de bebidas tipo smoothie tratadas por APH durante almacenamiento	49
5.3.3.2 Cambios en sólidos solubles de bebidas tipo smoothie tratadas por APH durante almacenamiento	50
5.3.3.3 Cambios en porcentaje de acidez de bebidas tipo smoothie tratadas por APH durante almacenamiento	52

5.3.3.4 Cambios en ácido ascórbico de bebidas tipo smoothie tratada por APH durante almacenamiento	53
5.3.3.5 Cambios en porcentaje de sólidos totales de bebidas tipo smoothie tratada por APH durante almacenamiento	55
5.3.3.6 Cambios en viscosidad de bebidas tipo smoothie tratada por APH durante almacenamiento	56
5.3.3.7 Cambios en color de bebidas tipo smoothie tratada por APH durante almacenamiento	58
6. CONCLUSIONES	62
7. REFERENCIAS	63
ANEXOS	

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1 Valor nutricional del mango en base a 100 g.	4
2 Distribución en el cultivo de mango en México.	7
3 Diseño de mezclas en base al 35 % de pulpa total.	23
4 Diseño de mezclas en base al 45 % de pulpa total.	23
5 Tratamientos APH en las bebidas tipo smoothie.	24
6 Caracterización fisicoquímica de tres variedades de mango y dos bebidas comerciales.	28
7 Formulaciones seleccionadas para el procesamiento.	30
8 Distribución de formulaciones por condiciones de tratamiento.	31

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página	
1	Esquema general de obtención de la pulpa de mango y elaboración de la bebida tipo smoothie (TC: tratamiento convencional, TCO: tratamiento calentamiento óhmico, APH: altas presiones hidrostáticas).	22
2	Diseño experimental de la bebida tipo smoothie.	25
3	Bebidas comerciales marca Hola y Bolthouse Farms.	27
4	Variedades de mango utilizadas para las formulaciones.	27
5	Efecto de TC (72 °C/15 s) sobre el pH.	32
6	Efecto de TC sobre el contenido de sólidos solubles.	34
7	Efecto de TC sobre el porcentaje de acidez.	35
8	Efecto de TC sobre el contenido de ácido ascórbico.	36
9	Efecto de TC sobre el porcentaje de ST.	37
10	Efecto de TC sobre la viscosidad.	38
11	Efecto de TC sobre los parámetros de color.	40
12	Efecto de TCO (72 °C/15 s) sobre el pH.	41
13	Efecto de TCO sobre el contenido de sólidos solubles.	42
14	Efecto de TCO sobre el porcentaje de acidez.	43
15	Efecto de TCO sobre el contenido de ácido ascórbico.	44
16	Efecto de TCO sobre el porcentaje de ST.	45
17	Efecto de TCO sobre la viscosidad.	45
18	Efecto de TCO sobre la conductividad eléctrica.	46
19	Efecto de TCO sobre los parámetros de color.	48
20	Efecto de APH sobre el pH.	50
21	Efecto de APH sobre el contenido de sólidos solubles: a)S1, b)S2 y c)S3.	51
22	Efecto de APH sobre el porcentaje de acidez: a)S1, b)S2 y c)S3.	52
23	Efecto de APH sobre el contenido de ácido ascórbico.	54
24	Efecto de APH sobre el porcentaje de ST.	56
25	Efecto de APH sobre la viscosidad.	57



26	Apariencia de las formulaciones S1, S2 y S3 al inicio del estudio.	59
27	Efecto de APH sobre los parámetros de color.	60

## RESUMEN

En la búsqueda de incrementar el valor agregado en los productos agrícolas, la alternativa de elaboración de bebidas a base de frutas naturales, como es el caso de los jugos tipo “smoothies”, resulta muy atractiva tanto para los productores como para el consumidor, ya que actualmente existe un incremento acelerado en la tendencia de consumo de alimentos naturales y la búsqueda de un estilo de vida saludable. El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto sobre las propiedades fisicoquímicas de una bebida de mango tipo smoothie como consecuencia de alternativas en su procesamiento así como de su formulación. Se utilizaron frutos de mango de las variedades Haden, Ataulfo y Manila para la obtención de la pulpa y se desarrollaron tres formulaciones (en base a porcentaje de pulpa y porcentaje de variedad) a las cuales se aplicaron tres tratamientos (térmicos y no térmicos): pasteurización o tratamiento convencional TC (72 °C/15 s), calentamiento óhmico TCO (72 °C/15 s) y altas presiones hidrostáticas APH (R1 450 MPa/15 s, R2 500 MPa/90 s y R3 600 MPa/180 s a 15 °C), también se incluyeron muestras sin tratamiento (controles). Todas las muestras fueron monitoreadas durante 50 días a 4 °C. El pH, °Brix y porcentaje de acidez se conservaron sin cambios durante el almacenamiento, sin embargo la viscosidad y el contenido de sólidos totales no mostraron una tendencia clara. El color no mostró diferencias entre los tratamientos utilizados. El ácido ascórbico es uno de los componentes nutricionales más importantes de la fruta y es susceptible a degradación durante el almacenamiento. Las muestras tratadas por APH observaron una degradación gradual de este ácido a través del tiempo, mientras que los resultados obtenidos para las muestras tratadas por TC y TCO no mostraron una tendencia clara; por tanto no permiten evaluar correctamente el efecto que tiene cada tratamiento sobre este parámetro. Es necesaria más investigación que permita dilucidar el efecto de APH y calentamiento óhmico sobre las propiedades fisicoquímicas de alimentos particulados, así como determinar las condiciones más favorables para la conservación de las propiedades organolépticas y nutricionales.

## 1. ANTECEDENTES

### 1.1 Panorama del mercado de bebidas

Actualmente se ha observado un incremento acelerado en la tendencia de consumo de alimentos naturales y mayor interés por un estilo de vida saludable. En la búsqueda de incrementar el valor agregado a los productos agrícolas, la alternativa de elaboración de bebidas a base de frutas naturales, como es el caso de los jugos tipo “Smoothies” resulta muy interesante y atractiva.

El smoothie nació en California en la década de 1930, y se hizo popular en Estados Unidos a finales de 1960, cuando se inició un *boom* a favor de la alimentación sana, del vegetarianismo y de la alimentación macrobiótica (Hernández Garnica, 2009).

Un smoothie, puré o licuado, es una forma espesa de verduras cocidas, frutas, etc., molidas, prensados, mezclados y/o tamizados hasta lograr una consistencia espesa. Es un alimento agradable y listo para comer, ahorra el tiempo de lavado, pelado, corte y deshuesado necesario para preparar un batido a base de fruta (Baiano y col., 2012).

El mercado de smoothies está creciendo rápidamente con más del 250 % año tras año según ORAFTI Active Food Ingredients, los smoothies sólo tienen como base la fruta, aunque también es común que contengan leche y/o yogurt (Wouters, 2006). En 2010, Global Industry Analysts, anunció que el mercado mundial se proyecta a alcanzar \$ 9 mil millones para 2015 ([www.prwb.com](http://www.prwb.com)).

Durante los últimos 20 años, ha habido un aumento importante de obesidad en Estados Unidos, más de un tercio de la población adulta (35,7 %) y alrededor del 17 % de niños y adolescentes entre 2-19 años, según lo reportado por Center for Disease Control and Prevention & NCHS (Ogden y col., 2009-2010).

En México, los indicadores de salud pública avalan los altos grados de obesidad, nuestro país es el primer lugar mundial en niños con obesidad y sobrepeso, y el segundo en adultos. Se registra que el 72 % y 66 % de mujeres y hombres

respectivamente mayores de 20 años presentan sobrepeso u obesidad y un 26 % en niños de edad escolar (Olaiz-Fernández y col. 2006). Un estudio reciente refiere que las mujeres mexicanas de 20 a 49 años con sobrepeso y obesidad, pasaron del 34.5 % en 1988 a 69.3 % en el año 2006; mientras que en las adolescentes de 12 a 19 años subió de 28.5 % en 1999 a 32.5 % en 2006 (Hernández Garnica, 2009).

México gasta 7 % del presupuesto destinado a salud para atender la obesidad, solo debajo de Estados Unidos que invierte el 9 % (Olaiz-Fernández y col. 2006). Debido a esto se promueve el consumo de dos y media tazas de frutas y vegetales por día tal como señala la U.S. Dietary Guidelines (Vilsack y Sebelius, 2010); la ingesta de estos alimentos está asociada con la reducción del riesgo de enfermedades cardiovasculares, así como el efecto protector contra ciertos tipos de cáncer. Como resultado de los perjudiciales hábitos de consumo y el aumento de obesidad en la población de Estados Unidos, se ha incrementado el consumo de las bebidas tipo smoothie, que ofrecen una opción saludable para el consumidor y en cambio, se ha disminuido las ventas de refrescos, por lo que las cadenas de comida, restaurantes de servicio rápido y compañías de bebidas están entrando en este mercado (Research & Markets, 2007). En México, el consumo *per capita* de refrescos es de 150 litros al año, ocupa el segundo lugar en el mundo; sin embargo, se ha estabilizado y observa tasas de crecimiento de 2 % a 3 % anual, mientras el consumo de bebidas saludables como agua, té, jugos, bebidas energizantes, de soya y otras, está creciendo a tasas de dos dígitos anualmente (Hernández Garnica, 2009).

En Estados Unidos, la marca líder es Jamba Juice, seguido de TCBY Systems, Smoothie King, Orange Julius y Surf City Squeeze (Research & Markets, 2007). En México la oferta de smoothies se reduce a pocas marcas y en tiendas de autoservicio se encuentra la marca comercial HOLA smoothies, es una pequeña compañía que ofrece una combinación de frutas enteras y jugos 100 % naturales. Esta compañía está comprometida con la idea de que no se deben agregar saborizantes, conservadores y/o azúcares a las frutas, debido a que mucho de lo que comemos y tomamos está sobre-procesado (<http://www.holasmoothie.com/index.html>), sin embargo, no existe información disponible acerca de tecnologías para el desarrollo

de este tipo de productos, por lo que es necesario desarrollar investigación y probar tecnologías para la elaboración de bebidas tipo smoothie aplicando métodos que permitan ofrecer un mejor producto, mejor calidad organoléptica y nutricional. Adicionalmente estos productos representan una forma de agregar valor a la comercialización del mango para los productores en México.

## **1.2 Generalidades del mango**

### **1.2.1 Caracterización del mango**

El mango (*Mangifera indica* L.) es un producto que a nivel mundial juega un importante papel económico y social para diversas naciones, fundamentalmente para países en desarrollo. Es el tercer fruto tropical a nivel mundial, en cuanto a su producción e importación (después del plátano y la piña) y el quinto de todos los frutos que se comercializan a nivel mundial.

Se trata de un árbol frondoso de hasta 20 metros de altura, de copa redonda, siempre verde, con inflorescencia (panícula) provista de numerosas ramas, produciendo desde 550 hasta 4000 flores. El fruto es una drupa que varía en forma (redonda, ovalada, ovoide-oblonga), tamaño (hasta más de 2 Kg) y color, dependiendo de la variedad. Originario de la India, es una planta de bajas altitudes que tolera un amplio rango de lluvia, a pesar de necesitar clima seco en el tiempo en que se forma su fruto (Plan Rector Sistema Nacional Mango, 2005).

### **1.2.2 Características nutricionales del mango**

El mango es un cultivo de clima tropical y subtropical, por lo que su distribución geográfica se encuentra entre los Trópicos de Cáncer y Capricornio; para un buen desarrollo y alta producción requiere una época seca de por lo menos tres meses antes de la floración, una temperatura óptima considerada entre 24 y 27 °C y una altitud máxima de 600 metros.

De acuerdo con el reporte de Desarrollo Sostenible de México, A.C. en 2003 para la Cadena Agroalimentaria del Mango, en su mayor parte este fruto es consumido en

fresco, tanto internacional como nacionalmente, pero también puede consumirse en forma procesada, ya sea enlatado, congelado, deshidratado, etc. Desde el punto de vista del valor nutritivo, el mango es una fuente importante de vitaminas A y C, rico en calcio, magnesio, potasio y fósforo tal como se aprecia en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Valor nutricional del mango en base a 100 g.

<b>Datos nutricionales</b>	
<b>Nutriente</b>	<b>Valor por 100g</b>
Agua, g	83.46
Energía, Kcal	60
Proteína, g	0.82
Lípidos totales, g	0.38
Carbohidratos, g	14.98
Fibra dietaria total, g	1.6
Azúcares totales, g	13.66
<b>Minerales</b>	
Calcio, mg	11
Hierro, mg	0.16
Magnesio, mg	10
Fósforo, mg	14
Potasio, mg	168
Sodio, mg	1
Zinc, mg	0.09
<b>Vitaminas</b>	
Vitamina C, mg	36.4
Tiamina, mg	0.028
Riboflavina, mg	0.038
Niacina, mg	0.669
Vitamina B6, mg	0.119
Folato, mcg	43
Vitamina A, mcg	54
Vitamina E, mg	0.90
Vitamina K, mcg	4.2
<b>Lípidos</b>	
Ácidos grasos saturados, g	0.092
Ácidos grasos monoinsaturados, g	0.140
Ácidos grasos, poliinsaturados, g	0.071

Fuente: USDA/Nutrient data. 2012.

### 1.2.3 Variedades de mango

El mango tiene una gran cantidad de variedades, de las cuales en México se cultivan: Ataulfo, Haden, Tommy Atkins, Irwing, Keitt, Kent, Manila, Palmer, Sensation y Van Dyke. La distribución del mango en nuestro país, aportado por el Consejo Mexicano del Mango, se expresa en el Cuadro 2.

A través de un proceso de selección y mejoramiento en el tiempo se han obtenido variedades o cultivares con importancia mundial.

En México se cultivan y aprovechan comercialmente las siguientes (Toledo, 2003):

**Tommy Atkins:** fruto de excelente calidad, predomina el color rojo, de forma redonda y tamaño mediano (350 a 450 g.) La pulpa es jugosa con poco contenido de fibra. Cuando no se corta en su madurez óptima presenta problemas en el manejo postcosecha.

**Haden:** fruto que presenta una base de color amarillo en chapeo rojo, que lo hace muy atractivo tanto para el mercado nacional como para el de exportación. Los frutos registran un peso de 300 a 400 g. Su pulpa es jugosa con poca fibra y de buen sabor.

**Manila:** produce frutos de tamaño medio (200 a 275 g), de forma elíptica y color amarillo, con cáscara delgada, pulpa amarilla, firme, muy dulce y cuenta con un bajo contenido de fibra. Esta variedad es ampliamente aceptada en el mercado nacional tanto para consumo en fresco como industrial.

**Kent:** los frutos pesan de 500 a 700 g. La base es de color verde amarillento con chapeo rojo. Es muy susceptible a la antracnosis, debido a que la época de cosecha coincide en la temporada de lluvias.

**Keitt:** fruto grande, con un peso que varía de 600 a 800 g. La base del fruto es de color verde con chapeo rosa-rojizo. Tiene una pulpa muy dulce con escaso contenido de fibra.

**Manzanillo Núñez:** es una selección regional. Árbol vigoroso muy productivo, no alternante, se cosecha entre junio y julio. Su fruto es grande parecido al Kent. El chapeo es rojo sobre amarillo-naranja, su pulpa no tiene fibra y la semilla es pequeña. Su producción se destina preferentemente al mercado nacional.

**Ataulfo:** Su fruto ha tenido gran aceptación por su excelente calidad. Es de color amarillo, resistente al manejo y con un peso promedio que varía de 200 a 370 g. El color de la pulpa es amarillo y no tiene fibra.

**Diplomático:** sus frutos pesan entre 280 y 320 g, son de color amarillo y una base con chapeo rojo. La pulpa es dulce con algo de fibra y resistente al manejo. Tiene demanda para el mercado nacional.

**Irwin:** El color del fruto es rojizo con chapeo púrpura. El peso oscila entre 250 y 310 g, la pulpa es de color amarillo intenso, con nulo contenido de fibra y exquisito sabor. Su defecto principal es que la fruta no resiste al manejo, por lo cual no es apta para la exportación y su mercado nacional es limitado.

### **1.3 Producción de mango en México**

La producción de mango en México ocupa el tercer lugar en superficie cosechada con el 16.5 % del total nacional (detrás de la naranja y el plátano) y primer lugar en los últimos dos años en exportación. El 91 % de la superficie cultivada se localiza en los estados de Veracruz, Sinaloa, Oaxaca, Nayarit, Michoacán, Guerrero, Chiapas, Jalisco, Colima y Campeche. Para México es, además, una muy importante fuente de empleo, ingreso y generación de divisas. México abastece al mercado de Estados Unidos, primer importador mundial, principalmente de las variedades Tommy Atkins, Haden, Kent y Keitt. Brasil y Perú, competidores de México como proveedores de Estados Unidos, llegan en primer lugar con las variedades Tommy Atkins y Haden (Brasil) y Haden y Kent (Perú). Haití llega al mercado americano con las variedades Francine y Francis y Puerto Rico con Green Cooking Type y Parvin. México es el único proveedor de la variedad Ataulfo (Toledo-Manzur, 2003).

México sigue siendo el abastecedor de Estados Unidos, debido a la calidad de su producción y la proximidad geográfica. Con el objeto de mantener la calidad de los productos elaborados en nuestro país es ineludible la aplicación de tecnologías no térmicas para conservar el valor nutricional y calidad. La tecnología de campos



eléctricos pulsados y altas presiones son una alternativa para la producción de esta bebida.

Cuadro 2. Distribución en el cultivo de mango en México.

<b>TIPO</b>	<b>MESES</b>	<b>ESTADOS</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
ATAULFO	Febrero-julio	Chiapas Guerrero Oaxaca Colima Nayarit Sinaloa	Color amarillo Tipo alargado Longitud 12.5-14 cm. Anchura 5.5-6 cm. Peso 180-260 g. Contiene muy poca fibra
HADEN	Febrero-agosto	Colima Jalisco Michoacán Guerrero Nayarit Sinaloa	Color rojo/amarillo Tipo redondo Longitud 10.5-14 cm. Anchura 9-10.5 cm. Peso 510-680 g. Contiene muy poca fibra
KENT	Julio-agosto	Jalisco Michoacán Nayarit Sinaloa Colima	Color rojo/amarillo Tipo redondo Longitud 12-14 cm. Anchura 9.5-11 cm. Peso 450-700 g. Contiene muy poca fibra
TOMMY ATKINS	Fines febrero- agosto	Michoacán Jalisco Colima Guerrero Nayarit Sinaloa	Color amarillo/rojo Tipo redondo Longitud 12-14.5 cm. Anchura 10-13 cm. Peso 450-700 g. Contiene fibra regular
KEITT	Abril-fines septiembre	Colima Jalisco Nayarit Sinaloa	Color rosado/amarillo Tipo redondo Longitud 13-15.5 cm. Anchura 9-11 cm. Peso 510-2000 g. Contiene muy poca fibra

Fuente: Plan Rector Sistema Nacional Mango. 2005.

## 1.4 Puré de mango

El puré de mango es el semiproducto más común de esta fruta. Se utiliza en la preparación de mermeladas, jaleas, bebidas, incluyendo néctar y diversos productos lácteos y de panadería que contienen mango como ingrediente.

La fruta para el procesamiento de puré tiene buen sabor, color y ausencia de olor desagradable. La consistencia del puré obtenido debe ser atractivo para el consumidor, ya que algunas variedades pueden desarrollar un sabor desagradable después del procesamiento y no son aceptados. Dos variedades que difieren en atributos sensoriales se pueden mezclar durante el procesamiento para compensar sus características.

Es esencial comprender las propiedades termofísicas de la pulpa de mango cuando se trabaja en aplicaciones industriales y científicas que involucran el diseño del equipo, el análisis y control de proceso, donde los cambios físicos, químicos y bioquímicos dependen de la temperatura. Durante el proceso, propiedades como la densidad, conductividad térmica y capacidad calorífica presentan cambios sustanciales en función de la composición, la temperatura y estructura física del alimento (Bon y col., 2010).

El comportamiento reológico de smoothies ha sido ampliamente estudiado. Se ha observado que las propiedades reológicas de los smoothies son afectadas principalmente por la cantidad y tipo de azúcar añadido, la proporción y tipo de agente gelificante utilizado, el contenido de pulpa y la temperatura de procesamiento (Baiano y col., 2012).

La FDA ha clasificado los alimentos como alimentos ácidos, alimentos acidificados y de baja acidez. Los alimentos ácidos son aquellos que tienen un pH < 4.6, los acidificados (frijoles, pepinos, coles, alcachofas, coliflor, pimientos, frutas tropicales y pescados) son alimentos de baja acidez a los cuales se les adiciona ácido, con una actividad de agua mayor a 0.85 y un pH < 4.6. Los alimentos poco ácidos se definen como alimentos distintos de las bebidas alcohólicas con un pH mayor a 4.6 y actividad de agua por arriba de 0.85 (Awuah y col., 2007).

## **1.5 Tecnologías para la conservación de puré de mango**

La evolución en tecnologías de procesamiento está enfocada en disminuir el daño a los nutrientes y componentes sensoriales por medio de la reducción de los tiempos de calentamiento.

Recientemente han surgido y siguen siendo exploradas tecnologías alternativas que permitan producir alimentos inocuos y con mejores características de calidad como el procesamiento por altas presiones, campos eléctricos pulsados, luz ultravioleta, calentamiento óhmico, radio frecuencia, microondas, luz pulsada y campos magnéticos oscilantes; que podrían reemplazar potencialmente los procesos térmicos de algunos productos. Cada una de estas alternativas tiene un desafío en términos de calidad microbiológica, seguridad, eficiencia, calidad global y la aceptación como nueva tecnología (Awuah y col., 2007).

### **1.5.1 Pasteurización**

Es un tratamiento térmico que elimina parte de los microorganismos vegetativos de un alimento, permitiendo períodos mayores de almacenamiento y manejo. El tratamiento específico para un alimento en particular depende de la resistencia térmica del microorganismo y de la sensibilidad del producto al calor. Se utilizan métodos de alta temperatura-corto tiempo o de baja temperatura-largo tiempo.

Debido a que los microorganismos son menos resistentes en un medio ácido se utilizan tratamientos térmicos más suaves para los alimentos con  $\text{pH} < 4.5$  (Orrego, 2007). Actualmente para jugos y bebidas ácidas de  $\text{pH} < 4.5$  los tratamientos térmicos equivalentes se sitúan entre  $65\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 30 min,  $77\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 1 min y  $88\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 15 s. Aunque este tratamiento se utiliza ampliamente, el proceso térmico tiene un efecto negativo en las características sensoriales y nutricionales en los jugos de frutas, se sabe que uno de los principales problemas es la pérdida del ácido ascórbico durante el tratamiento o almacenamiento (Polydera y col., 2003).

### 1.5.1.1 Efecto del calor en atributos sensorial y nutricional

Los estudios demuestran que se producen cambios sensoriales y nutricionales en alimentos pasteurizados. Las enzimas pectinmetilesterasa (PME), polifenol oxidasa (PPO) y peroxidasa (PO) se encuentran frecuentemente en jugos de frutas y pueden causar cambios indeseables. La PME es la más dominante y resistente al calor en varias frutas. Frecuentemente el pardeamiento enzimático está relacionado con la presencia de oxígeno por lo que los jugos de frutas son desaireados antes de la pasteurización. Las condiciones de pasteurización de jugos de frutas para inactivar PME y poligalacturonasa (PGA) son 65 °C/30 min, 77 °C/1 min y 88 °C/15 s. Por otro lado, cuando se utiliza una alta temperatura durante un período prolongado de tiempo ocurren reacciones químicas, con la pérdida de nutrientes y características sensoriales, tales como la apariencia, color, sabor y textura (Awuah y col., 2007).

Así mismo, puede ocurrir la degradación de vitaminas, oscurecimiento por reacciones de Maillard o la modificación por efecto del calor de pigmentos naturales.

El efecto sobre las vitaminas, depende de factores como la presencia de oxígeno, luz y la solubilidad en agua; también depende del pH y pueden ser catalizadas por compuestos químicos presentes como, metales, otras vitaminas y enzimas. Son sensibles al calor las vitaminas liposolubles como la vitamina A (en presencia de oxígeno), D, E y  $\beta$ -carotenos; vitaminas hidrosolubles como la vitamina C, B1 (tiamina), B2 (riboflavina) en medio ácido, ácido nicotínico, pantoténico y biotina C. En general, la mayor pérdida de vitamina C en los alimentos no cítricos ocurre durante el calentamiento. En jugos enlatados, la pérdida de vitamina C tiende a seguir una cinética de primer orden, ocurre una reacción rápida dependiente de oxígeno hasta que se agota y continúa con una degradación anaerobia (Awuah y col., 2007).

Un tratamiento térmico leve puede originar reacciones de Maillard, serie compleja de reacciones entre un grupo amino libre y los azúcares reductores a través de rearrreglos de Amadori (Badui, 2006). Esta reacción puede ser inhibida por la disminución de humedad o baja actividad de agua, condiciones muy ácidas, y la reducción de temperatura.

El color de los alimentos está directamente relacionado con su aceptabilidad. Los pigmentos naturales que se producen en los alimentos son susceptibles de cambios o la degradación por calor. Las clorofilas (en los tejidos fotosintéticos), antocianinas (los colores rojo y azul asociados con muchas frutas y verduras), los carotenoides (que se encuentran en frutas, productos lácteos, huevos, pescado y verduras) y betaninas (presentes en las raíces de remolacha roja y carne) constituyen las principales clases de pigmentos. Las antocianinas son modificadas por el calor a pigmentos marrones (Awuah y col., 2007).

### **1.5.2 Altas presiones hidrostáticas**

En 1899 se descubrió que la alta presión elimina a los microorganismos y conserva los alimentos. Su aplicación para el procesamiento de alimentos comenzó con el trabajo de Hite en ese mismo año en la conservación de leche y la aplicación de esta tecnología se extendió varias décadas después en la conservación de productos de frutas y hortalizas. Los alimentos procesados con altas presiones se introdujeron en el mercado japonés en 1990 por la Compañía Meidi-ya que comercializa mermeladas, jaleas y salsas sin aplicación de calor. Aunado a la conservación de alimentos, el tratamiento de altas presiones puede resultar en estructuras y texturas novedosas por lo que puede ser usado para el desarrollo de nuevos productos o incrementar la funcionalidad de ciertos ingredientes (Rastogi, 2010).

La tecnología de altas presiones además de producir una amplia gama de productos muestra potencial para una nueva generación de alimentos con valor agregado. Esta tecnología puede complementar el procesamiento térmico convencional para reducir la carga microbiana o sustituir el uso de conservadores químicos. Debido a que las frutas tienen un pH bajo (< 4.5) los microorganismos deterioradores son controlados y los formadores de colonias no pueden proliferar bajo estas condiciones. Las células vegetativas son relativamente sensibles a la presión, esto hace a las frutas ideales para el procesamiento por alta presión hidrostática (Keenan y col., 2011).

La adopción de esta tecnología ha sido limitada en la industria principalmente por el costo de inversión inicial requerido (EE.UU. \$ 1.5-2.5 millones), sin embargo a pesar

de esto se ha utilizado con éxito en productos como guacamole, embutidos, jugo de naranja, smoothies y mariscos (Keenan y col., 2011).

Durante el tratamiento la alta presión se transmite rápida y uniformemente, por lo cual no se han encontrado problemas de variaciones espaciales como en otros tratamientos de conservación asociados con calor, microondas, así como la penetración de la radiación. Las altas presiones afectan solamente enlaces no covalentes (puentes de hidrógeno, iónicos y enlaces hidrófobos) y despliega desnaturalización de las cadenas de proteínas; sin embargo tiene poco efecto en los constituyentes químicos asociados con cualidades deseables como sabor, color y contenido nutricional (Rastogi, 2010). Es por esto, que a diferencia de la aplicación de tratamiento térmico, existe un insignificante deterioro del valor nutricional, sabor, color y contenido de vitaminas.

La técnica de APH podría ser útil en la retención de antioxidantes de frutas, ya que solo afecta la estructura de moléculas de alto peso molecular como proteínas y carbohidratos, pero no afecta a moléculas más pequeñas asociadas con propiedades sensoriales y nutricionales que aportan beneficio a la salud como compuestos volátiles, pigmentos y vitaminas. Sin embargo, un gran número de estudios han reportado observaciones contrarias a las esperadas, Keenan y col. indicaron en un estudio reciente que la aplicación de HPP puede afectar el contenido bioactivo de frutas, reduciendo 21.5 % los niveles de vitamina C en puré de manzana después del tratamiento de pasteurización a 600 MPa/5 min/20 °C. En la industria se utiliza altas presiones hidrostáticas hasta 700 MPa, esta presión es capaz de inactivar enzimas y lograr una pasteurización suave de los alimentos, evitando cambios indeseables en las propiedades organoléptica y nutricional (Keenan y col., 2011).

### **1.5.3 Calentamiento óhmico**

El calentamiento sigue la ley de Ohm donde la conductividad eléctrica (inverso de la resistencia) determina el paso de corriente a través del alimento. Su principal ventaja es su capacidad para calentar rápida y uniformemente materiales que contienen

partículas, ya que mediante la manipulación de los contenidos iónicos en productos formulados es posible lograr que el calor se transmita más rápido en las partículas (Awuah y col., 2007).

Esta tecnología se basa en el paso de una corriente eléctrica alterna a través del alimento que actúa como una resistencia eléctrica (Sarang y col., 2008). El calor se genera instantáneamente en el interior del alimento, y la cantidad de calor generado está directamente relacionada con la corriente inducida por el gradiente de voltaje y la conductividad eléctrica (Icier y Ilicali, 2005).

La aplicabilidad de esta técnica depende de la conductividad eléctrica del producto. Muchos alimentos contienen especies iónicas como sales y ácidos, que permiten que una corriente eléctrica pase a través de los alimentos y genere calor. Existen reportes que discuten el efecto de la temperatura y el contenido de azúcar en los valores de conductividad eléctrica en productos a base de fresa (Icier y Ilicali, 2005).

El uso de esta técnica se ve limitada por el contenido de partículas sólidas presentes, con un tamaño de partícula arriba de 15  $\mu\text{m}$  y concentración de 30 a 40 g/100 g, debido a la baja transferencia de calor por conducción hacia el centro de las partículas sólidas grandes. Debido a esto, en la industria se sobrecalienta el alimento para proporcionar una fuerza de conducción más alta para el proceso de transferencia de calor. Esto hace que se reduzca drásticamente la calidad del producto (Pataro y col., 2011).

Las frecuencias dentro de las cuales funcionan estos métodos de calefacción se encuentran entre 50 y 60 Hz como resistencia eléctrica en calentamiento óhmico (Barret y Lloyd, 2011). Así, si la conductividad eléctrica de las dos fases (líquido-partícula) es del mismo orden de magnitud, se genera calor en ambas fases a la misma velocidad o en una velocidad comparable (Pataro y col., 2011) lo que permite obtener productos de alta calidad, con cambios mínimos estructurales, nutricionales y organolépticos debido a los tiempos de operación cortos (Sarang y col., 2008).

Es importante evaluar las propiedades eléctricas de un alimento destinado a ser procesado por calentamiento óhmico. Cuando se calienta un alimento sin presión,

las burbujas de aire que contiene el alimento crecerán si la presión se mantiene constante, por lo que aumentarán de volumen y la conductividad eléctrica puede considerarse como 0, tendiendo a reducir la conductividad eléctrica de la mezcla (Icier y Ilicali, 2005).

Existe un gran número de aplicaciones incluyendo el escaldado, evaporación, deshidratación, fermentación y extracción (Louarme y Billaud, 2012); sin embargo existe poca información sobre los efectos del calentamiento óhmico de bebidas a base de frutas en comparación con el calentamiento convencional.

Por otra parte, la viscosidad de la solución calentada dependerá de las tasas de calentamiento óhmico. El coeficiente de consistencia estará en función de la temperatura, contenido de sólidos solubles e insoluble y su estructura química (Icier y Ilicali, 2005).



## **2. HIPÓTESIS**

La aplicación de altas presiones hidrostáticas y calentamiento óhmico no afectan las características fisicoquímicas de una bebida de mango tipo smoothie.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 General**

Desarrollar una bebida tipo smoothie elaborada a partir de pulpa de mango, y evaluar efectos del procesamiento (calentamiento óhmico y altas presiones hidrostáticas) y la formulación, sobre sus propiedades fisicoquímicas durante el almacenamiento en refrigeración.

#### **3.2 Específicos**

- Proponer condiciones de operación en procesamientos alternativos de alimentos (altas presiones hidrostáticas y calentamiento óhmico) para mejorar la conservación de las propiedades fisicoquímicas de un smoothie de mango de las variedades Haden, Ataulfo y Manila.
- Evaluar el comportamiento y estabilidad de la bebida (procesada por pasteurización, calentamiento óhmico y APH) durante el almacenamiento.
- Evaluar la estabilidad del ácido ascórbico de la bebida tipo smoothie de mango post-tratamiento y a través del tiempo de almacenamiento en refrigeración.

## 4. METODOLOGÍA

### 4.1 Materiales

#### 4.1.1 Material biológico

Se utilizaron frutos de mango *mangifera indica* de las variedades Haden, Ataulfo y Manila maduros y sin manchas en pericarpio. Los frutos se obtuvieron de mercados locales de la ciudad de Querétaro y se procesaron de manera inmediata a su compra.

### 4.2 Métodos

Los análisis se realizaron tanto a las pulpas de cada una de las variedades de mango empleadas como a las formulaciones de la bebida tipo smoothie de mango antes y después de la aplicación de tratamientos.

#### 4.2.1 Color

Se tomaron aproximadamente 10 g de muestra y se midió la reflexión de la luz blanca utilizando un espectrofotómetro portátil Minolta CM-2002 donde se registraron los valores L, a, b y h de la escala internacional de color CIELAB.

#### 4.2.2 Acidez titulable

Se tomaron 10 g de muestra y se adicionaron 10 mL de agua destilada, la mezcla se homogenizó en un homogenizador WiseTis HG-15D & HG-15A durante 30 segundos a 13500 rpm; del homogenizado se tomó una alícuota de 5 mL para titularse con NaOH 0.1 N, empleando 0.3 mL de solución de fenolftaleína al 1% como indicador (AOAC, 1998).

La acidez titulable fue expresada en porcentaje de ácido cítrico por cada 100 g de muestra, utilizando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ ácido cítrico} = \frac{(\text{normalidad NaOH})(\text{mL gastados})(\text{volumen aforado})(6.4)}{(\text{volumen alícuota})(\text{peso muestra})}$$

### 4.2.3 Ácido ascórbico

Se agregaron 9 mL de solución de ácido metafosfórico ( $\text{HPO}_3$ ) al 3 % a 1 g de muestra y se homogenizó hasta formar una suspensión en el homogenizador WiseTis HG-15D & HG-15A durante 30 segundos. Del homogenizado se tomó una alícuota de 5 mL y se tituló con el colorante estandarizado (2,6-diclorofenol-indofenol) hasta alcanzar el punto final de color rosa (AOAC, 1980).

El contenido de ácido ascórbico se calculó con la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{mg ácido ascórbico}}{100\text{g muestra}} = \frac{(\text{mL gastados colorante})(\text{factor colorante})(\text{mL aforado})(100)}{(\text{mL alícuota})(\text{gramos muestra})}$$

El colorante se estandarizó en cada sesión de análisis. Para ello a 5 mL de la solución estándar de 0.1 mg de ácido ascórbico/mL (preparada con agua destilada hervida y enfriada), se le agregaron 5 mL de  $\text{HPO}_3$  al 3 % y se adicionó la solución colorante a estandarizar hasta alcanzar un color rosa durante 15 segundos. El factor del colorante (mg de ácido ascórbico/mL de solución colorante) se determinó mediante la siguiente expresión:

$$\text{Factor de colorante} = \frac{0.5}{\text{volumen de titulación}}$$

La solución de 2,6-diclorofenolindofenol (DCIP) se preparó pesando 62.5 mg de 2,6-diclorofenolindofenol y se disolvieron en 50 mL de agua destilada con 52.5 mg de bicarbonato de sodio, se agitó hasta disolución, se filtró con papel filtro cualitativo y se aforó con agua destilada a 250 mL. Se guardó en frasco ámbar en refrigeración.

### 4.2.4 Conductividad eléctrica

Se midió la conductividad eléctrica específica (S/cm) a una temperatura de 15 °C utilizando una celda especial con dos electrodos de acero inoxidable.

#### **4.2.5 Viscosidad**

Para la medición de viscosidad se utilizó un viscosímetro Brookfield DV-II+ Haake RheoStress 1 equipado con un sistema de medida de cilindros coaxiales a diferentes esfuerzos de cizalla ( $4-500 \text{ s}^{-1}$ ). Se midió la viscosidad de las muestras a  $15 \text{ }^\circ\text{C}$  a una velocidad de 30 rpm, los resultados se expresaron en mPa-s.

#### **4.2.6 pH**

El pH fue monitoreado en cada muestra sometida a los distintos tratamientos durante el estudio mediante un potenciómetro Horiba modelo F-51. La calibración del equipo se realizó previamente mediante buffers (pH 4-7).

#### **4.2.7 Sólidos totales**

Para la medición de los sólidos totales, en una cápsula de porcelana a peso constante se pesaron 5 g de muestra y se colocó en baño de vapor hasta sequedad aparente y se secó en la estufa a una temperatura de  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  durante 2 horas. El contenido de sólidos totales, se expresó en porcentaje y se calculó con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ sólidos totales} = \frac{M_1 - M_0}{M - M_0} \times 100$$

Donde:

$M_0$  = masa de la cápsula, en gramos.

$M$  = masa de la cápsula con la muestra, en gramos.

$M_1$  = masa de la cápsula con la muestra seca, en gramos.

#### **4.2.8 Sólidos solubles totales**

Para la medición de los sólidos solubles totales se utilizó un refractómetro Abbe. Expresando los resultados como  $^\circ\text{Brix}$  a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  (AOAC, 1998).

#### **4.2.9 Análisis sensorial**

Se seleccionaron aleatoriamente 20 personas sin entrenamiento con un rango de edad entre 18 y 25 años para evaluar la preferencia de las formulaciones de la

bebida de mango tipo smoothie. Los panelistas seleccionaron la mezcla de su preferencia utilizando el test “ranking for preference” (Anexo 1), (Manson y Nottingham, 2002).

### **4.3 Diseño experimental**

#### **4.3.1 Selección de frutos, obtención y manejo de pulpas**

El estudio se llevó a cabo durante los meses de Febrero, Marzo, Abril, Mayo, Junio y Agosto, abarcando la disponibilidad de las variedades Ataulfo, Haden y Manila presentes en nuestro país. El proceso de elaboración de las formulaciones comprendió las siguientes partes (Figura 1):

- Inspección y selección de frutos: Se emplearon frutos sin manchas, sin ablandamientos, sin olor a fermentación ni enmohecimiento.
- Lavado: Los frutos fueron lavados con agua y detergente para evitar la presencia de impurezas y la excesiva contaminación.
- Despulpado: la obtención de la pulpa de la fruta libre de cáscaras y semillas se hizo de forma mecánica utilizando una despulpadora industrial Polinox con una malla de 1 mm de diámetro.
- Refinado: se pasó la pulpa a una segunda etapa de despulpado usando una malla de 0.5 mm de diámetro.
- Formulación: una vez obtenidas las pulpas se desarrollaron las formulaciones según la proporción de cada variedad de acuerdo al Cuadro 7.
- Estandarizado: en esta operación se hizo lo siguiente:
  - Ajuste de la proporción de fruta en formulación (35 y 45 % pulpa)
  - Regulación de pH mediante adición de ácido cítrico (pH 3.5-3.8)
  - Regulación de sólidos solubles totales mediante adición de solución de sacarosa (13 °Bx)
  - Adición del estabilizador (0.075 % carboximetilcelulosa CMC)

El pH de la bebida se reguló a pH < 4.5 utilizando ácido cítrico contribuyendo con el mantenimiento de las propiedades naturales del fruto de mango así como para

aprovechar la característica de baja acidez que favorece la inactivación de una importante proporción de microorganismos de importancia en inocuidad de alimentos.

En néctares y algunas bebidas, el empleo de estabilizadores es común para evitar la separación de los sólidos y/o proporcionar cuerpo a los productos; el más utilizado es la carboximetilcelulosa (CMC), donde la dosis puede alcanzar hasta un máximo de 0.5 % (Ficha técnica néctares, 1997).

- Aplicación de tratamientos: Se utilizó calentamiento convencional (uso de marmita) y calentamiento óhmico como tratamientos térmicos; como tratamiento no térmico se aplicaron altas presiones hidrostáticas. Se analizaron las características fisicoquímicas del smoothie durante el almacenamiento.
- Envasado: el envasado se hizo pre tratamiento para el caso de APH y envasado post tratamiento, y en caliente, para los tratamientos térmicos de calentamiento óhmico y convencional en bolsas plásticas flexibles cerrándose inmediatamente al vacío según el diseño experimental para abrir cada paquete al momento de su análisis.

#### **4.3.2 Diseño de formulaciones**

Se evaluaron distintos porcentajes de pulpa total (Cuadro 3 y 4) en la bebida considerando un diseño de mezclas para determinar la cantidad necesaria de pulpa de cada variedad de mango en función de propiedades sensoriales seleccionadas (Cornell, 2002). Los porcentajes considerados se basaron en parte por las características de un producto de elevado contenido de fruta tal como un néctar descrito en la norma mexicana NMX-F-057-S-1980, además de que se consideraron los requerimientos de la bebida hechos por los productores de mango del Estado de Colima, los cuales señalaban la necesidad de una bebida de características naturales donde el ingrediente principal fuese la pulpa de mango sin aditivos ni conservadores.

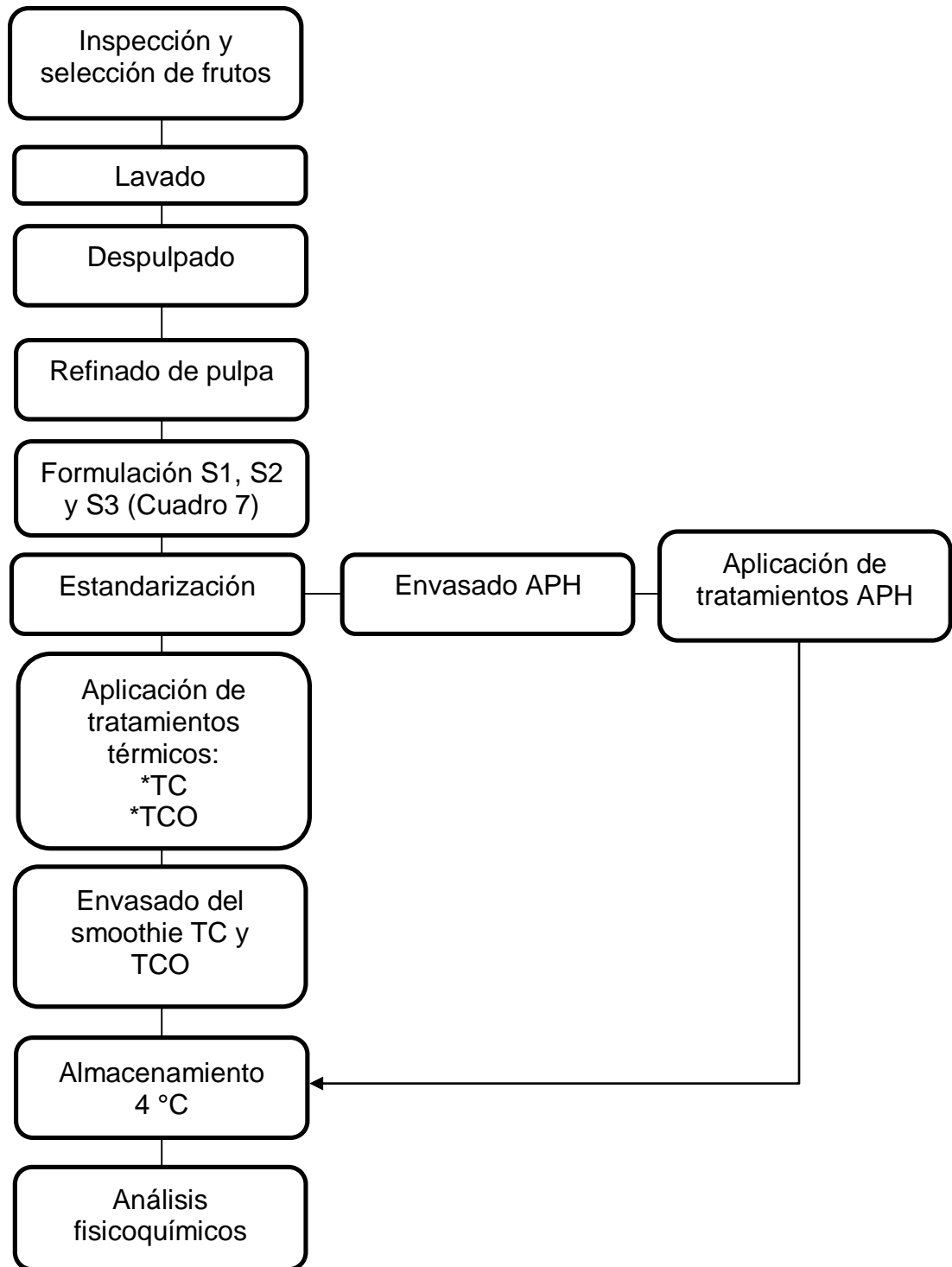


Figura 1. Esquema general de obtención de la pulpa de mango y elaboración de la bebida tipo smoothie (TC: tratamiento convencional, TCO: tratamiento calentamiento óhmico, APH: altas presiones hidrostáticas).



Cuadro 3. Diseño de mezclas en base al 35 % de pulpa total.

Ataulfo % en g	Manila % en g	Haden % en g	Total de bebida (1000 g)	
			35 % pulpa	65 % agua
0.45(157.5 g)	0.45(157.5 g)	0.1(35 g)	350	650
0.1(35 g)	0.45(157.5 g)	0.45(157.5 g)	350	650
0.1(35 g)	0.8(280 g)	0.1(35 g)	350	650
0.45(157.5 g)	0.1(35 g)	0.45(157.5 g)	350	650
0.1(35 g)	0.1(35 g)	0.8(280 g)	350	650
0.1(35 g)	0.8(280 g)	0.1(35 g)	350	650
0.1(35 g)	0.45(157.5 g)	0.45(157.5 g)	350	650
0.33(115.5 g)	0.33(115.5 g)	0.33(115.5 g)	350	650
0.45(157.5 g)	0.45(157.5 g)	0.1(35 g)	350	650
0.8(280 g)	0.1(35 g)	0.1(35 g)	350	650
0.8(280 g)	0.1(35 g)	0.1(35 g)	350	650
0.1(35 g)	0.1(35 g)	0.8(280 g)	350	650

Cuadro 4. Diseño de mezclas en base al 45 % de pulpa total.

Ataulfo % en g	Manila % en g	Haden % en g	Total de bebida (1000 g)	
			35 % pulpa	65 % agua
0.45(202.5 g)	0.45(202.5 g)	0.1(45 g)	450	550
0.1(45 g)	0.45(202.5 g)	0.45(202.5 g)	450	550
0.1(45 g)	0.8(360 g)	0.1(45 g)	450	550
0.45(202.5 g)	0.1(45 g)	0.45(202.5 g)	450	550
0.1(45 g)	0.1(45 g)	0.8(360 g)	450	550
0.1(45 g)	0.8(360 g)	0.1(45 g)	450	550
0.1(45 g)	0.45(202.5 g)	0.45(202.5 g)	450	550
0.33(148.5 g)	0.33(148.5 g)	0.33(148.5 g)	450	550
0.45(202.5 g)	0.45(202.5 g)	0.1(45 g)	450	550
0.8(360 g)	0.1(45 g)	0.1(45 g)	450	550
0.8(360 g)	0.1(45 g)	0.1(45 g)	450	550
0.1(45 g)	0.1(45 g)	0.8(360 g)	450	550

Para evaluar la preferencia de las mezclas de la bebida tipo smoothie, se seleccionaron aleatoriamente 20 personas sin entrenamiento (entre 18 y 25 años de edad) para acotar a tres el número de mezclas en función de su calidad organoléptica y las proporciones de variedad de mango de más interés en la formulación. El test utilizado fue “ranking for preference” (Anexo 1) (Manson y Nottingham, 2002).

#### **4.3.3 Tratamientos aplicados a la bebida.**

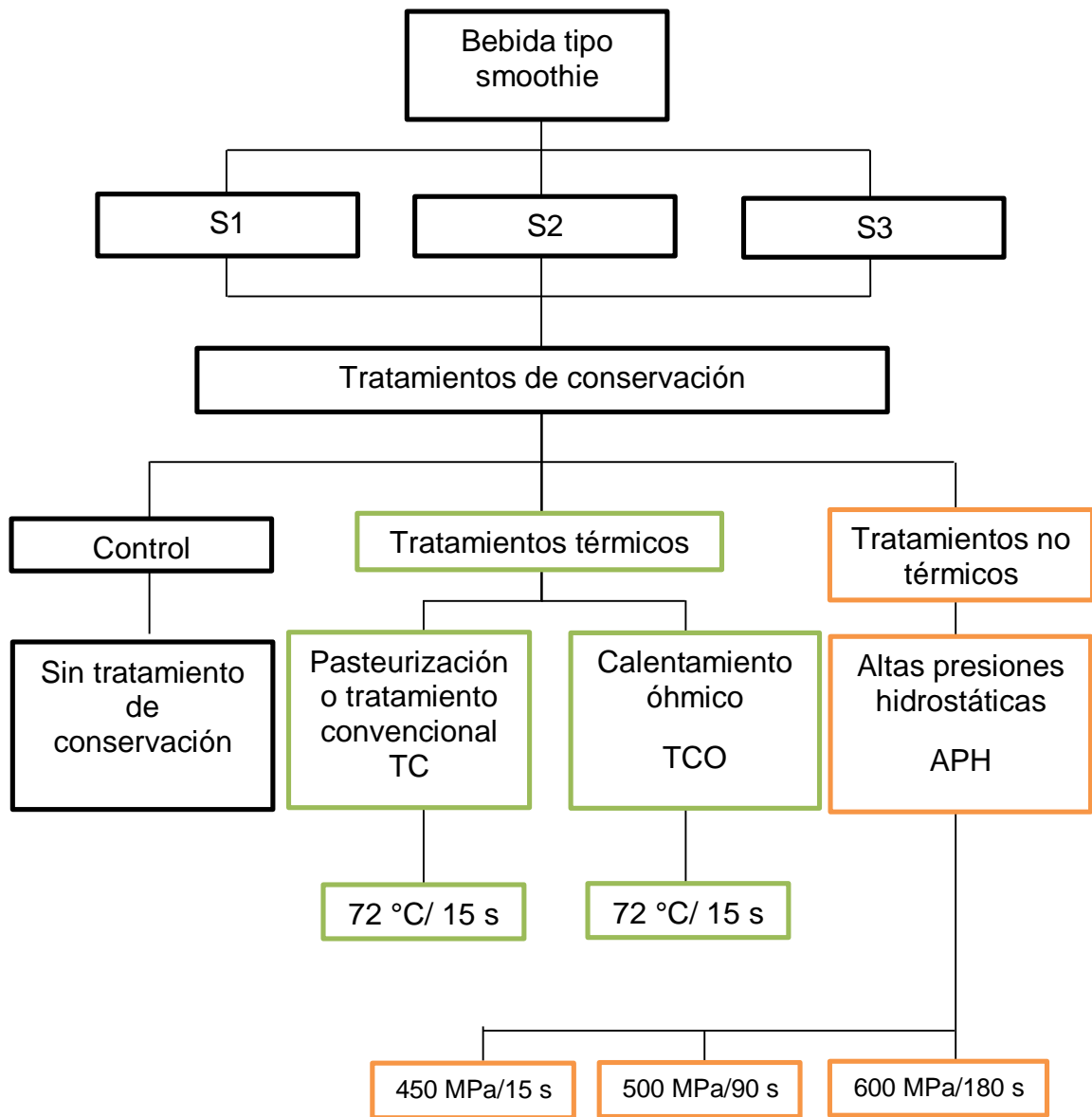
Cada una de las formulaciones de los smoothies resultantes se dividió en cuatro lotes; un primer lote no se sometió a ningún tratamiento antimicrobiano (controles), el segundo lote se sometió a un tratamiento térmico convencional (pasteurización en marmita), un tercer lote se sometió a un tratamiento térmico por calentamiento óhmico y el cuarto lote se sometió a altas presiones hidrostáticas (tratamiento no térmico), Figura 2.

##### **4.3.3.1 Tratamientos de APH**

Los tratamientos de APH (Cuadro 5) se aplicaron en Verfruco, una empresa comercial de puré de aguacate situada en Uruapan, Michoacán. El equipo utilizado fue un Hyperbaric, el cual es capaz de operar a una presión de trabajo de 600 MPa / 87.000 psi y en un rango de temperaturas de entre +5 °C y +30 °C (+41 °F a +86 °F).

Cuadro 5. Tratamientos APH en las bebidas tipo smoothie.

<b>Presión (MPa)</b>	<b>Temperatura de procesamiento (°C)</b>	<b>Tiempo de tratamiento (s)</b>
450	15	15
500	15	90
600	15	180



\*Se realizaron los análisis a los 0, 5, 10, 25 y 50 días, 3 mediciones repetidas por muestra.

Figura 2. Diseño experimental de la bebida tipo smoothie.

#### **4.3.3.2 Tratamientos térmicos de pasteurización**

Los smoothies correspondientes se sometieron a un tratamiento de pasteurización convencional de 72 °C / 15 segundos utilizando una marmita marca Polinox con capacidad para 50 L.

#### **4.3.3.3 Tratamiento de pasteurización por calentamiento óhmico**

Para el proceso de calentamiento óhmico, fue diseñada una celda óhmica a nivel laboratorio empleando un campo eléctrico de 15 V/cm y 60 Hz de frecuencia. Se colocó la celda en la campana de extracción con los electrodos de acero inoxidable sanitizados. Se llenó la celda con cada una de las formulaciones, luego se aplicó corriente a la bebida de mango alcanzando una temperatura de 72 °C durante 15 segundos. Finalmente se empacaron las mezclas en bolsas plásticas selladas al vacío.

#### **4.3.4 Toma de muestras durante el periodo de almacenamiento**

Con la finalidad de evaluar la evolución de los diferentes parámetros estudiados en los smoothies y determinar la posible vida comercial del producto, se almacenaron las muestras tratadas con su control correspondiente (sin tratamiento) a 4°C, se verificaron visualmente los cambios en el empaque (hinchazón de la bolsa). La apertura de cada bolsa, se llevó a cabo bajo condiciones asépticas en una campana de flujo laminar, la muestra se tomó utilizando una cuchara estéril para evaluar los diferentes atributos de calidad. Se analizaron los parámetros descritos en la sección de métodos a los 0, 5, 10, 25 y 50 días de almacenamiento.

#### **4.3.5 Análisis de resultados**

Todos los ensayos descritos en este trabajo se realizaron sobre una misma unidad con tres mediciones repetidas y los resultados experimentales se expresaron como el valor medio de los datos recogidos. Se evaluó el comportamiento de los diferentes tratamientos aplicados y el tiempo de preservación de las características fisicoquímicas.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Caracterización de pulpas de mango y bebidas comerciales

Con el objeto de desarrollar una bebida tipo smoothie semejante a bebidas en el mercado a partir de pulpa de mango (Haden, Ataulfo y Manila) se evaluaron las características fisicoquímicas de dos bebidas comerciales (Figura 3), este análisis otorgó una referencia para la elaboración de nuestras propias formulaciones.



Figura 3. Bebidas comerciales marca Hola y Bolthouse Farms.

La obtención de pulpas se realizó siguiendo el diagrama que se muestra en la Figura 1. Se tomó una muestra de pulpa de cada variedad (Figura 4) para analizar sus características.

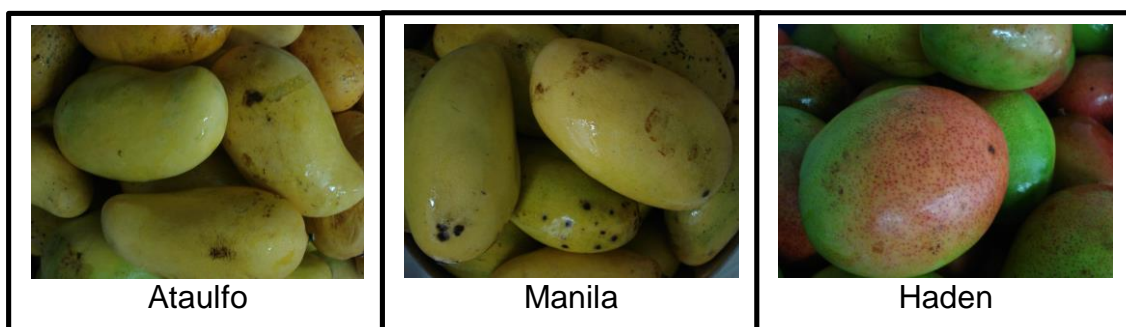


Figura 4. Variedades de mango utilizadas para las formulaciones.

La caracterización inicial se realizó para dos muestras comerciales y tres variedades de mango. En el Cuadro 6 se muestra el contenido de ácido ascórbico en mg por cada 100 mL de muestra.

Los resultados obtenidos para los sólidos totales se expresaron en mg/L (Cuadro 6). En las siguientes mediciones se sustituyó la toma de muestra en volumen por la toma de muestra en gramos debido a la consistencia espesa de las muestras.

Cuadro 6. Caracterización fisicoquímica de tres variedades de mango y dos bebidas comerciales.

		pH	Acido ascórbico (mg/100mL muestra)				Sólidos totales (mg/L)	% Acidez
Mezcla comercial	B. Farms	3.645±0.007	93.240±0.000				3.540E5±3.361E4	0.397±0.018
	Hola	3.350±0.000	16.650±1.570				1.086E5±9.178E3	0.358±0.036
Variedad	Manila	3.210±0.000	6.660±0.000				3.314E5±9.100E3	0.730±0.018
	Haden	4.455±0.007	5.550±1.570				1.636E5±3.369E4	0.102±0.000
	Ataulfo	3.035±0.021	68.820±3.140				1.797E5±3.022E4	1.434±0.036
		°Brix	Color				Viscosidad (mPa-s)	Conductividad (S/cm)
			a	b	L	h		
Mezcla comercial	B. Farms	17.2±0.000	11.51	31.21	39.1	69.76	1141.500±2.121	1.755E-3±3.918E-5
	Hola	10.08±0.007	3.60	27.10	41.41	82.42	-----	1.242E-3±2.289E-5
Variedad	Manila	13.7±0.141	2.47	31.33	45.00	85.49	3758.500±2.121	1.842E-3±1.439E-5
	Haden	11.7±0.141	8.08	37.82	40.94	77.94	4672.500±0.707	1.569E-3±5.220E-6
	Ataulfo	13.75±0.071	3.77	38.58	56.77	84.42	5479.000±1.414	1.967E-3±8.204E-6

El pH de las dos muestras comerciales y las tres variedades osciló entre 3.0 y 4.45, una característica de ventaja al considerar que en alimentos de baja acidez, pH > 4.5, se destruye una gran diversidad de microorganismos patógenos y a pH alrededor de 4.5 los agentes deterioradores, en este caso, la actividad enzimática es usualmente más importante (Rahman, 2007), por lo que se recomienda la adición de ácido cítrico antes del tratamiento térmico para disminuir la acidez hasta pH 4 como

método de estandarizado. El contenido de sólidos solubles totales varía con el grado de madurez en el que se encuentren los frutos; en este caso el rango estuvo entre 11 y 13 °Bx para las diferentes variedades de mango (Cuadro 6). Las muestras comerciales tienen el valor más bajo (10 °Brix) y más alto (17 °Brix) que corresponden a la marca Hola (mezcla de mango, naranja, manzana y limón) y Bolthouse Farms respectivamente. Sin embargo la formulación de la marca Bolthouse Farms indica la utilización de jugo de manzana, jugo de naranja, puré de plátano, jugo de piña y jugo de limón como ingredientes, lo que podría explicar el valor de 17 °Bx. Es importante destacar que la producción de smoothies a nivel industrial por lo general involucra el empleo de dos o más frutas; esta es una estrategia empleada debido a que algunas frutas producen jugos y de otras se obtienen purés. Las frutas que producen jugos por ejemplo, son: uva, naranja, manzana y pomelo mientras que las frutas que producen purés son mango, plátano, durazno, guayaba y pera (Keturakis, 2009). En este caso para convertir en bebida un puré, este es solo uno de los métodos. Para las variedades de mango los valores de acidez oscilaron de 0.1 % (Haden) hasta 1.4 % (Ataulfo), y las muestras comerciales un valor de 0.3% de acidez. El contenido de ácido ascórbico en las variedades Haden y Manila fue de 5 y 6 mg/100 mL, sin embargo los resultados mostraron que la variedad Ataulfo tuvo un valor de 68 mg/100 mL, es decir que en proporción fue más de diez veces mayor que las otras variedades analizadas. La muestra comercial Bolthouse Farms tuvo un contenido de 93 mg/100 mL; este valor se explica debido a que es una bebida fortificada al 360 % con esta vitamina, además de vitamina A y E, sin embargo; una declaración de “ácido ascórbico” como ingrediente, cuando este se emplea como antioxidante, no constituye de por sí una declaración de “vitamina C” (CODEX STAN 247, 2005). La bebida comercial de mango marca Hola obtuvo un valor de 16.65 mg/100mL de ácido ascórbico, sin embargo la etiqueta de información nutrimental indicaba un valor de 27.19 mg/100 mL.

## **5.2 Producción de lotes para el análisis de vida de útil**

Se realizó una evaluación sensorial, de tal forma que se acotaran las posibles combinaciones del contenido de pulpa. Del diseño de mezclas (Cuadro 3 y Cuadro

4) se seleccionaron tres formulaciones en función de su calidad organoléptica y las proporciones de variedad de mango de más interés en la formulación (Cuadro 7). Una vez seleccionadas, se realizó la producción en masa para monitoreo de características fisicoquímicas a 0, 5, 10, 25, y 50 días de almacenamiento en refrigeración.

Las tres formulaciones fueron estandarizadas a 13 °Brix y un rango de pH de 3.5-3.8 con ácido cítrico ajustándose al requerimiento y evitando variaciones subsiguientes. Durante el proceso de elaboración de las mezclas se adicionó carboximetilcelulosa (CMC) como estabilizante, para mantener una consistencia ligeramente pastosa y evitar la separación de fases. Se adicionó 0.075 % según lo reportado como mínimo en néctares (Ficha técnica néctares, 1997).

Bolsas plásticas fueron llenadas con cada una de las formulaciones y selladas al vacío mediante una selladora (Food Saver marca Oster), luego refrigeradas y transportadas a 4 °C bajo condiciones asépticas hasta el tratamiento de APH conforme al Cuadro 8. Las combinaciones de presión/tiempo se eligieron según las características de nuestro alimento, las recomendaciones de la empresa y la capacidad del equipo Hyperbaric, tomando la condición más leve, una intermedia y la más drástica (450, 500 y 600 MPa, respectivamente) codificando con letras y números la formulación (S) y tratamiento (R), Cuadro 8.

Cuadro 7. Formulaciones seleccionadas para el procesamiento.

Formulación	% Pulpa Total	Variedad		
		Ataulfo	Manila	Haden
S1	45	0.8	0.1	0.1
S2	35	0.8	0.1	0.1
S3	45	0.33	0.33	0.33



Cuadro 8. Distribución de formulaciones por condiciones de tratamiento.

<b>Tratamiento</b>	<b>Formulación 1</b>	<b>Formulación 2</b>	<b>Formulación 3</b>
450 MPa/15 s	S1-R1	S2-R1	S3-R1
500 MPa/ 90 s	S1-R2	S2-R2	S3-R2
600 MPa/ 180 s	S1-R3	S2-R3	S3-R3

Las formulaciones de los smoothies (S1, S2 y S3) se prepararon y estandarizaron a las mismas condiciones del lote anterior para continuar con los tratamientos de conservación. Se aplicaron tratamientos de calentamiento óhmico (TCO) y tratamiento térmico convencional (TC).

El efecto de las altas presiones, calentamiento óhmico y la pasteurización convencional sobre las propiedades fisicoquímicas de una bebida de mango tipo smoothie fueron comparados con una muestra control (sin tratamiento). La evolución de los parámetros fue monitoreada durante un periodo de 50 días.

Durante este periodo se registraron algunos cambios en las muestras sin tratamiento, tales como hinchazón de bolsas por formación de gas y formación de un color verdoso. Estos cambios se observaron en algunas bolsas a partir del día 15 de almacenamiento, sin embargo se analizaron hasta el día 25.

Se detuvieron los análisis fisicoquímicos de las muestras control después de los 25 días de almacenamiento ya que de acuerdo con los análisis microbiológicos (datos no mostrados) se superó la carga microbiana indicada por las normativas vigentes, 100 UFC/mL para BMA y 25 UFC/mL para HYL (NOM-130-SSA1-1995), por lo que se consideró no aceptable desde el punto de vista de seguridad microbiana.

### 5.3 Efecto de tratamientos aplicados

#### 5.3.1 Efecto de tratamiento térmico convencional (TC)

##### 5.3.1.1 Cambios en pH de bebidas tipo smoothie tratadas por TC durante almacenamiento

El pH de las muestras sin tratamiento disminuyó con respecto al tiempo, un aspecto observado por diferentes investigadores y atribuido en ocasiones a la formación de compuestos ácidos de azúcares debido al comienzo de la descomposición microbiana (Pataro y col., 2011). En el presente trabajo, las muestras control de los tres smoothies estuvieron por arriba del límite permitido (100 UFC/mL para BMA y 25 UFC/mL para HYL) desde el día 0 (Urbina, 2014).

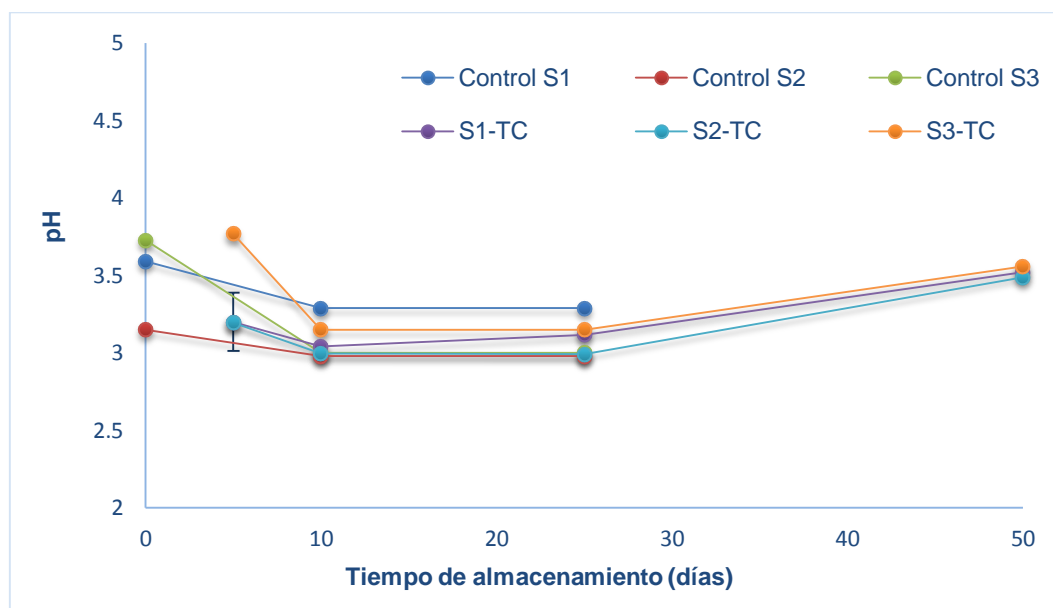


Figura 5. Efecto de TC (72 °C/15 s) sobre el pH.

En la Figura 5 se observa una rápida acidificación de las muestras procesadas por tratamiento térmico convencional, tal como si dicho lote no hubiese sido tratado

térmicamente, un fenómeno ocasionado por la suavidad del tratamiento térmico convencional, al haber sido procesado por pasteurización suave a 72 °C durante 15 segundos, cuando la pasteurización rigurosa para este tipo de productos comprende una temperatura de referencia  $P_{z=8.9}^{\circ C} T_{ref}= 93.3 \text{ }^{\circ}C$  (Vásquez-Caicedo y col., 2007) para lograr un efecto letal sobre la población de microorganismos.

Además puede observarse que las muestras tratadas térmicamente, aparentemente, no presentaron diferencias comparadas con las muestras control, si bien aunque en muchas investigaciones se habla de pasteurización suave (Walkling-Ribeiro y col., 2010) en este caso no es recomendable emplear temperaturas por debajo de las temperaturas de referencia recomendadas.

#### **5.3.1.2 Cambios en sólidos solubles de bebidas tipo smoothie tratadas por TC durante almacenamiento**

En la Figura 6 se observa que las muestras control comenzaron a disminuir los sólidos solubles totales inmediatamente después de la elaboración de la bebida, mientras que la formulación S1 y S2 procesadas por TC mantuvieron el contenido de sólidos solubles durante los 50 días de almacenamiento, con 13.4 °Bx y 13.2 °Bx respectivamente; sin embargo S3-TC presentó un descenso importante comparado con el resto de las formulaciones con 10.7 °Bx al final del estudio, un probable indicador del deterioro del producto.

La disminución en los sólidos solubles pudo ocurrir debido a una alta carga microbiana por contaminación de la muestra o ineficiencia letal del tratamiento térmico sobre la carga microbiana inicial, lo que provocó el descenso de sólidos solubles que en su mayoría son azúcares aprovechados por los microorganismos.

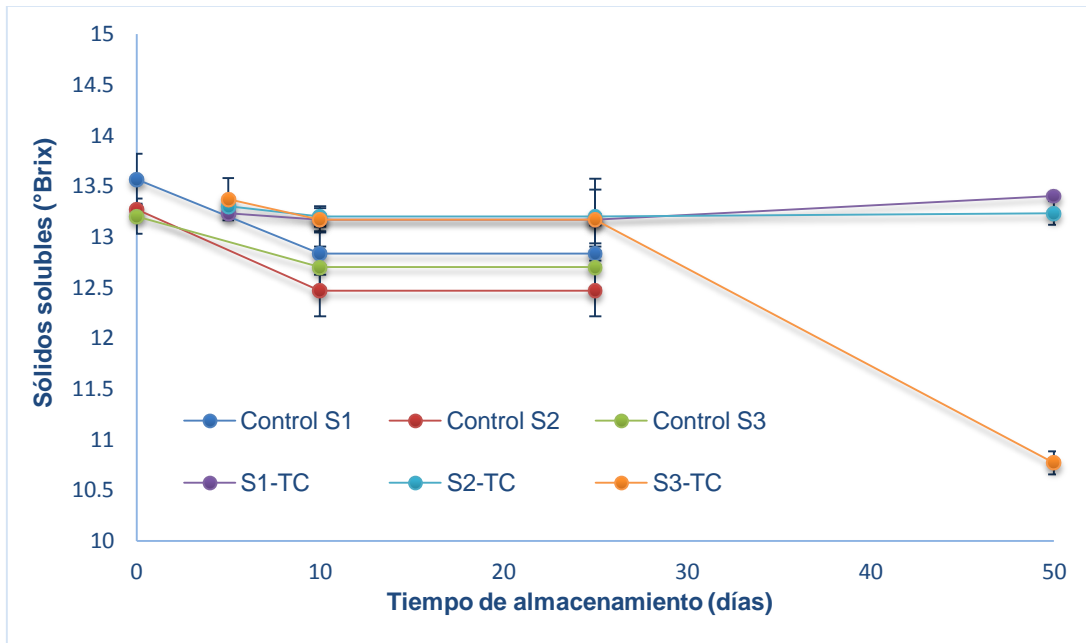


Figura 6. Efecto de TC sobre el contenido de sólidos solubles.

### 5.3.1.3 Cambios en porcentaje de acidez de bebidas tipo smoothie tratadas por TC durante almacenamiento

En la Figura 7 se puede observar que para el tratamiento TC el porcentaje de acidez tuvo variaciones menores a través del tiempo, es decir, se mantuvo constante. A diferencia de las muestras tratadas TC, los controles presentaron una rápida acidificación (pendiente positiva) hasta 0.93 % en el día 10, a partir de este punto el porcentaje de acidez comenzó a descender nuevamente.

En la bebida tratada convencionalmente, S1 se mantuvo por arriba de S2 y S3 durante el almacenamiento. S1 tuvo un incremento a los 10 días (0.87 %), luego bajó y se mantuvo así hasta los 50 días (0.7 %). El porcentaje de acidez de S2 se mantuvo constante durante el periodo de almacenamiento con un valor de 0.74 %. A diferencia de los otros dos, S3 presentó un incremento a los 10 días (0.74 %), bajó a 0.67 % a los 25 días y finalmente a los 50 días volvió a incrementarse hasta 0.7 %. De acuerdo

con esto la formulación S2 (0.8 Ataulfo, 0.1 Manila y 0.1 Haden) conservó mejor esta característica.

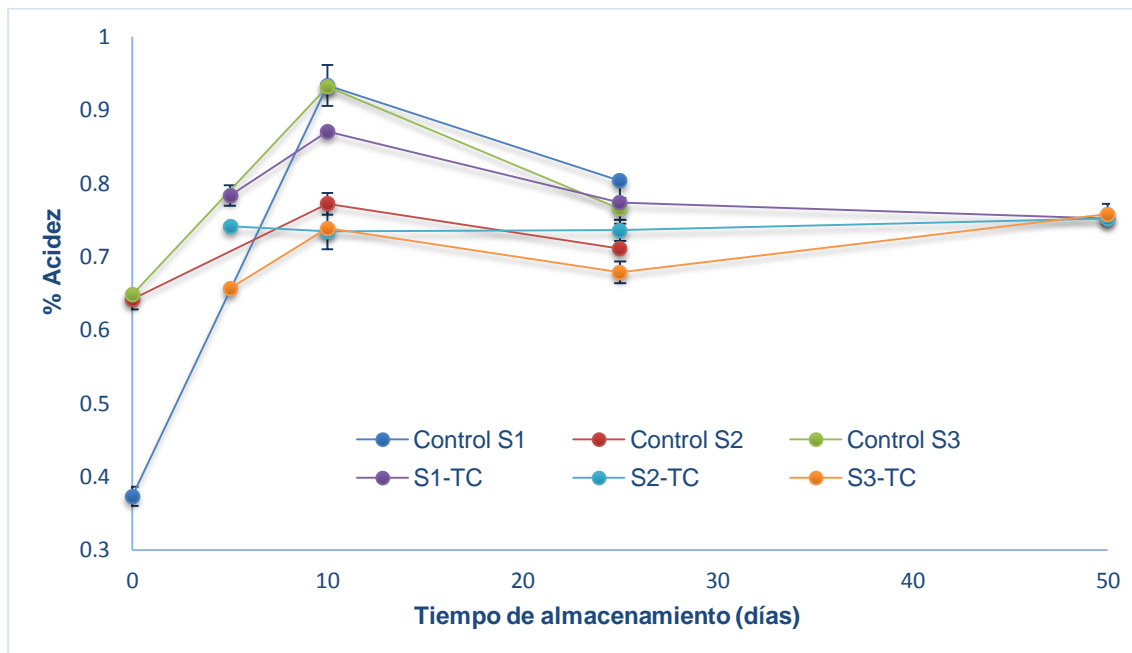


Figura 7. Efecto de TC sobre el porcentaje de acidez.

#### 5.3.1.4 Cambios en ácido ascórbico de bebidas tipo smoothie tratada por TC durante almacenamiento

Las muestras control (sin tratamiento) tuvieron un comportamiento similar entre ellas (Figura 8), presentando un contenido de ácido ascórbico entre 5-13 mg/100 g al inicio del estudio, donde S1 (13 mg/100 g) y S2 (10.9 mg/100 g) tuvieron los porcentajes más altos debido a la presencia de la variedad Ataulfo. El contenido de ácido se fue perdiendo durante el almacenamiento hasta 4.95, 4.43 y 1.86 mg/100 g para el control 1, 2 y 3 respectivamente.

Las muestras procesadas TC (72 °C/15 s) presentaron una tendencia semejante, pero a diferentes niveles sobre el eje Y, donde S2 tuvo el mayor contenido de ácido ascórbico a lo largo del estudio, seguido de S3 y S1 respectivamente. S2 presentó un decremento de este parámetro a los 10 días de almacenamiento (de 30.7 a 20.98 mg/100 g), sin embargo a los 25 días incrementó nuevamente (27.4 mg/100 g) hasta

alcanzar un valor de 34.28 mg/100 g en el día 50. Se ha reportado valores entre 37-74 mg/100 g de ácido ascórbico en jugo de mango (Hiwilepo-van Hal, 2012); de acuerdo con los resultados obtenidos, se observa que solamente S2 conservó este ácido bajo las condiciones del tratamiento utilizado. En otros trabajos se ha reportado que el procesamiento térmico ( $P_{70} > 10$  min) de smoothies (mezcla de fresa, manzana, jugo de manzana, plátano y naranja) redujo los valores de ácido ascórbico donde las muestras tuvieron el menor valor inicial (52.55 mg/100 mL), en comparación con las muestras frescas (81.13 mg/100 L) y las procesadas por tratamientos no térmicos (98.7 por APH), que disminuyó por debajo de los límites detectables a las 10 horas de almacenamiento a 4 °C (Keenan y col., 2013). Se ha observado en bebidas de naranja envasadas asépticamente (10 % jugo de naranja) que la vitamina C se pierde hasta 40 % después de 6 meses en almacenamiento y hasta 75 % a temperaturas de 22-30 °C de almacenamiento. Se ha utilizado a la vitamina C como un compuesto indicador en tratamiento térmicos que van de 80-150 °C, ya que si esta se mantiene durante el procesamiento y el almacenamiento implica que las condiciones han sido relativamente leves (Hiwilepo-van Hal, 2012).

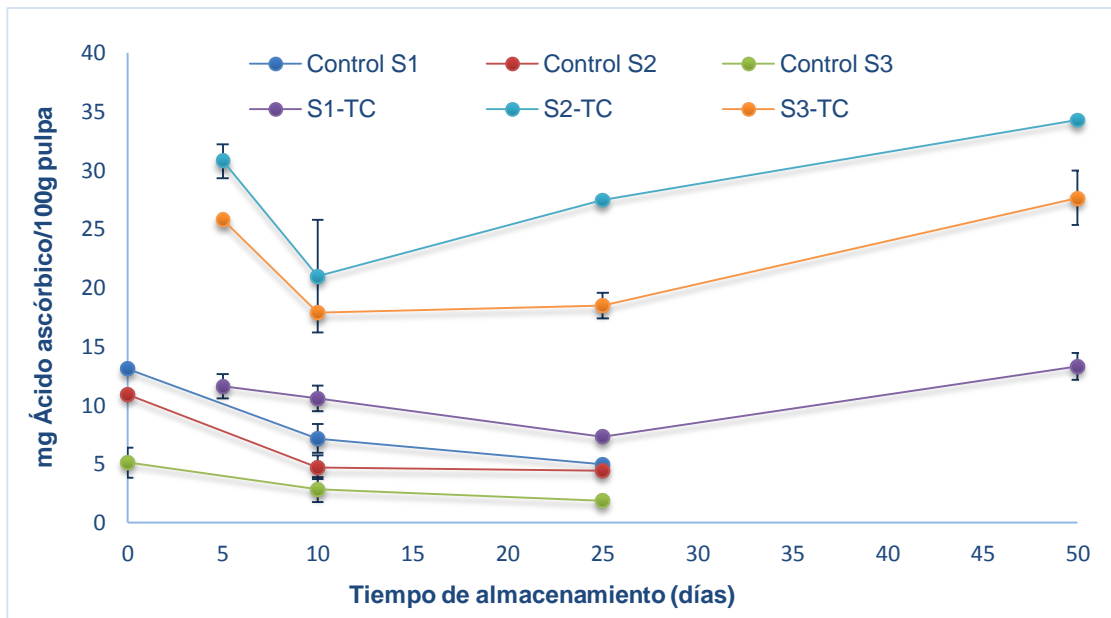


Figura 8. Efecto de TC sobre el contenido de ácido ascórbico.

### 5.3.1.5 Cambios en porcentaje de sólidos totales de bebidas tipo smoothie tratada por TC durante almacenamiento

El porcentaje de sólidos totales de las muestras control incrementó a través del tiempo (Figura 9), obteniendo un valor de 21 %, 23 % y 61 % para la mezcla 1, 2 y 3 respectivamente en el día 25. El porcentaje de sólidos totales de S1-TC incrementó a los 10 días (17 %), disminuyó una unidad a los 25 días (16 %) y nuevamente incrementó hasta 37.7 % al final del almacenamiento. Ocurrió un comportamiento similar en S2-TC y S3-TC.

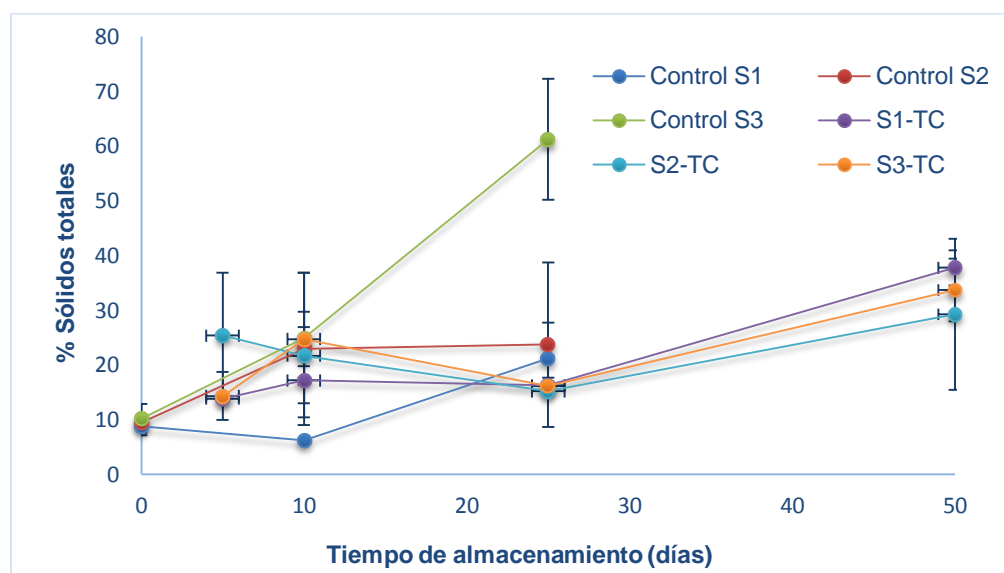


Figura 9. Efecto de TC sobre el porcentaje de ST.

### 5.3.1.6 Cambios en viscosidad de bebidas tipo smoothie tratada por TC durante almacenamiento

La viscosidad de la bebida cambió con el tratamiento de conservación que se le aplicó. El efecto de la temperatura sobre la viscosidad de la bebida es evidente, ya que existe una diferencia marcada entre las muestras control y las muestras procesadas convencionalmente (Figura 10). Las muestras control presentaron valores por debajo de 2000 mPa-s desde el inicio hasta los 25 días de

almacenamiento, solamente la muestra control S1 tuvo un incremento a los 10 días (1871 mPa-s) pero descendió nuevamente.

S1-TC presentó un valor de viscosidad (2369 mPa-s) que se mantuvo constante a través del tiempo de estudio, en cambio S2 tuvo 2082 mPa-s al inicio del almacenamiento y aumentó ligeramente a los 50 días con un valor de 2608 mPa-s. La muestra S3-TC obtuvo el valor más alto de viscosidad al inicio del periodo de almacenamiento, se distinguía fácilmente del resto por su consistencia espesa y durante el almacenamiento mantuvo una viscosidad por encima de los 4000 mPa-s.

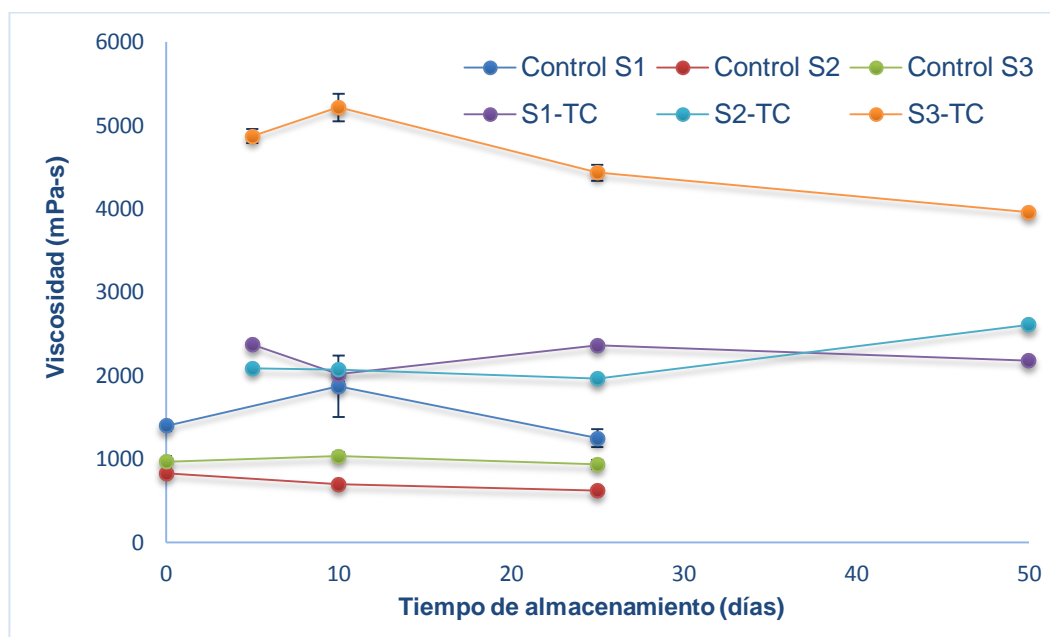


Figura 10. Efecto de TC sobre la viscosidad.

### 5.3.1.7 Cambios en color de bebidas tipo smoothie tratada por TC durante almacenamiento

Durante el estudio se observaron los cambios en los parámetros fisicoquímicos; el color juega un papel importante en la industria de los alimentos ya que de este parámetro depende la aceptación y la acción de compra del consumidor. La



decoloración y el oscurecimiento no enzimático debido a tratamientos térmicos puede resultar de reacciones de Maillard, caramelización y destrucción de pigmentos; por ejemplo, Landl y col., (2010) indicaron en su trabajo que en temperaturas  $\leq 75$  °C la destrucción de pigmentos es el factor responsable de la decoloración de puré de manzana y que a temperaturas máximas de  $73.4 \pm 0.3$  °C en combinación con el pH bajo, almacenamiento en refrigeración y las propiedades de barrera de las bolsas (empaque) inhiben la actividad de la enzima PPO del producto.

El valor de a (Figura 11) en las muestras control aumentó ligeramente a los 25 días de almacenamiento. De manera general el valor de a se redujo en las tres formulaciones, sin embargo, S1-TC tuvo un valor a por encima de S2-TC y S3-TC durante el estudio. En el valor b, las tres formulaciones TC presentaron un ligero descenso durante el almacenamiento (se alejaron ligeramente del amarillo), mientras el valor b de las muestras control fue incrementando. El valor L de las muestras procesadas TC se redujo después del tratamiento indicando que perdieron luminosidad después del tratamiento TC. El valor L en S1 se mantuvo constante durante los 50 días. Mientras S2 y S3 presentaron un leve decaimiento del valor L a los 25 días y al final de estudio alcanzaron valores de 46.3 y 50.2 respectivamente.

Los resultados obtenidos son consistentes con lo reportado por Keenan y col. (2013) quienes encontraron una reducción de los valores L (luminosidad) y a (enrojecimiento) en un smoothie de frutas procesado a  $P_{70} > 10$  min en comparación con las muestras frescas y procesadas a 450 MPa/20 °C/3 min. Así mismo, se ha observado que la calidad de los parámetros de color en pulpa de mango permanece casi constantes después del tratamiento de altas presiones lo que indica la estabilidad de los pigmentos (Landl y col., 2010; Ahmed y col., 2005) así como en puré de melocotón sin agentes antipardeamiento tratado entre 103-517 MPa de 5-25 min el cual mostró un color amarillo brillante equivalente al puré recién preparado (Landl y col., 2010; Guerrero-Beltrán, 2005).

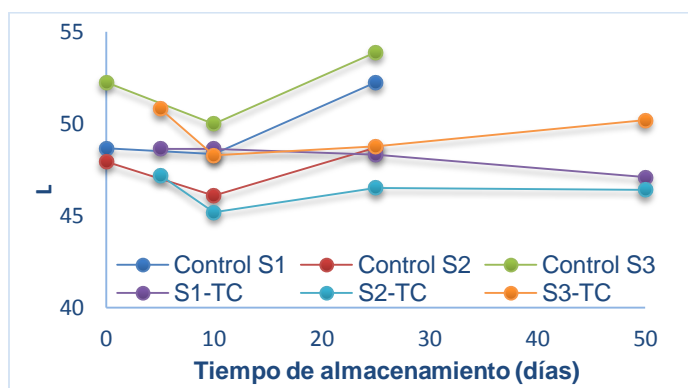
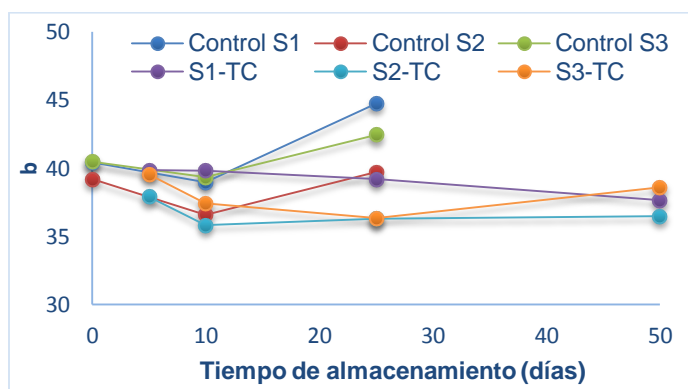
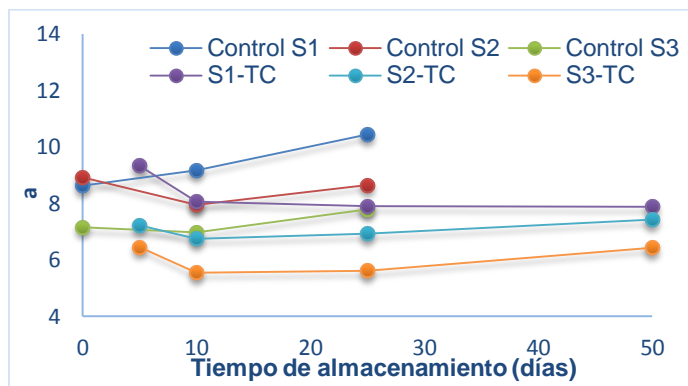


Figura 11. Efecto de TC sobre los parámetros de color a, b y L.

### 5.3.2 Efecto de tratamiento térmico por calentamiento óhmico (TCO)

#### 5.3.2.1 Cambios en pH de bebidas tipo smoothie tratadas por TCO durante almacenamiento

Las muestras TCO presentaron un comportamiento semejante durante el estudio. Las muestras control presentaron un descenso de pH después del tratamiento. En las muestras procesadas se observó un orden decreciente en función de la cantidad de mango, S1 y S3 poseen 45 % de pulpa total mientras que S2 posee 35 %. Aparentemente el calentamiento óhmico impide la caída de pH durante los primeros 25 días y es hasta el día 50 donde se observó el descenso de este parámetro. Hiwilepo-van Hal y col. (2012) reportaron que el pH de jugo de mango no cambia con el tratamiento térmico (80-150 °C) mientras Pataro y col. (2011) obtuvieron resultados similares en duraznos en almíbar. Los autores afirman que el pH no se ve afectado por el tratamiento óhmico. De acuerdo con los resultados se podría decir que el tratamiento térmico (TCO) no ejerce un efecto negativo sobre el pH y este se mantiene con un valor  $\text{pH} < 4$ , tal como marca la norma para néctar de mango NMX-F-057-S-1980, el tratamiento TCO conservó mejores características en acidificación respecto a las muestras tratadas por TC, un efecto atribuible al campo eléctrico.

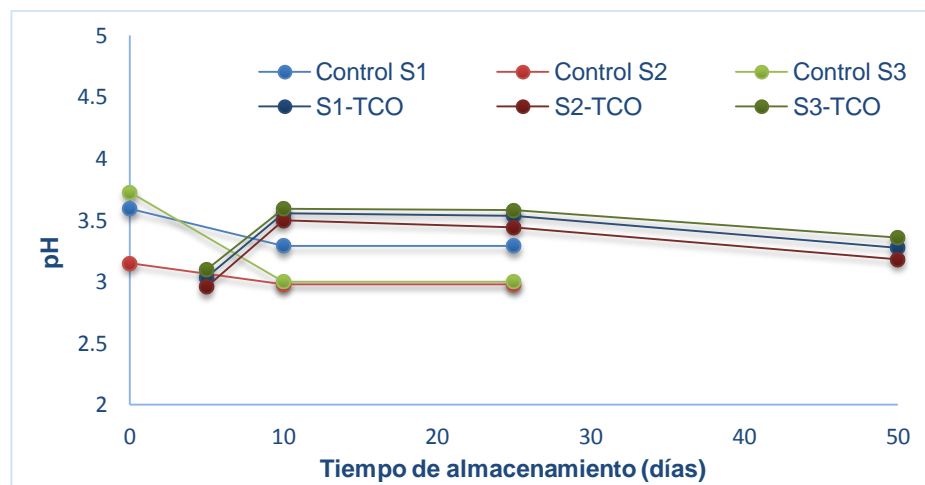


Figura 12. Efecto de TCO (72 °C/15 s) sobre el pH.

### 5.3.2.2 Cambios en sólidos solubles de bebidas tipo smoothie tratadas por TCO durante almacenamiento

También se puede apreciar que el contenido de sólidos solubles de las muestras procesadas por TCO se mantuvo constante a través del tiempo y que es mayor comparado con el de las muestras control (sin tratamiento). En las muestras TCO se incrementaron los sólidos solubles totales a los 10 días del tratamiento y disminuyó ligeramente a los 25 días manteniendo su contenido de sólidos solubles hasta los 50 días de almacenamiento (Figura 13).

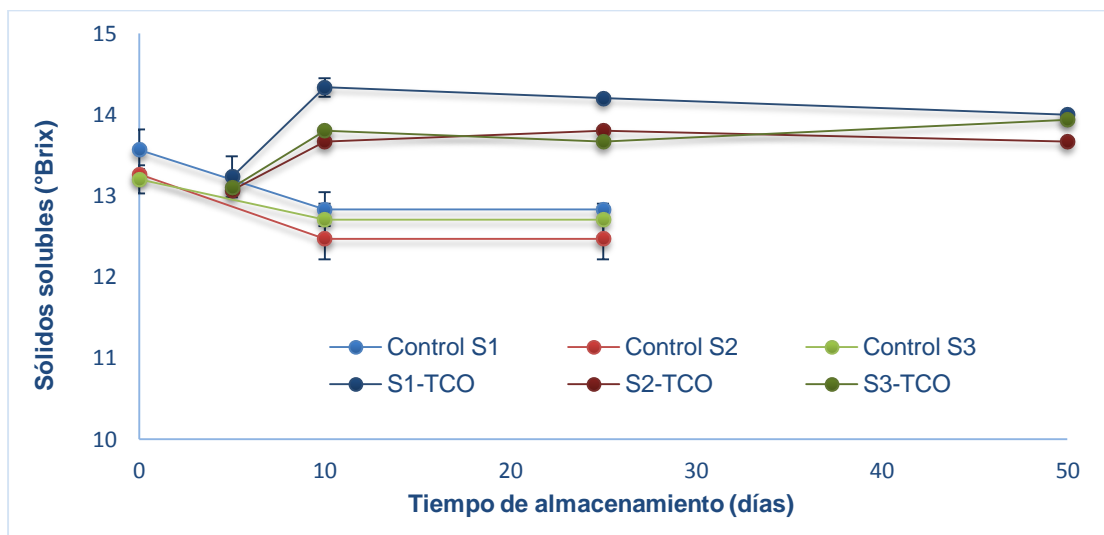


Figura 13. Efecto de TCO sobre el contenido de sólidos solubles.

La formulación S1 presentó el mayor contenido de sólidos solubles durante el estudio, obteniendo un valor de 14 °Brix al final del periodo del almacenamiento, seguido del smoothie 3 con 13.93 y 13.66 para el smoothie 2. De manera general se puede decir que el contenido de sólidos solubles del producto cambia con la aplicación del tratamiento, sin embargo este ayuda a conservar el contenido de sólidos solubles durante el almacenamiento. Además, se puede observar fácilmente que la formulación y el porcentaje total de pulpa influyen directamente en este parámetro, siendo así que S1 (45 % pulpa total) presentó el mayor contenido de

sólidos solubles durante el almacenamiento, seguido de S3 (45 % pulpa) y S2 (35 % pulpa).

### 5.3.2.3 Cambios en porcentaje de acidez de bebidas tipo smoothie tratadas por TCO durante almacenamiento

De manera general, las muestras procesadas por calentamiento óhmico (Figura 14) presentaron un incremento en el porcentaje de acidez a los 5 días, luego disminuyó y se mantuvo constante hasta los 50 días de almacenamiento. Aparentemente la formulación de la bebida no ejerce efecto alguno sobre esta característica y no se observaron diferencias entre las muestras tratadas convencionalmente y las procesadas por calentamiento óhmico.

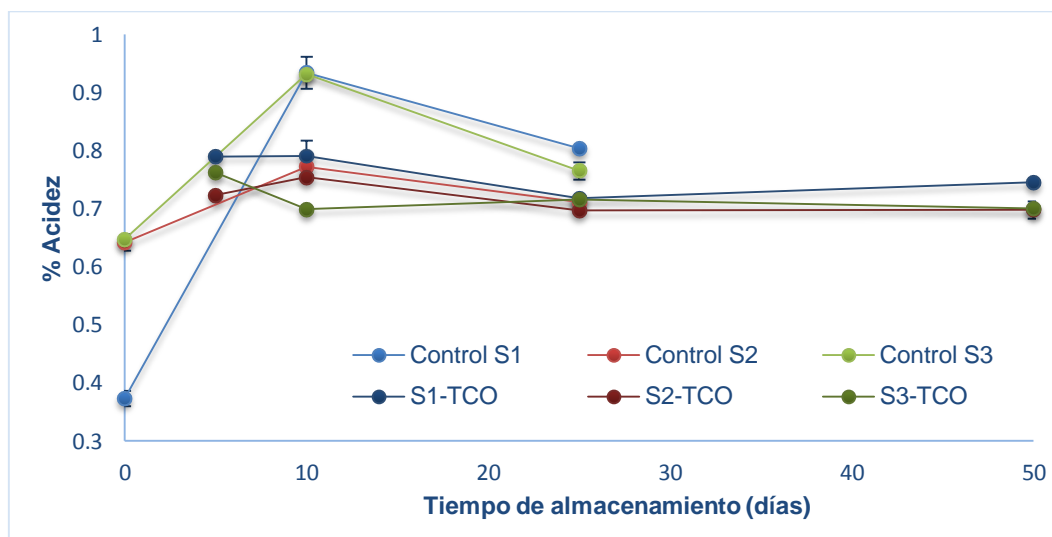


Figura 14. Efecto de TCO sobre el porcentaje de acidez.

### 5.3.2.4 Cambios en ácido ascórbico de bebidas tipo smoothie tratada por TCO durante almacenamiento

S2 y S1 tratados por TCO alcanzaron su máximo valor a los 25 días después del tratamiento con un valor de 36.16 mg/100 g muestra y 31.8 mg/100 g muestra respectivamente (Figura 15); S3 incrementa ligeramente su contenido de ácido ascórbico a los 25 días y se mantiene este valor hasta los 50 días de

almacenamiento. Después del marcado incremento en el contenido de ácido ascórbico de S2 y S1 a los 25 días, desciende hasta 19.5 y 7.95 mg/100 g muestra respectivamente al final del período de almacenamiento. Se ha encontrado que la presencia de un campo eléctrico durante el calentamiento óhmico no afecta por sí mismo la degradación del ácido ascórbico, sin embargo se ha reportado por varios autores una degradación electroquímica por reacción de la superficie del electrodo de acero inoxidable utilizando una frecuencia alterna de 60 Hz. Bajo estas condiciones se pueden esperar reacciones de hidrólisis y corrosión del electrodo; además el ácido ascórbico es un compuesto termolábil y se ha reportado una disminución del 18% de la concentración inicial de ácido ascórbico en duraznos en almíbar utilizando tratamiento óhmico (90 °C/ 72.5 s) (Pataro y col., 2011).

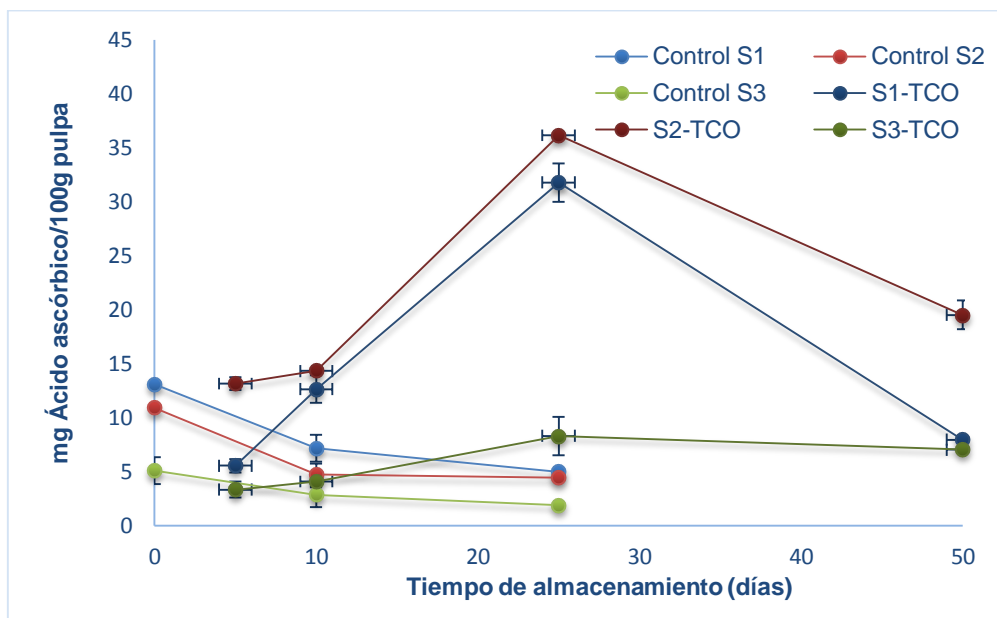


Figura 15. Efecto de TCO sobre el contenido de ácido ascórbico.

### 5.3.2.5 Cambios en porcentaje de sólidos totales de bebidas tipo smoothie tratada por TCO durante almacenamiento

A diferencia de TC, las muestras procesadas TCO (72 °C/15 s) alcanzaron el máximo porcentaje de sólidos totales a los 25 días, siendo S3-TCO la muestra que presentó

el valor más alto (38.63 %), luego se observó un decaimiento de ST en las tres formulaciones hasta un valor de 17 % a los 50 días de almacenamiento (Figura 16).

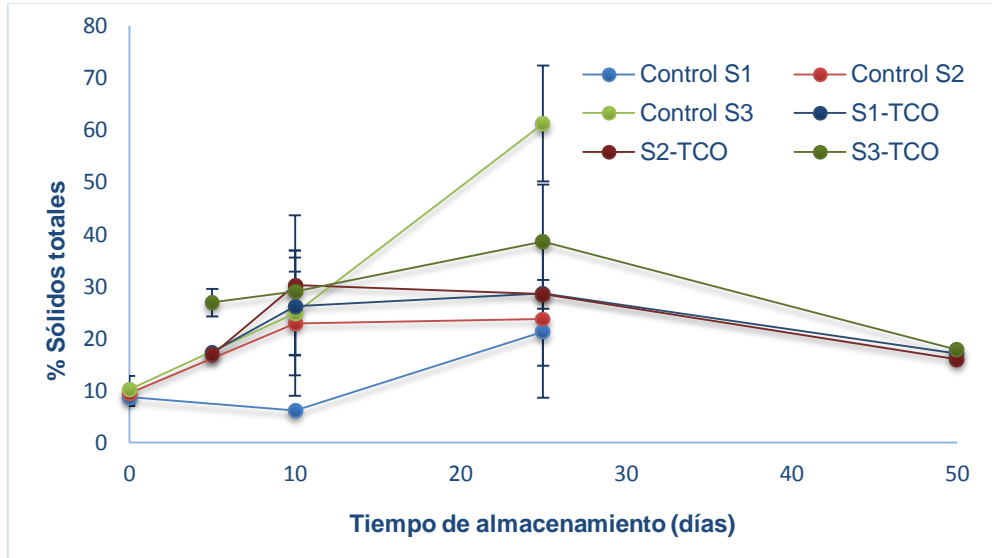


Figura 16. Efecto de TCO sobre el porcentaje de ST.

### 5.3.2.6 Cambios en viscosidad de bebidas tipo smoothie tratada por TCO durante almacenamiento

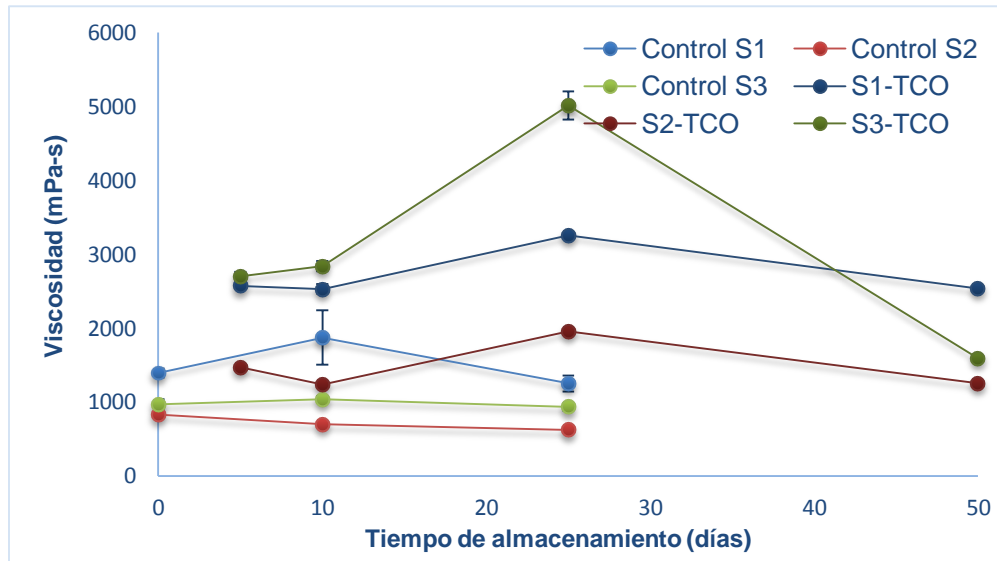


Figura 17. Efecto de TCO sobre la viscosidad.

El comportamiento de los smoothies procesados a 72 °C/15 s utilizando calentamiento óhmico es distinto del comportamiento de las muestras tratadas por pasteurización convencional.

Las muestras procesadas por calentamiento óhmico incrementaron su viscosidad ligeramente y alcanzaron su pico máximo a los 25 días siendo S3 la formulación que presentó el valor más alto (5009 mPa-s), seguido de S1 con 3249 mPa-s y S2 apenas alcanzó 1958 mPa-s. S3 descendió hasta 1586 mPa-s, S1 a 2531 mPa-s y el S2 a 1255 mPa-s al final del periodo de almacenamiento.

### 5.3.2.7 Cambios en conductividad de bebidas tipo smoothie tratadas por TCO durante almacenamiento

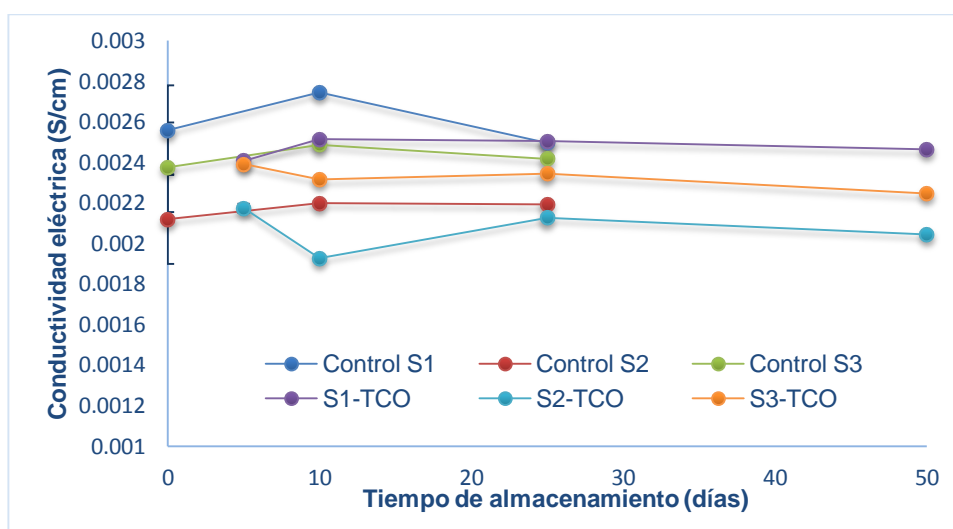


Figura 18. Efecto de TCO sobre la conductividad eléctrica.

La conductividad eléctrica es una propiedad que indica la capacidad de un producto para conducir una corriente eléctrica y depende de la composición del producto.

Están reportados valores de conductividad eléctrica (S/m) y coeficientes (1/C) para algunos productos como papa (0.04 y 0.28 respectivamente), zanahoria (-0.218 y -0.064), camote (-0.149 y -0.07), pollo (0.194 y 0.036) y carne (0.264, 0.027) (Palaniappan y Sastry, 1991). De esta propiedad depende la selección de un alimento u otro como candidatos para ser procesados o no por tecnologías como



campos eléctricos pulsados o calentamiento óhmico, ya que estas tecnologías necesitan de alimentos con propiedades de conducción eléctrica.

La conductividad eléctrica no es la misma para cada variedad de mango, esto debido a la naturaleza del producto y la estandarización de esta propiedad modificaría atributos sensoriales y nutricionales. Estudios indican que la variedad Ataulfo (32.38 S/m) presenta una mayor conductividad, le siguen la variedad Manila, Paraíso y Tommy Atkins (17.3 S/m) en orden descendente (Díaz, 2013). Estos valores impactan sobre el tiempo de calentamiento, ya que a una mayor conductividad la pendiente de calentamiento será mayor.

La conductividad eléctrica de las muestras fue medida a 15 °C en S1, S2 y S3. Se presentó un descenso a los 10 días después del tratamiento y a partir de este punto se mantuvo constante. De acuerdo con esto, las formulaciones con mayor porcentaje de la variedad Ataulfo (S1 y S2) permitieron una mejor conducción de la corriente eléctrica durante el procesamiento, lo que debería impactar positivamente en las características fisicoquímicas y nutricionales durante el almacenamiento.

#### **5.3.2.8 Cambios en color de bebidas tipo smoothie tratada por TCO durante almacenamiento**

El valor de *a* (Figura 19) disminuyó ligeramente después del tratamiento TCO y se mantuvo constante durante el estudio. EL valor *b* presentó una disminución después del tratamiento y continuó disminuyendo lentamente durante el estudio. También disminuyó ligeramente el valor *L* (luminosidad) sin embargo se mantuvo sin variaciones importantes durante el estudio. En general, la pérdida del valor de *a* y *b* son indicadores de tonalidades ligeramente verdosas. La pérdida de color puede deberse también al deterioro microbiano, sin embargo las formulaciones procesadas por TC se mantuvieron dentro de los límites de seguridad durante el almacenamiento. Estudios en jugo de albaricoque (chabacano) tratado óhmicamente y almacenado a 25 °C durante 52 semanas demostraron que se conservó la apariencia del producto y sólo el producto sin procesar presentó descomposición después de dos semanas de almacenamiento (Pataro y col., 2011).

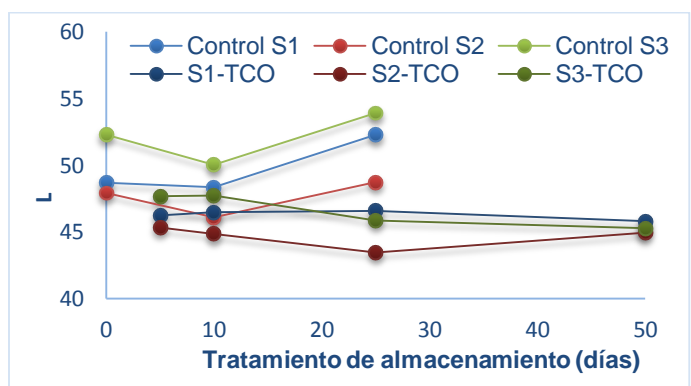
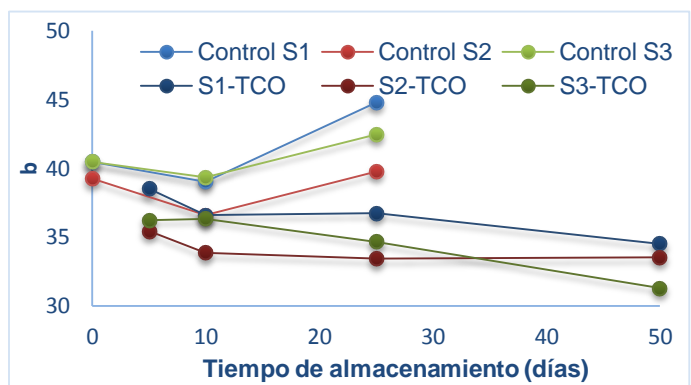
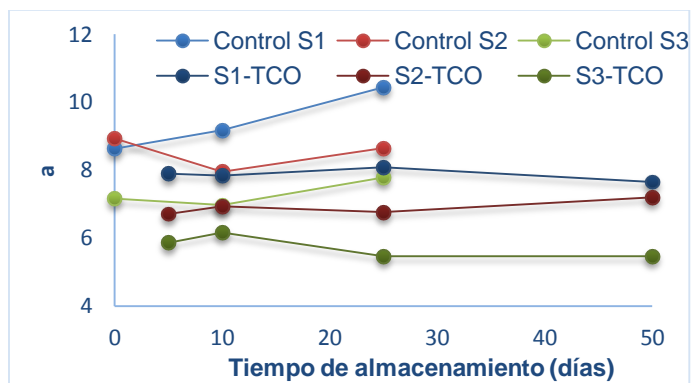


Figura 19. Efecto de TCO sobre los parámetros de color.

### **5.3.3 Efecto de tratamiento altas presiones hidrostáticas (APH)**

En APH, la presión ejercida sobre los productos es homogénea en cualquier punto de su superficie; así, esta presión se transmite de manera uniforme a través del medio y es independiente de la geometría del alimento (Rawson y col., 2001; Landl y col., 2010). El efecto de las APH sobre las características de calidad de los alimentos se ha atribuido principalmente a la estabilidad de los enlaces covalentes a alta presión (Knorr, 1993; Landl y col. 2010).

#### **5.3.3.1 Cambios en pH de bebidas tipo smoothie tratadas por APH durante almacenamiento**

El crecimiento y tipo de flora microbiana dependen en gran medida del valor de pH de un producto; debido a esto, este parámetro tiene un papel importante en la intensidad y eficacia del proceso térmico (pasteurización) de la bebida. La intensidad del tratamiento considera la carga microbiana inicial de un producto y por esta razón los programas de desinfección y saneamiento así como de control son indispensables en cualquier procesamiento alimentario. En este estudio se utilizó una temperatura de 72 °C por 15 s (pasteurización suave), sin embargo se han utilizado temperaturas en un intervalo de 95-105 °C por 10 s en jugo de naranja, seguido de un enfriamiento hasta 10 °C y su posterior almacenamiento (Torres y Sylos, 2007). Walkling-Ribeiro y col. (2010) aplicaron una pasteurización leve (72°C durante 15 s) en una bebida tipo smoothie de frutas frescas y leche de coco (Walkling-Ribeiro y col., 2010).

Las tres formulaciones bajo las tres condiciones de presión/tiempo estudiadas en este trabajo presentaron un comportamiento semejante respecto al tiempo con valores de pH fluctuantes y diferencias constantes del valor de pH entre muestras en cada análisis (Figura 20). Todos los tratamientos mantuvieron el valor de pH < 3.8. Está reportado que un néctar sin adición de conservadores, posee una vida útil en refrigeración de 10 a 15 días, después ocurre un aumento en el contenido de acidez y cambios adversos en el sabor como signos de deterioro (FAO, 2006). Aunque esto

se ha observado en productos no procesados, es consistente con los resultados obtenidos en este estudio.

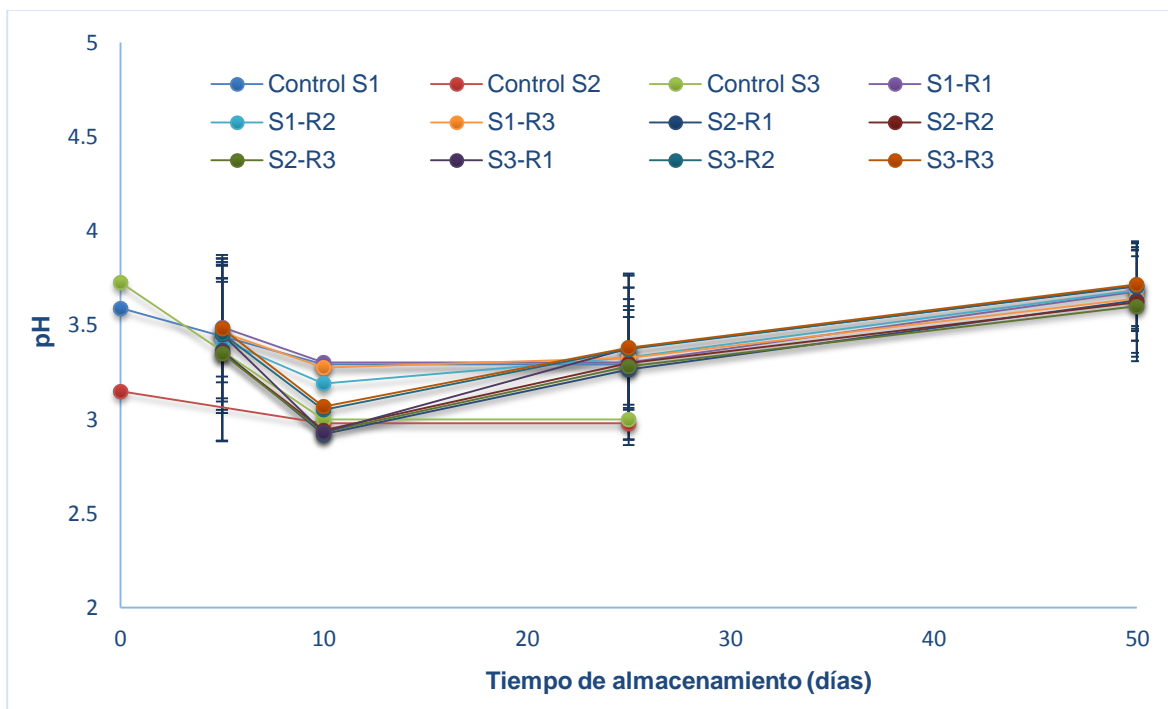


Figura 20. Efecto de APH sobre el pH.

### 5.3.3.2 Cambios en sólidos solubles de bebidas tipo smoothie tratadas por APH durante almacenamiento

A nivel de proceso es importante el grado de maduración de un fruto, ya que la adición de azúcares dependerá de los sólidos solubles totales al inicio del proceso.

La aplicación de APH en la bebida tuvo un efecto distinto. De manera general no se observa cambio alguno por la combinación P/t durante el periodo de almacenamiento (Figura 21), ya que al inicio aparece una pendiente negativa en S1 (a) y S2 (b) bajo las tres condiciones P/t y a partir de los 25 días comienza a incrementar el valor de °Brix. S1-R3 sufre un decaimiento de °Brix que se prolonga durante los 50 días del estudio, indicador del deterioro de la muestra.

Ocurrió un comportamiento distinto en S3 (c), ya que el incremento del contenido de sólidos solubles es constante durante el almacenamiento. Por lo anterior se puede decir que una presión alta (600 MPa) produce el mismo efecto que una presión baja (450 MPa) sobre el contenido de sólidos solubles, es decir, no afecta este parámetro que ya todas las muestras tienden a incrementar su contenido de sólidos solubles en el tiempo.

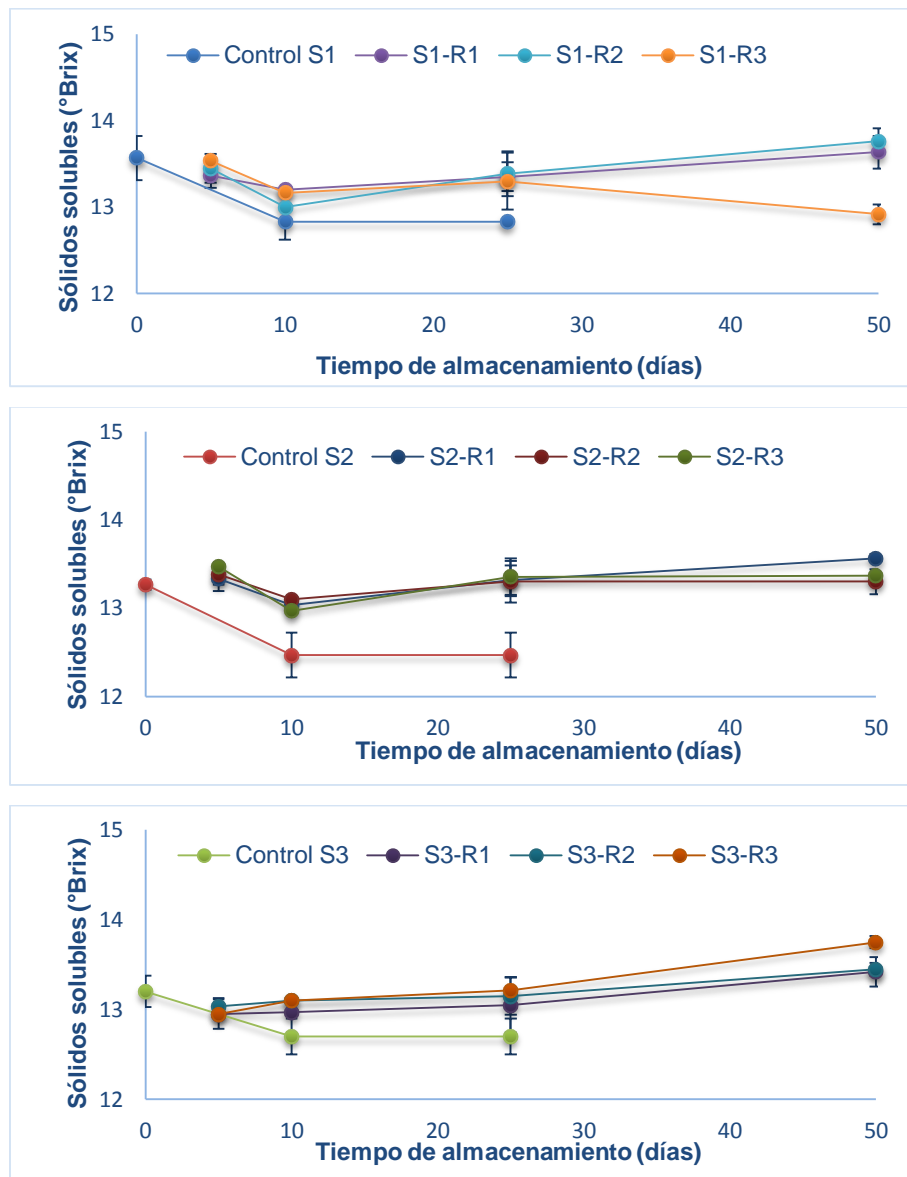


Figura 21. Efecto de APH sobre el contenido de sólidos solubles en S1, S2 y S3.

### 5.3.3.3 Cambios en porcentaje de acidez de bebidas tipo smoothie tratadas por APH durante almacenamiento

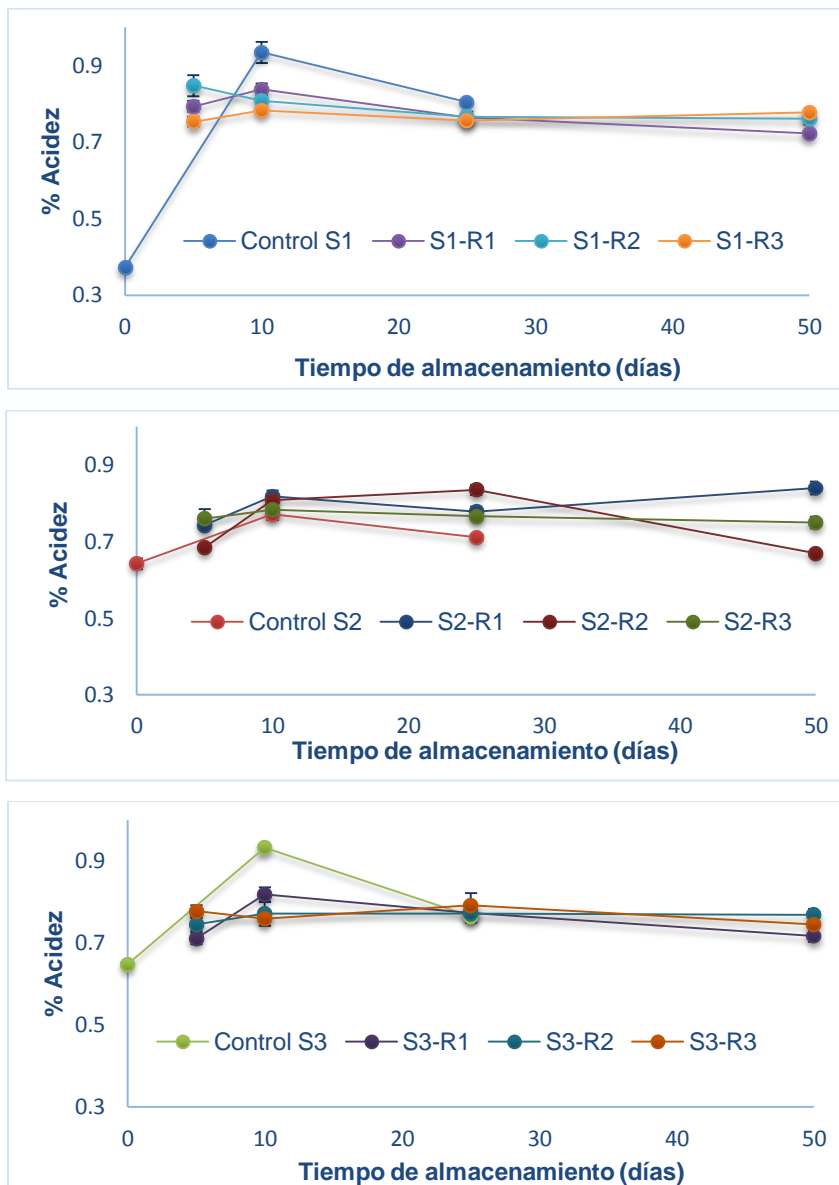


Figura 22. Efecto de APH sobre el porcentaje de acidez en S1, S2 y S3.

Las muestras procesadas por APH presentaron un incremento en el porcentaje de ácido cítrico a los 5 días después del tratamiento comparadas con las muestras control (Figura 22) y se mantuvieron durante el almacenamiento sin variaciones importantes. La técnica de análisis utilizada hace una distinción parcial de ácidos por

lo que no es posible asegurar por completo que se trata de ácido cítrico ya que podría tratarse de algún producto de desecho de microorganismos deterioradores o cambios bioquímicos y/o enzimáticos.

El porcentaje de acidez de las formulaciones aparece en el mismo rango (0.7-0.8 %) para las muestras TC, TCO y APH; de acuerdo con esto se puede sostener que el tratamiento no afecta el valor de este parámetro y que la formulación de los smoothies no genera alguna variación dentro de cada tratamiento.

#### **5.3.3.4 Cambios en ácido ascórbico de bebidas tipo smoothie tratada por APH durante almacenamiento**

El ácido ascórbico además de ser un nutriente, se utiliza ampliamente en la industria de alimentos como antioxidante natural y para mejorar el tiempo de conservación de productos a base de frutas. La estabilidad de la vitamina C es importante porque es la más lábil de las vitaminas, siendo ésta un índice de factor de calidad en alimentos procesados (Polydera y col., 2003). Un problema asociado con los jugos de fruta (principalmente en jugo de naranja) es la pérdida de este ácido durante el procesamiento o el almacenamiento. Durante el almacenamiento el ácido ascórbico se degrada siguiendo dos vías consecutivas o en paralelo, aeróbicamente y anaeróbicamente, con tasas de velocidad en función de las condiciones de almacenamiento, envasado y el método de procesamiento empleado durante la producción (Polydera y col., 2003).

En el contenido de ácido ascórbico, las formulaciones tuvieron comportamientos distintos (Figura 23) durante el almacenamiento; sin embargo, se puede destacar que para el día 50 se obtuvo el mismo nivel de ácido en la mayoría de las muestras. En el día 5 fue medido un incremento en el contenido de ácido ascórbico de la formulación 1 comparada con la muestra control, sin embargo las formulaciones S2 y S3 presentaron un descenso comparadas con las muestras control respectivas. Esto podría deberse al aporte de vitamina C de la variedad Ataulfo en la formulación S1. Aunado a esto, es evidente el efecto de la dilución, ya que las variedades se encuentran en proporciones iguales en S1 y S2, sin embargo la segunda formulación

(S2) está 10 % más diluida; por último, quedó S3 debido a la menor proporción de la variedad Ataulfo en la mezcla. En resultados anteriores se muestra como la variedad Ataulfo (68 mg/100 mL) tiene 10 veces más vitamina C que la variedad Haden (4.45 mg/100 mL) y Manila (3.2 mg/100 mL) (Cuadro 4).

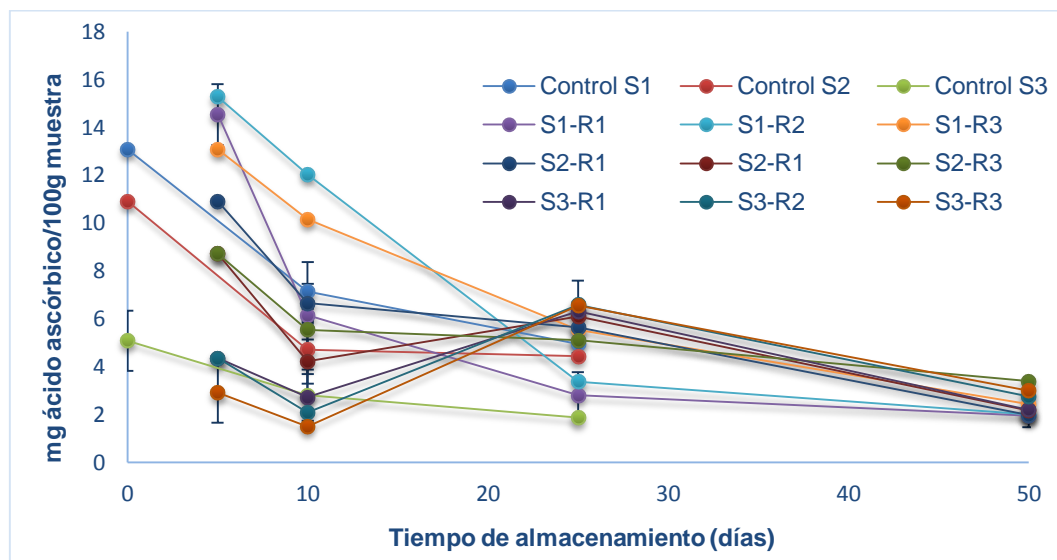


Figura 23. Efecto de APH sobre el contenido de ácido ascórbico.

Estos datos se contradicen con otros trabajos que reportan 98.7y 90.5 mg/100 mL de ácido ascórbico retenido en un smoothie de frutas tratado a 450MPa/20°C/3min y 600 MPa/20 °C/10 min (Keenan y col., 2013) ya que el tratamiento de APH se considera menos destructivo para este ácido en comparación con el tratamiento térmico. También se ha reportado una rápida pérdida de ácido ascórbico para los smoothies frescos, procesados térmicamente y por APH después de sólo un día de almacenamiento a 4 °C, sin embargo a altas presiones ,600 MPa, la velocidad de deterioro de las muestras fue considerablemente menor (Keenan y col., 2013).

Hay estudios sobre el contenido de ácido ascórbico en puré de guayaba almacenado a 4 °C, donde demostraron que el producto no exhibió cambios en el contenido de ácido ascórbico durante 40 días comparado con las muestras frescas, utilizando una presión de 600 MPa a 25 °C por 15 min. El ácido ascórbico en puré sin tratamiento y presurizado (400 MPa/15 min) comenzó a disminuir después de 10 y 20 días



respectivamente. Es importante mencionar que a presión constante, el aumento de temperatura aumenta la degradación de la vitamina C; por ejemplo la pérdida de 20-25 % a 40 °C; 45-50 % a 60 °C y 60-70 % a 75 °C a 600 MPa (durante 40 min) en el zumo de piña (Rawson y col., 2001); sin embargo en este estudio se incrementó únicamente la presión y el tiempo de exposición. Algunos trabajos reportan una pérdida menor al 20% de ácido ascórbico en jugo de naranja durante tres meses a 4 °C después del procesamiento a 800 MPa /25 °C/1 min (Polydera, 2003; Nienaber & Shellhammer, 2001). Polydera y col. (2003) obtuvieron un porcentaje de retención de ácido ascórbico en jugo de naranja presurizado (500 MPa, 35 °C, 5 min) y almacenado por 1 mes a 5 °C de 70 % y 79 % en botellas y bolsas flexibles, respectivamente; mientras el tratamiento térmico (80°C, 30 s) condujo a una retención del 57 % y 77 % cuando se utilizaron botellas plásticas y bolsas flexibles, respectivamente. Sus resultados muestran tasas de pérdida menores en el jugo presurizado lo que condujo a una ampliación de la vida útil en comparación con el jugo pasteurizado convencionalmente. (Polydera y col., 2003). Landl y col. (2010) reportaron un 14.5 % de contenido residual de ácido ascórbico (día 0) para puré de manzana procesado a 600 MPa comparado con 57 % encontrado para 400MPa y un 61.5 % en puré pasteurizado. Al día 21, había una disminución de ácido ascórbico del 79 % para el puré pasteurizado, 97 % y 94.5 % para el puré presurizado a 400 y 600 MPa respectivamente (Landl y col., 2010). En la bibliografía se reporta que la mayor pérdida de vitamina C en los alimentos no cítricos ocurre durante el calentamiento (Awuah y col., 2007). Debido a esto, algunas bebidas son adicionadas con ácido ascórbico.

#### **5.3.3.5 Cambios en porcentaje de sólidos totales de bebidas tipo smoothie tratada por APH durante almacenamiento**

El contenido de sólidos totales en las muestras sin tratamiento se incrementó paulatinamente durante el almacenamiento. El control S3 alcanzó hasta 61 % a los 25 días de almacenamiento.

Las muestras procesadas presentaron un descenso a los 10 días después del tratamiento, sin embargo, a partir de este punto se mantuvieron sin variaciones

significativas hasta el final del estudio. Estos resultados demuestran que la aplicación de APH tiene un efecto positivo en la conservación de la bebida, ya que bloquea al agente causante de deterioro y/o afecta en menor grado este parámetro.

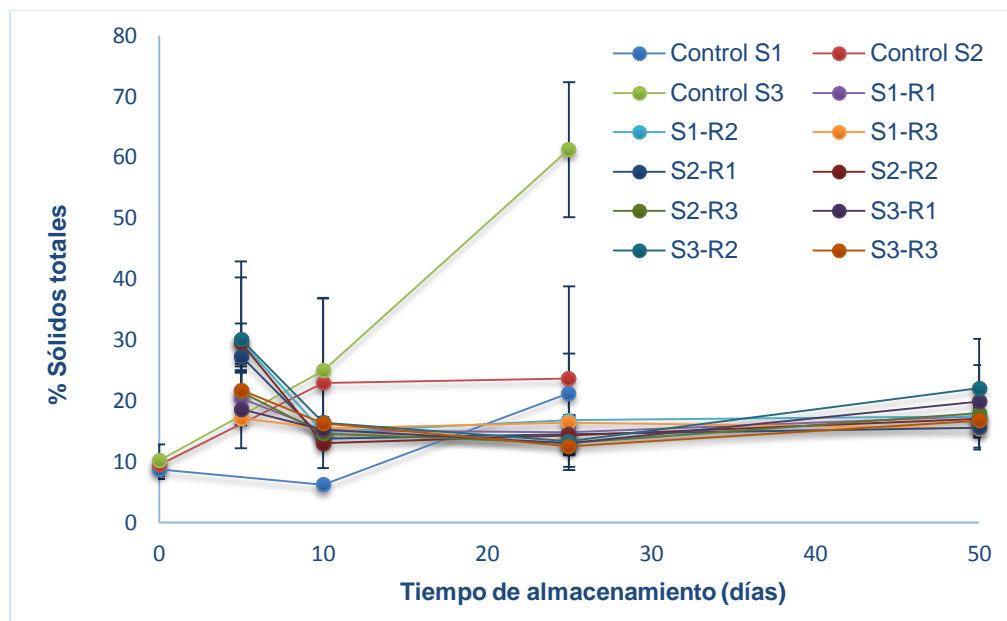


Figura 24. Efecto de APH sobre el porcentaje de ST.

### 5.3.3.6 Cambios en viscosidad de bebidas tipo smoothie tratada por APH durante almacenamiento

En los cambios observados en viscosidad respecto al tiempo de almacenamiento se muestran en la Figura 25. Las muestras S1 obtuvieron los valores más altos de viscosidad; esta tendencia se mantuvo constante con valores por arriba de 650 MPa durante el estudio. Esto se debe a que la formulación S1 posee mayor cantidad de mango de la variedad Ataulfo (80% de la formulación), mientras el contenido de esta variedad disminuye conforme la dilución en S2. La formulación S3 sólo contiene 33 % de la variedad Ataulfo en este respecto. Polydera y col. (2003) observaron que la consistencia del jugo de naranja pasteurizado no cambió de manera significativa durante el almacenamiento a 15 °C, por lo que concluyen que la viscosidad aparentemente es casi constante. En cambio, en el jugo presurizado el índice de consistencia aumentó con el tiempo de almacenamiento.

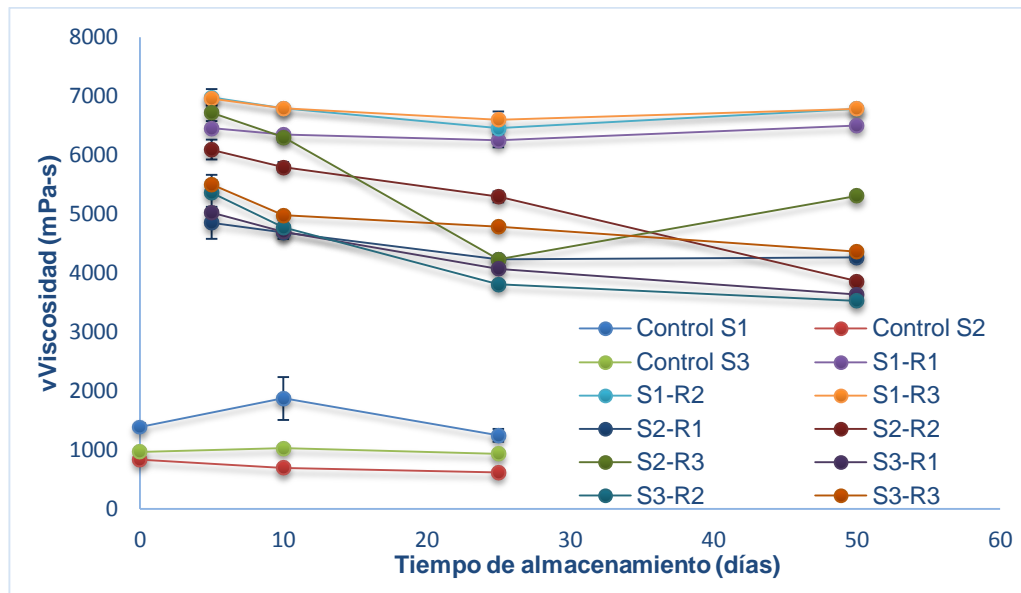


Figura 25. Efecto de APH sobre la viscosidad.

La viscosidad en S2 y S3 disminuyó en el día 50 de almacenamiento. Además de esto, es evidente un incremento en la viscosidad de las tres formulaciones con respecto de las muestras sin tratamiento. De acuerdo con el comportamiento de S1, la viscosidad fue más afectada por la composición de la muestra que por el tratamiento utilizado, es decir que la diferencia de presión/tiempo no tuvo un efecto importante en los valores de viscosidad del smoothie, según los resultados obtenidos, ya que en los tres tratamientos S1 se mantuvo constante durante el almacenamiento.

Investigadores han afirmado que la viscosidad de la pulpa de mango se incrementa después de tratamientos de APH a 100 o 200 MPa (20 °C/15 o 30 min), mientras que una reducción de la viscosidad se observa después de los tratamientos a 300 y 400 MPa (20 °C/15 o 30 min) (Oey y col., 2008; Landl y col., 2010).

Los cambios de textura en las frutas y verduras pueden estar relacionados con transformaciones en los polímeros de la pared celular, debido a reacciones enzimáticas y no enzimáticas. Debido a la rotura de las células, el procesamiento de

APH facilita la aparición estas reacciones. Sustratos, iones y enzimas que se encuentran en diferentes compartimentos en las células y pueden ser liberados e interactuar unos con otros durante el tratamiento (Oey y col., 2008).

Para jugo de naranja Valencia y Navel, Bull y col. (2004) no encontraron diferencias significativas entre los jugos tratados por APH y pasteurización en pH, Brix, viscosidad y acidez titulable, además estos parámetros no cambiaron significativamente durante el almacenamiento. En comparación con jugo de naranja sin tratamiento, APH y tratamiento térmico no tuvieron efecto sobre el color del jugo. Los resultados mostraron que hubo un aumento de la diferencia total de color con el tiempo, independientemente del tratamiento.

Se ha reportado que la viscosidad de pulpa de mango incrementa después de tratamientos moderados de altas presiones de 100-200 MPa /15-20 min a 20 °C mientras esta decrece a niveles de presión más altos entre 300-400 MPa.

#### **5.3.3.7 Cambios en color de bebidas tipo smoothie tratada por APH durante almacenamiento**

Una de las características más importantes de los alimentos, es su color, ya que de eso depende el grado de aceptación.

Se han estudiado los cambios de color en pulpas de mango después de tratamientos de APH en 100-400 MPa/20 °C/15-20 min. Ahmed y col., (2005) observaron que los parámetros de color tales como (a / b), los valores de croma y matiz de pulpas de mango se mantuvieron constantes después del tratamiento de APH, lo que indica la estabilidad del pigmento, al mismo tiempo que aumenta la intensidad de la presión disminuyó el valor de  $\Delta E$  (Oey y col., 2008).

Es evidente la influencia de la formulación ya que desde el inicio se observaron las diferencias de color entre las muestras control (Figura 26). S1 y S2 tienen en mayor proporción la variedad Ataulfo (80 % de la formulación), la cual posee un alto contenido de ácido ascórbico, y ambas formulaciones presentaron una tonalidad amarillo-naranja; sin embargo S1 tiene un porcentaje mayor de pulpa (45 % pulpa total) en comparación con S2 (35 % pulpa total) lo que visualmente le otorga un color

más brillante. De acuerdo con los resultados obtenidos en la caracterización de las variedades, la variedad Ataulfo presentó 68 mg ácido ascórbico/100 mL muestra (Cuadro 4) que es 10 veces más que el valor promedio del contenido de ácido en la variedad Manila y Haden. S3 presentó una coloración verdosa desde el inicio; la formulación contiene 45 % de pulpa total sin embargo la proporción de variedades de mango era equivalente (33 % Ataulfo, 33 % Manila y 33 % Haden), por lo que esta tonalidad está determinada por la variedad Haden.

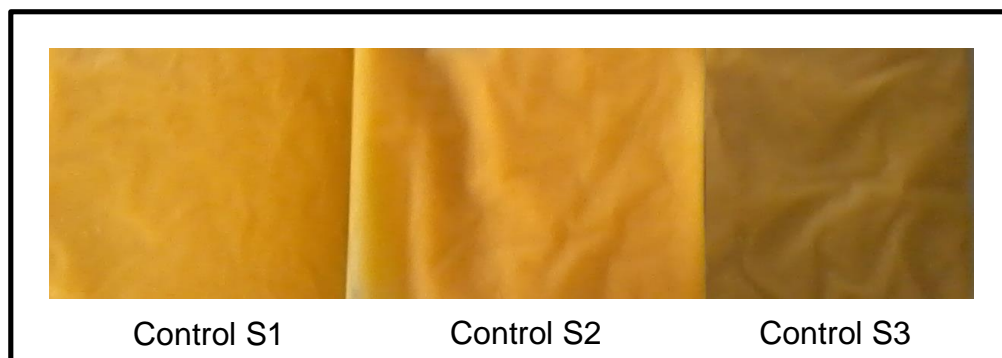


Figura 26. Apariencia de las formulaciones S1, S2 y S3 al inicio del estudio.

En las muestras procesadas por APH, se conservó el valor de a, b y L durante la vida de anaquel (Figura 27). El valor de a presentó algunos cambios durante el estudio y el valor de b se mantuvo constante durante los 50 días de almacenamiento; sin embargo el valor L disminuyó a los 5 días después del tratamiento hasta los 10 días, a partir de este punto se mantuvo constante hasta el final del periodo de almacenamiento. El valor de a, b y L de las muestras control incrementó ligeramente a través del tiempo. Ocurrieron cambios en el valor de a para las muestras tratadas con APH; estos cambios pueden atribuirse a la inactivación enzimática incompleta, ya que las condiciones de proceso fueron insuficientes para completar la inactivación de las enzimas oxidativas en el smoothie de frutas (Keenan y col., 2011). De manera general, los resultados demuestran que no existe variación entre los tratamientos utilizados.

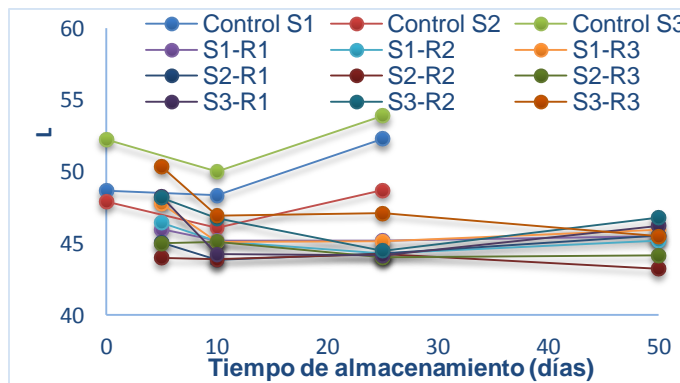
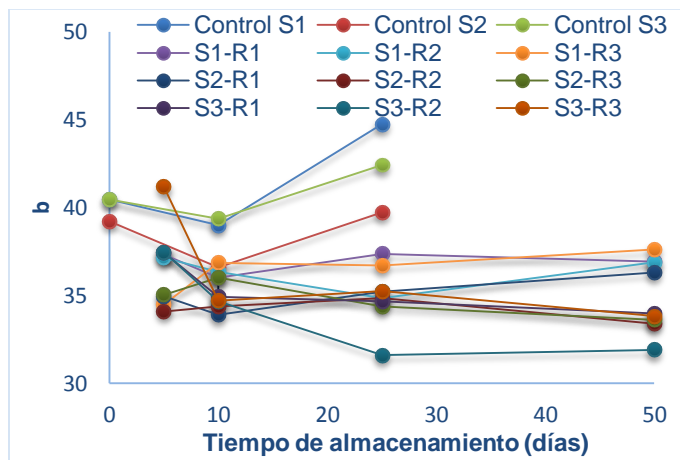
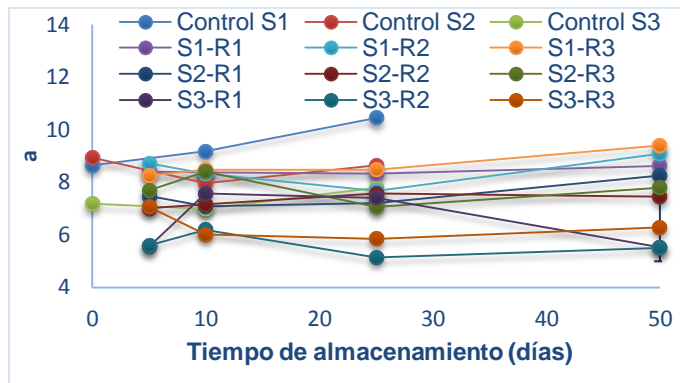


Figura 27. Efecto de APH sobre los parámetros de color.

Sin duda durante la elaboración de la bebida se añade una cantidad de aire considerable a la mezcla, haciendo al producto más susceptible a la oxidación. Keenan y col. (2011) mencionan que la introducción de oxígeno durante la homogenización de las formulaciones provoca que las enzimas oxidativas

intercelulares (Polifenol oxidasa) y antioxidantes entren en contacto, lo que lleva a la degradación de estos compuestos debido a la actividad enzimática y oxidativa.

Respecto a los cambios registrados, Oey (2008), Guerrero-Beltran y col. (2005) observaron oscurecimiento enzimático en puré de mango tratado con altas presiones (379-586 MPa/25 °C/ 0.033, 5, 10, 15 o 20 min). Polydera y col. (2003), encontraron decoloración (basado en los valores de L, a y b) en jugo de naranja reconstituido y tratado por altas presiones (500 MPa/35 °C/5 min) almacenado (0, 10, 15 °C por 120 días) y la tendencia de degradación no fue significativamente diferente entre el jugo tratado térmicamente y el de altas presiones.

## 6. CONCLUSIONES

En este estudio se evaluó el efecto de las altas presiones hidrostáticas, calentamiento óhmico y la pasteurización convencional en la conservación de las propiedades fisicoquímicas de una bebida de mango tipo smoothie.

De acuerdo con los resultados, el pH y sólidos solubles totales de la bebida no se alteraron por el tratamiento térmico convencional. El contenido de ácido cítrico de la bebida no se modificó por el tratamiento de pasteurización, calentamiento óhmico o alta presión hidrostática y el porcentaje se conservó durante el almacenamiento. Los resultados obtenidos en el contenido de ácido ascórbico no mostraron una tendencia clara de la conservación y/o degradación durante el almacenamiento, debido a esto no es posible asegurar que la alta presión hidrostática y el calentamiento óhmico son tecnologías capaces de conservar este ácido. No se encontraron cambios en el valor de a, b y L de las bebidas tratadas térmicamente, ya que se utilizó una pasteurización suave (72°C/15s). El nivel de presión utilizado inactivó la enzima endógena pro-oxidante durante el tratamiento lo que permitió la conservación del color de la bebida. Es importante seleccionar las condiciones de procesamiento más adecuadas según el tipo de alimento, considerando otros factores adicionales a la estabilidad microbiológica ya que un exceso de presión puede generar un producto organolépticamente no aceptado.

Es necesario llevar a cabo más investigación acerca de tratamientos alternativos como alta presión hidrostática y calentamiento óhmico que permita comprender mejor su efecto sobre las propiedades fisicoquímicas de alimentos particulados. Además se requieren estudios adicionales que permitan encontrar el nivel de presión óptima y tiempo de tratamiento en los productos procesados por alta presión y que sean evaluados mediante pruebas de aceptación.



## 7. REFERENCIAS

**Ahmed** J, Ramaswamy H S, Hiremath N. The effect of high pressure treatment on rheological characteristics and colour of mango pulp. *International Journal of Food Science and Technology* **2005**;40:885-895.

**Association of Official Analytical Chemists**. Official Methods of the Association of Analytical Chemists, Washington, DC. Association of Official Analytical Chemists, **1980**.

**Association of Official Analytical Chemists**. Official Methods of the Association of Analytical Chemists, Washington, DC. Association of Official Analytical Chemists, **1998**.

**Awuah** GB, Ramaswamy HS, Economides A. Thermal processing and quality: principles and overview. *Chemical Engineering and Processing* **2007**;46:584-602.

**Badui-Dergal** S. Química de los alimentos. 4ta edición. México: Pearson Educación, **2006**: 61, 62.

**Baiano** A, Mastromatteo M, Del Nobile M A. Effects of cultivar and process variables on dynamic-mechanical and sensorial behavior of value-added grape-based smoothies. *Molecules* **2012**;17:11421-11434.

**Barrett** DM, Lloyd B. Advanced preservation methods and nutrient retention in fruits and vegetables. *J Sci Food Agric* **2011**;92:7-22.

Bolthouse Farms. [serie en internet] [consultado 2013 febrero 03]. Disponible en: [www.bolthouse.com/.../smoothies](http://www.bolthouse.com/.../smoothies).

**Bon** J, Vázquez H, Benedito J, Telis-Romero J. Thermophysical properties of mango pulp (*Mangifera indica* L. cv. Tommy Atkins). *Journal of Food Engineering*. **2010**; 97:563-568.

**Boynton** BB, Sims C A, Sargent S, Balaban M O, Marshall M R. Quality and stability of pre-cut mangos and carambolas subjected to high pressure processing. *Journal of Food Science* **2002**;67:409-415.

**Bull** MK, Zerdin K, Howe E, Goicoechea D, Paramanandhan P, Stockman R, Sellahewa J, Szabo E A, Johnson R L, Stewart C M. The effect of high pressure processing on the microbial, physical and chemical properties of Valencia and Navel orange juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* **2004**;5:135-149.

CODEX STAN, 2005. Norma general del CODEX para zumos (jugos) y néctares de frutas. Disponible en:

[www.codexalimentarius.org/input/download/standards/.../CXS\\_247s.pdf](http://www.codexalimentarius.org/input/download/standards/.../CXS_247s.pdf)

**Cornell** J A. Experiments with Mixtures. John Wiley & Sons. **2002**.

**Díaz-Cruz** C A. Informe sobre caracterización de la conductividad eléctrica de distintas variedades de mango. **2013**.

FAO, 2006. Fichas técnicas: Productos frescos y procesados. Disponible en: [http://www.fao.org/inpho\\_archive/content/documents/vlibrary/AE620s/Pprocesados/FRU4.HTM](http://www.fao.org/inpho_archive/content/documents/vlibrary/AE620s/Pprocesados/FRU4.HTM)

Ficha técnica de néctares de frutas [monografía en internet]. Lima, Perú: Soluciones prácticas ITDG, 1997 [consultado 2013 febrero 6]. Disponible en:

<http://www.solucionespracticas.org.pe/fichastecnicas/pdf/FichaTecnica12.pdf>.

**Global Industry Analysts**, 2010. PRWEB. Disponible en:

[http://www.prweb.com/releases/smoothies\\_market/frozen\\_mix\\_smoothie/prweb3808804.htm](http://www.prweb.com/releases/smoothies_market/frozen_mix_smoothie/prweb3808804.htm)

**Guerrero-Beltrán** J A, Barbosa-Cánovas G V, Moraga-Ballesteros G, Moraga-Ballesteros M J, Swanson B G. Effect of pH and ascorbic acid on high hydrostatic pressure processed mango puree. *Journal of Food Processing and Preservation* **2006**;30:582-596.

**Hernández-Garnica C.** Hola Smoothie: porque una buena alimentación mejora la salud [monografía en internet]. México, D.F. División de investigación UNAM:2009. [consultado 2013 febrero]: 35-39. Disponible en: [emprendedoresunam.com.mx](http://emprendedoresunam.com.mx)

**Hiwilepo-van Hal P,** Bosschaart C, van Twisk C, Verkerk R. Kinetics of thermal degradation of vitamin C in marula fruit (*Sclerocarya birrea* subsp. *caffra*) as compared to other selected tropical fruits. *LWT-Food Science and Technology* **2012**;30: 1-4.

Hola Smoothie. [serie en internet] [consultado 2013 febrero 03]. Disponible en: <http://www.holasmoothie.com/index.html>.

**Icier F,** Ilicali C. Temperature dependent electrical conductivities of fruit purees during ohmic heating. *Food Research International* **2005**;38:1135-1142.

**Keenan D F,** Brunton N, Gormley R, Butler F. Effects of thermal and high hydrostatic pressure processing and storage on the content of polyphenols and some quality attributes of fruit smoothies. *J. Agric. Food Chem.* **2011**;59:601-607.

**Keenan DF,** Rößle C, Gormley R, Butler F, Brunton N P. Efecto de la alta presión hidrostática y el procesamiento térmico sobre la calidad nutricional y la actividad enzimática de los smoothies de frutas. *Bebidas mexicanas* **2013**;2:18-32.

**Keturakis.** Mango pulp and nectar processing in Mali: a technical and financial analysis for the Malian investor. USAID United States Agency for International Development, **2009**.

**Landl A,** Abadias M, Sárraga, Viñas I, Picouet P A. Effect of high pressure processing on the quality of acidified Granny Smith apple purée product. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* **2010**;11:557-564.

**Louarme L,** Billaud C. Evaluation of ascorbic acid and sugar degradation products during fruit dessert processing under conventional or ohmic heating treatment. *LWT-Food Science and Technology.* **2012**;1-4.

**Mason** R L, Nottingham S M. FOOD 3007 and FOOD 7012 SENSORY EVALUATION MANUAL. Phitsanulok, Tailandia, **2002**: 41-43.

NMX-F-057-S-1980. Néctar de mango. Norma Mexicana. Dirección general de normas.

NMX-F-527-1992. Alimentos. Determinación de sólidos totales, sólidos disueltos y sólidos en suspensión en agua. Dirección general de normas.

NOM-130-SSA1-1995. Alimentos envasados en recipientes de cierre hermético y sometidos a tratamiento térmico.

**Ogden** C, Carroll M, Kit B , Flegal K. Prevalence of Obesity in the United States, 2009-2010. NCHS Data Brief [serie en internet] 2012 [consultado 2012 noviembre 1]; 82:1-8. Disponible en: <http://www.cdc.gov/nchs/data/databriefs/db82.pdf>.

**Oey** I, Lille M, Van Loey A, Hendrickx M. Effect of high pressure processing on colour, texture and flavor of fruit and vegetable based food products: a review. Trends in Food Science & Technology **2008**;19:320-328.

**Olaiz-Fernández** G, Rivera-Dommarco J, Shamah-Levy T, Rojas R, Villalpando-Hernández S, Hernández-Avila M, Sepúlveda-Amor J. Sobrepeso y obesidad [monografía en internet]. Cuernavaca, México:INSP;2006 [consultado 2014 enero 31]. Disponible en: <http://www.salud.df.gob.mx/>

**Orrego-Alzate** C E. Procesamiento de Alimentos [monografía en internet]. Manizales: Centro de Publicaciones Universidad Nacional de Colombia, 2003 [consultado 2012 julio 3]: 146. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/9053/1/958932280.pdf>

**Palaniappan** S, Sastry S K. Electrical conductivity of selected solid during ohmic heating. Journal of Food Process Engineering. **1991**; 14, 221–236.

**Pataro G**, Donsí G, Ferrari G. Aseptic processing of apricots in syrup by means of a continuous pilot scale ohmic unit. *LWT-Food Science and Technology* **2011**;44:1546-1554.

**Plan Rector Sistema Nacional Mango**. 2005. Segunda fase: Diagnóstico inicial, base de referencia y estructura estratégica. Disponible en: [siic.ucol.mx/Archivos\\_prov%5Cprn\\_mango.pdf](http://siic.ucol.mx/Archivos_prov%5Cprn_mango.pdf)

**Polydera A C**, Stoforos N G, Taoukis P S. Comparative shelf life study and vitamin C loss kinetics in pasteurized and high pressure processed reconstituted orange juice. *Journal of Food Engineering*. **2003**; 60:21-29.

**Rahman S**. Handbook of food preservation. Segunda edición. Boca Raton, FL. Taylor & Francis Group, **2007**:572.

**Rastogi N K**. Effect of high pressure on textural and microstructural properties of fruits and vegetables. En: *Novel Food Processing: Effects on rheological and functional properties*. Québec, Canadá: Taylor & Francis Group LLC, **2010**; 301-303.

**Rawson A**, Patras A, Tiwari B K, Noci F, Brunton N, Koutchma T. Effect of thermal and no thermal processing technologies on the bioactive content of exotic fruits and their products: Review of recent advances. *Food Research International* **2011**;10.1016/j.foodres.2011.02.053.

**Research & Markets**. 2007. US Smoothies Market: Trends and opportunities. Disponible en: [http://www.researchandmarkets.com/reports/564552/us\\_smoothies\\_market\\_trends\\_and\\_opportunities](http://www.researchandmarkets.com/reports/564552/us_smoothies_market_trends_and_opportunities).

**Sarang S**, Sastry S, Knipe L. Electrical conductivity of fruits and meats during ohmic heating. *Journal of Food Engineering*. **2008**; 87:351-356.

**Toledo-Manzur C**. Elaboración del programa estratégico de necesidades de investigación y transferencia de tecnología en el estado de Guerrero [monografía en internet]. Guerrero, México: Red para el Desarrollo Sostenible de México AC, 2003

[consultado 2012 septiembre 27] 19-23. Disponible en: <http://www.cofupro.org.mx/cofupro/Publicacion/Archivos/penit38.pdf>.

**Torres-Gama J J**, De Sylos C M. Effect of thermal pasteurization and concentration on carotenoid composition of Brazilian Valencia orange juice. *Food Chemistry* **2007**;100:1686-1690.

**Urbina-Reina M G**. Evaluación microbiológica de un smoothie de mango aplicando altas presiones hidrostáticas y calentamiento óhmico. 2014.

**USDA** (United States Department of Agriculture). 2012. National Nutrient Database for Standard Reference. Disponible en: <http://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/2288>

**Vásquez-Cacedo A L**, Schilling S, Carle R, Neidhart S. Effects of thermal processing and fruit matrix on  $\beta$ -carotene stability and enzyme inactivation during transformation of mangoes into purée and nectar. *Food Chemistry* **2007**;102: 1172-1186.

**Vilsack T**, Sebelius K. Dietary Guidelines for Americans 2010 [monografía en internet]. Washington, DC: U.S Government Printing Office, 2010 [consultado 2012 diciembre 10]:35. Disponible en: <http://health.gov/dietaryguidelines/dga2010/DietaryGuidelines2010.pdf>.

**Walkling-Ribeiro M**, Noci F, Cronin D A, Lyng J G, Morgan D J. Shelf life and sensory attributes of a fruit smoothie-type beverage processed with moderate heat and pulsed electric fields. *Food Science and Technology* **2010**;43:1067-1073.

**Wouters R**. 2006. Innovación en productos lácteos. ORIFATI Active Food Ingredients [serie en internet] 2006 [consultado 2012 noviembre 18]; 20-22. Disponible en: [http://www.alimentariaonline.com/media/MLC013\\_INNOVALAC\\_F.pdf](http://www.alimentariaonline.com/media/MLC013_INNOVALAC_F.pdf).

## Anexo 1.

### Encuesta de análisis sensorial

**Fecha:** \_\_\_\_\_

**Nombre:** \_\_\_\_\_

Por favor, deguste las muestras de izquierda a derecha en el orden que se le han presentado y colóquelas en el orden de su preferencia. Es posible que requiera degustar nuevamente las muestras para comprobar el orden de su preferencia. Indique con el número 1 la muestra de su mayor preferencia, la siguiente con el número 2 y así sucesivamente hasta completar todas las muestras. Es necesario que indique cada muestra con un número diferente.

Muestra						
Orden						

## Anexo 2.

### Caracterización de muestras control.

Smoothie	Días	pH	Sólidos solubles (°Brix)	% Acidez	mg Ac. ascórbico/100g muestra
S1	0	3.590±0.020	13.567±0.252	0.373±0.013	13.080±0.000
	10	3.290±0.000	12.833±0.208	0.934±0.028	7.143±1.237
	25	3.290±0.000	12.833±0.028	0.804±0.000	4.954±0.000
S2	0	3.150±0.000	13.267±0.058	0.642±0.014	10.900±0.000
	10	2.980±0.000	12.467±0.252	0.772±0.015	4.699±1.017
	25	2.980±0.000	12.467±0.252	0.711±0.000	4.428±0.000
S3	0	3.727±0.000	13.200±0.173	0.648±0.000	5.087±1.259
	10	3.000±0.000	12.700±0.200	0.932±0.000	2.799±1.076
	25	3.000±0.000	12.700±0.200	0.765±0.015	1.860±0.000

Smoothie	Días	% Sólidos totales	Viscosidad (cP)	Conductividad eléctrica (S/cm)
S1	0	8.726±1.632	1392.000±61.506	2.560E-03±2.210E-04
	10	6.240±0.208	1871.000±65.887	2.745E-03±3.404E-06
	25	21.227±6.494	1249.333±108.933	2.495E-03±9.047E-07
S2	0	9.465±1.237	828.900±33.414	2.120E-03±2.210E-04
	10	22.927±13.963	696.467±9.652	2.199E-03±2.650E-06
	25	23.690±15.042	621.333±12.705	2.193E-03±4.211E-06
S3	0	10.208±2.650	967.767±65.192	2.376E-03±2.210E-04
	10	24.893±11.936	1034.567±42.316	2.485E-03±1.379E-06
	25	61.248±11.101	931.767±55.442	2.417E-03±4.561E-06

Smoothie	Días	Color		
		a	b	L
S1	0	8.642±0.013	40.442±0.066	48.660±0.028
	10	9.175±0.008	38.992±0.108	48.350±0.008
	25	10.445±0.025	44.763±0.060	52.277±0.013
S2	0	8.935±0.011	39.218±0.025	47.936±0.009
	10	7.962±0.018	36.596±0.029	46.099±0.002
	25	8.650±0.027	39.741±0.036	48.708±0.018
S3	0	7.167±0.012	40.466±0.082	52.265±0.009
	10	6.985±0.009	39.348±0.085	50.003±0.009
	25	7.793±0.021	42.435±0.027	53.901±0.005



### Caracterización de muestras procesadas por tratamiento TC.

Smoothie	Días	pH	Sólidos solubles (°Brix)	% Acidez
S1	0	3.200±0.188	13.233±0.000	0.784±0.014
	10	3.043±0.012	13.167±0.115	0.871±0.000
	25	3.117±0.006	13.167±0.404	0.774±0.029
	50	3.520±0.020	13.400±0.000	0.752±0.000
S2	0	3.193±0.012	13.300±0.058	0.742±0.000
	10	2.997±0.006	13.200±0.100	0.735±0.000
	25	2.993±0.012	13.200±0.265	0.736±0.014
	50	3.487±0.015	13.233±0.115	0.752±0.000
S3	0	3.767±0.015	13.367±0.208	0.657±0.029
	10	3.147±0.006	13.167±0.058	0.739±0.000
	25	3.150±0.000	13.167±0.058	0.679±0.015
	50	3.557±0.006	10.767±0.115	0.758±0.014

Smoothie	Días	mg Ac. ascórbico/100g muestra	% Sólidos totales	Viscosidad (cP)
S1	0	11.594±1.057	13.811±0.437	2369.000±15.875
	10	10.559±1.076	17.137±6.724	2015.333±92.500
	25	7.277±0.000	16.210±1.487	2360.000±24.269
	50	13.289±1.151	37.754±3.240	2173.333±6.506
S2	0	30.769±1.440	25.341±11.501	2082.333±32.332
	10	20.98±4.781	21.658±5.248	2067.000±34.641
	25	27.439±0.000	15.163±0.333	1959.000±20.075
	50	34.286±0.000	29.244±13.831	2608.667±7.506
S3	0	25.764±0.000	14.319±4.378	4871.333±84.595
	10	17.860±0.000	24.734±5.023	5214.333±165.122
	25	18.471±1.103	16.175±0.754	4431.000±94.297
	50	27.639±2.303	33.681±5.709	3956.435±5.709

Smoothie	Días	Color		
		a	b	L
S1	0	9.325±0.008	39.858±0.023	48.625±0.010
	10	8.061±0.008	39.821±0.038	48.637±0.007
	25	7.902±0.024	39.184±0.077	48.305±0.036
	50	7.887±0.021	37.658±0.056	47.116±0.020
S2	0	7.238±0.019	37.901±0.08	47.193±0.018
	10	6.759±0.018	35.838±0.056	45.170±0.010
	25	6.929±0.022	36.282±0.208	46.516±0.118
	50	7.425±0.017	36.469±0.007	46.389±0.020
S3	0	6.448±0.009	39.511±0.057	50.838±0.006
	10	5.552±0.009	37.428±0.035	48.274±24.734
	25	5.621±0.008	36.327±0.091	48.790±16.175
	50	6.439±0.006	38.594±0.056	50.201±33.681

### Caracterización de muestras procesadas por tratamiento TCO.

Smoothie	Días	pH	Sólidos solubles (°Brix)	% Acidez	mg Ac. ascórbico/100g muestra
S1	0	3.037±0.006	13.233±0.252	0.790±0.000	5.529±0.599
	10	3.553±0.012	14.333±0.115	0.791±0.026	12.634±1.287
	25	3.533±0.012	14.200±0.000	0.718±0.0000	31.795±1.776
	50	3.277±0.006	14.000±0.000	0.746±0.000	7.950±0.000
S2	0	2.957±0.006	13.067±0.115	0.724±0.000	13.154±0.600
	10	3.500±0.017	13.667±0.231	0.754±0.000	14.325±0.000
	25	3.443±0.006	13.800±0.173	0.697±0.000	36.159±0.000
	50	3.180±0.000	13.667±0.115	0.698±0.015	19.517±1.352
S3	0	3.097±0.006	13.100±0.100	0.762±0.000	3.328±0.721
	10	3.590±0.000	13.800±0.000	0.699±0.000	4.066±0.542
	25	3.580±0.010	13.667±0.115	0.716±0.000	8.295±1.796
	50	3.360±0.000	13.933±0.058	0.701±0.000	7.013±0.000

Smoothie	Días	% Sólidos totales	Viscosidad (cP)
S1	0	17.368±0.043	2565.667±8.083
	10	26.184±9.288	2527.667±63.532
	25	28.645±0.665	3249.000±33.045
	50	17.164±0.324	2531.333±14.012
S2	0	16.892±0.218	1472.333±12.858
	10	30.206±13.426	1239.667±25.166
	25	28.473±2.817	1958.000±10.149
	50	16.015±0.291	1255.667±5.132
S3	0	26.881±2.630	2695.667±60.211
	10	29.044±3.786	2837.667±65.317
	25	38.629±10.894	5009.000±188.923
	50	17.790±0.055	1586.667±21.733

Smoothie	Días	Color			Conductividad eléctrica (S/cm)
		a	b	L	
S1	5	7.892±0.012	38.511±0.025	46.252±0.013	2.408E-03±1.244E-06
	10	7.846±0.011	36.576±0.012	46.484±0.009	2.514E-03±1.298E-06
	25	8.095±0.006	36.726±0.039	46.562±0.013	2.506E-03±6.847E-06
	50	7.651±0.018	34.495±0.044	45.807±0.027	2.464E-03±2.741E-06
S2	5	6.719±0.007	35.421±0.064	45.315±0.056	2.174E-03±2.098E-05
	10	6.938±0.008	33.852±0.027	44.828±0.009	1.928E-03±3.122E-06
	25	6.771±0.002	33.427±0.034	43.444±0.018	2.125E-03±2.261E-06
	50	7.197±0.017	33.512±0.029	44.959±0.015	2.044E-03±4.815E-06
S3	5	5.871±0.001	36.224±0.049	47.693±0.002	2.392E-03±3.504E-06
	10	6.166±0.020	36.312±0.167	47.712±0.095	2.315E-03±6.073E-06
	25	5.470±0.015	34.636±0.020	45.857±0.010	2.343E-03±6.817E-06
	50	5.470±0.007	31.278±0.062	45.258±0.008	2.247E-03±4.702E-06

### Caracterización de muestras procesadas por tratamiento APH.

S1	Días	pH	Sólidos solubles (°Brix)	% Acidez
R1	5	3.488±0.262	13.367±0.141	0.634±0.225
	10	3.303±0.000	13.244±0.000	0.694±0.203
	25	3.3015±0.243	13.354±0.165	0.663±0.144
	50	3.680±0.264	13.634±0.189	0.652±0.100
R2	5	3.420±0.325	13.449±0.168	0.637±0.298
	10	3.190±0.000	13.000±0.000	0.654±0.218
	25	3.3285±0.252	13.384±0.260	0.667±0.141
	50	3.685±0.215	13.764±0.146	0.619±0.200
R3	5	3.4615±0.267	13.533±0.000	0.586±0.237
	10	3.273±0.000	13.167±0.000	0.616±0.235
	25	3.325±0.276	13.300±0.330	0.620±0.192
	50	3.6415±0.224	12.917±0.118	0.631±0.209

S1	Días	mg Ac. ascórbico/100g muestra	% Sólidos totales	Viscosidad (cP)
R1	5	14.533±1.259	20.424±4.427	6455.333±69.256
	10	6.1480±0.000	15.132±1.300	6345.000±41.869
	25	2.801±0.970	14.830±2.403	6244.333±113.562
	50	1.952±0.483	17.417±3.031	6501.000±41.869
R2	5	15.260±0.000	29.750±13.165	6977.667±142.497
	10	12.021±0.000	14.844±0.347	6788.545±53.130
	25	3.373±0.000	16.830±0.750	6457.667±127.064
	50	2.000±0.000	17.451±1.254	6777.667±47.173
R3	5	13.080±0.000	17.121±0.109	6955.667±42.724
	10	10.158±0.000	15.474±0.355	6788.000±45.600
	25	5.524±1.196	16.413±0.668	6595.667±137.027
	50	2.433±0.000	15.462±3.163	6777.667±47.173

S1	Días	Color		
		a	b	L
R1	5	8.403±0.055	37.327±0.143	46.014±0.0200
	10	8.362±0.052	36.013±0.064	45.217±0.059
	25	8.334±0.042	37.342±0.098	45.190±0.047
	50	8.606±0.013	36.927±0.061	45.487±0.022
R2	5	8.712±0.027	37.127±0.082	46.441±0.020
	10	8.324±0.026	36.339±0.038	45.160±0.027
	25	7.671±0.012	34.849±0.030	44.314±0.009
	50	9.072±0.043	36.890±0.020	45.213±0.017
R3	5	8.240±0.023	34.473±0.035	47.786±0.002
	10	8.462±0.008	36.858±0.022	45.128±0.017
	25	8.477±0.005	36.694±0.055	45.132±0.010
	50	9.393±0.004	37.609±0.027	45.969±0.016

S2	Días	pH	Sólidos solubles (°Brix)	% Acidez
R1	5	3.362±0.474	13.333±0.141	0.579±0.232
	10	2.920±0.000	13.033±0.000	0.629±0.267
	25	3.264±0.373	13.317±0.165	0.609±0.240
	50	3.632±0.281	13.565±0.049	0.641±0.282
R2	5	3.352±0.469	13.384±0.118	0.552±0.187
	10	2.943±0.000	13.100±0.000	0.630±0.254
	25	3.297±0.401	13.300±0.236	0.652±0.260
	50	3.622±0.290	13.300±0.141	0.593±0.108
R3	5	3.349±0.465	13.467±0.047	0.585±0.247
	10	2.933±0.000	12.967±0.000	0.617±0.236
	25	3.282±0.417	13.350±0.212	0.623±0.204
	50	3.602±0.295	13.367±0.000	0.623±0.180

S2	Días	mg Ac. ascórbico/100g muestra	% Sólidos totales	Viscosidad (cP)
R1	5	10.900±0.000	27.335±2.714	4849.000±269.672
	10	6.648±0.823	13.760±1.378	4689.000±111.000
	25	5.632±0.000	14.524±3.154	4226.667±57.813
	50	1.989±0.000	15.513±3.526	4261.333±74.675
R2	5	8.720±0.000	29.581±3.099	6088.667±166.902
	10	4.211±0.912	12.981±0.163	5798.000±86.870
	25	6.085±1.506	14.288±3.214	5289.000±96.348
	50	2.158±0.000	17.056±1.990	3862.000±54.065
R3	5	8.720±0.000	21.417±4.238	6711.000±140.043
	10	5.535±0.871	14.598±1.559	6300.000±87.870
	25	5.101±0.000	12.987±0.697	4231.333±46.651
	50	3.382±0.000	17.991±2.206	5302.333±33.247

S2	Días	Color		
		a	b	L
R1	5	7.479±0.011	34.940±0.044	45.049±0.009
	10	7.092±0.019	33.883±0.056	43.878±0.010
	25	7.200±0.006	35.219±0.046	44.327±0.015
	50	8.253±0.013	36.294±0.029	45.565±0.042
R2	5	7.000±0.025	34.070±0.087	44.008±0.010
	10	7.163±0.014	34.366±0.011	43.893±0.011
	25	7.578±0.023	34.834±0.047	44.247±0.019
	50	7.440±0.006	33.375±0.050	43.234±0.018
R3	5	7.688±0.002	35.022±0.023	45.034±0.003
	10	8.404±0.014	36.013±0.035	45.096±0.034
	25	7.051±0.006	34.382±0.022	44.015±0.007
	50	7.786±0.015	33.597±0.042	44.159±0.010

S3	Días	pH	Sólidos solubles (°Brix)	% Acidez
R1	5	3.452±0.403	12.950±0.165	0.559±0.216
	10	2.933±0.000	12.967±0.000	0.634±0.260
	25	3.377±0.396	13.050±0.307	0.615±0.223
	50	3.705±0.238	13.417±0.165	0.594±0.173
R2	5	3.454±0.419	13.034±0.094	0.576±0.240
	10	3.050±0.000	13.100±0.000	0.601±0.241
	25	3.374±0.391	13.150±0.212	0.605±0.237
	50	3.708±0.228	13.450±0.071	0.636±0.187
R3	5	3.482±0.370	12.950±0.024	0.595±0.258
	10	3.067±0.000	13.100±0.000	0.585±0.247
	25	3.325±0.276	13.215±0.021	0.598±0.274
	50	3.642±0.224	13.750±0.071	0.614±0.185

S2	Días	mg Ac. ascórbico/100g muestra	% Sólidos totales	Viscosidad (cP)
R1	5	4.360±0.000	18.592±6.441	5027.000±40.000
	10	2.733±1.367	15.243±0.725	4700.000±35.000
	25	6.308±0.000	13.036±1.223	4072.000±28.844
	50	2.191±0.000	19.900±5.931	3631.000±55.245
R2	5	4.360±0.000	30.089±10.213	5360.000±301.080
	10	2.082±0.000	16.367±0.538	4768.000±120.000
	25	6.573±0.000	13.358±2.081	3808.667±33.710
	50	2.751±0.596	22.078±8.111	3529.000±38.105
R3	5	2.907±1.259	21.728±4.371	5502.000±78.250
	10	1.486±0.000	16.259±1.109	4980.000±39.680
	25	6.540±0.000	12.473±3.303	4786.667±47.983
	50	2.991±0.000	16.734±1.184	4355.667±28.024

S3	Días	Color		
		a	b	L
R1	5	5.552±0.009	37.428±0.035	48.274±0.009
	10	7.567±0.712	34.899±0.931	44.277±0.675
	25	7.392±0.300	34.663±0.267	44.167±0.128
	50	5.522±0.018	33.963±0.018	46.209±0.007
R2	5	5.594±0.011	37.457±0.093	48.167±0.003
	10	6.183±0.012	34.662±0.037	46.744±0.009
	25	5.128±0.013	31.611±0.022	44.483±0.004
	50	5.493±0.046	31.878±0.142	46.812±0.054
R3	5	7.068±0.018	41.176±0.055	50.389±0.004
	10	5.998±0.010	34.714±0.072	46.926±0.047
	25	5.830±0.005	35.226±0.019	47.113±0.010
	50	6.281±1.298	33.839±0.214	45.521±1.190