



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN

ESTUDIO DE LA ESTABILIDAD DE UNA BEBIDA
CARBONATADA TRADICIONAL MEXICANA A DIFERENTES
TEMPERATURAS DE ALMACENAMIENTO

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO EN ALIMENTOS
P R E S E N T A:
RUBÉN LÓPEZ OLGUÍN

ASESORES: DRA. LAURA PATRICIA MARTÍNEZ PADILLA
I.A. ALFREDO ÁLVAREZ CÁRDENAS



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
 UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS
 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN



DRA. SUEMI RODRIGUEZ ROMO
 DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
 PRESENTE

DEPARTAMENTO DE

ATN: L. A. ARACELI HERRERA HERNANDEZ
 Jefe del Departamento de Exámenes
 Profesionales de la FES Cuautitlan

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la Tesis:

Estudio de la Estabilidad de una Bebida Carbonatada Tradicional Mexicana a Diferentes Temperaturas de Almacenamiento.

que presenta el pasante: Rubén López Olguín
 con número de cuenta: 40507222-2 para obtener el título de :
Ingeniero en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE
 "POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlan Izcalli, Méx. a 10 de Marzo de 2010

- PRESIDENTE DR. Norma Beatriz Casas Alencaster
- VOCAL Dra. Laura Patricia Martínez Padilla
- SECRETARIO Dr. Antonio Trajo Lugo
- PRIMER SUPLENTE Dra. María Guadalupe Soza Herrera
- SEGUNDO SUPLENTE NI. Miguel de Nazareth Pineda Becarri

Agradecimientos

Quiero agradecer sinceramente a mi papá y a mi mamá por todo el apoyo brindado a lo largo de la carrera y además por todo lo que me han dado en mi vida; gracias por haberme dado tanto y en especial a ti papá porque siempre te has preocupado por hacer de mí una mejor persona cada día, por tus consejos y por enseñarme a ser agradecido.

También le quiero dar las gracias a mi hermana porque ella ha sido para mí un ejemplo a seguir, ya que he tomado muchas cosas buenas de ella para enfrentar la vida con decisión y la frente en alto.

Por otra parte, quiero agradecer especialmente a mis tías Socorro, Rebeca, Dolores, Sonia y a toda mi familia, ya que ellas siempre me han dado todo y nunca me han negado nada, por el tiempo que me han dedicado y por lo mucho que me quieren.

Quiero dedicar esta tesis especialmente a mis abuelitas Piedad y Lila porque significan muchísimo para mí, porque son las personas que más quiero, por todo lo que han hecho por mí y por ser únicas en mi vida.

A mis amigos y amigas por todos los momentos maravillosos que pasé con ellos, porque juntos compartimos tantas cosas y porque se que puedo contar con ellos en algún momento de mi vida; y quiero expresar mi agradecimiento especialmente a Adán, Adriana y Carmen, por el apoyo brindado en la etapa experimental de este trabajo.

A mis asesores Paty y Alfredo, y a los profesores Trejo, Miguel de Nazaret, Norma, Lupita y el Dr. Gaitán, por todos los consejos brindados y el apoyo incondicional en la elaboración de esta tesis y además porque hicieron de mí un alumno más dedicado y disciplinado, ya que son características que me serán de gran ayuda en mi vida profesional.

A la planta embotelladora de refrescos Jarritos y a la planta de concentrados y saborizantes SEPIM, por el material proporcionado para la realización del presente trabajo.

Y a COMECYT por la beca brindada para solventar los gastos de la tesis.

Este proyecto fue realizado en el Laboratorio de Propiedades Reológicas y Funcionales en Alimentos, de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, de la Universidad Nacional Autónoma de México.

ÍNDICE

	Página
Resumen	1
Introducción	2
Capítulo 1. Generalidades	4
1.1 Bebidas carbonatadas	4
1.2 Definición y clasificación	5
1.3 Ingredientes	7
1.4 Proceso de elaboración	14
1.4.1 Descripción del proceso de elaboración	16
1.5 Estabilidad de las bebidas carbonatadas	20
1.5.1 Emulsión	20
1.5.2 Emulsiones para bebidas	21
1.5.3 Agentes de balance de peso, emulsificantes y estabilizantes	22
1.5.4 Problemas de estabilidad de emulsiones para bebidas	29
1.6 Reología de líquidos	32
Capítulo 2. Metodología de la investigación experimental	33
2.1 Objetivos	33
2.2 Desarrollo experimental	33
2.2.1 Materiales	33
2.2.2 Actividades preliminares	34
2.2.3 Variables	34
2.2.4 Métodos para determinar propiedades físicas y fisicoquímicas	35
2.2.5 Tratamiento estadístico de datos	38
Capítulo 3. Resultados y análisis de datos	39
3.1 Actividades preliminares	39
3.2 Índice de refracción (nD)	42
3.3 Color	45

3.4 Densidad relativa	48
3.5 pH	49
3.6 Potencial Z (mV)	51
3.7 Tamaño de partícula (nm)	57
3.8 Propiedades reológicas y viscosidad (Pa·s)	64
3.9 Estabilidad por dispersión luminosa	67
3.10 Turbidez (NTU)	76
3.6 Análisis integral	77
Conclusiones	79
Recomendaciones	80
Referencias bibliográficas	81
Apéndices	85

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1 Diagrama de proceso	15
2.1 Viscosímetro Ostwald	37
3.1 Esquema del frigorífico doméstico	39
3.2 Esquema de la estufa de alta temperatura	40
3.3 Concentrados y bebidas carbonatadas de mandarina y tamarindo	41
3.4 Índice de refracción (nD) en función del tiempo de almacenamiento, obtenido a temperatura ambiente de los concentrados y de las bebidas carbonatadas, almacenados a 5, 23 y 40°C	42
3.5 Parámetros de color (L, a, b) en función del tiempo de almacenamiento, obtenidos a temperatura ambiente de los concentrados y de las bebidas carbonatadas, almacenados a 5, 23 y 40°C	46
3.6 Densidad relativa en función del tiempo de almacenamiento, obtenidos a temperatura ambiente de los concentrados y de las bebidas carbonatadas, almacenados a 5, 23 y 40°C	48

3.7	pH en función del tiempo de almacenamiento, obtenido a temperatura ambiente de los concentrados y de las bebidas carbonatadas, almacenados a 5, 23 y 40°C	50
3.8	Curvas de distribución del potencial Z (mV), obtenidas a temperatura ambiente de los concentrados almacenados a 5, 23 y 40°C. Semana 1	52
3.9	Curvas de distribución del potencial Z (mV), obtenidas a temperatura ambiente de las bebidas carbonatadas almacenadas a 5, 23 y 40°C. Semana 1	53
3.10	Curvas de distribución del potencial Z (mV), obtenidas a temperatura ambiente de los concentrados almacenados a 5, 23 y 40°C. Semana 5	54
3.11	Curvas de distribución del potencial Z (mV), obtenidas a temperatura ambiente de las bebidas carbonatadas almacenadas a 5, 23 y 40°C. Semana 5	55
3.12	Potencial Z (mV) en función del tiempo de almacenamiento, obtenido a temperatura ambiente de los concentrados de y de las bebidas carbonatadas, almacenados a 5, 23 y 40°C	56
3.13	Curvas de distribución de frecuencia del tamaño de partícula (nm), obtenidas de los concentrados a temperatura ambiente almacenados a 5, 23 y 40°C. Semana 1	58
3.14	Curvas de distribución de frecuencia del tamaño de partícula (nm), obtenidas a temperatura ambiente de las bebidas carbonatadas almacenadas a 5, 23 y 40°C. Semana 1	59
3.15	Curvas de distribución de frecuencia del tamaño de partícula (nm), obtenidas a temperatura ambiente de los concentrados almacenados a 5, 23 y 40 °C. Semana 5	60
3.16	Curvas de distribución de frecuencia del tamaño de partícula (nm), obtenidas a temperatura ambiente de las bebidas carbonatadas almacenadas a 5, 23 y 40 °C. Semana 5	61

3.17	Tamaño de partícula (nm) en función del tiempo de almacenamiento, obtenidos a temperatura ambiente de los concentrados y de las bebidas carbonatadas almacenados a 5, 23 y 40°C	63
3.18	Viscosidad aparente (Pa·s) obtenida a temperatura ambiente, de los concentrados almacenados a 5, 23 y 40°C	64
3.19	Curvas de flujo obtenidas a temperatura ambiente, de los concentrados de almacenados a 5, 23 y 40°C	65
3.20	Viscosidad (Pa·s) en función del tiempo de almacenamiento, obtenidas a temperatura ambiente de los concentrados y viscosidad relativa de las bebidas carbonatadas almacenados a 5, 23 y 40°C	66
3.21	Perfiles de transmisión y retrodispersión en función del tiempo de almacenamiento, obtenidos a temperatura ambiente de los concentrados almacenados a 5, 23 y 40°C (modo de referencia)	68
3.22	Perfiles de transmisión y retrodispersión en función del tiempo de almacenamiento, obtenidos a temperatura ambiente de las bebidas carbonatadas almacenadas a 5, 23 y 40°C (modo de referencia)	69
3.23	Porcentaje de retrodispersión en función del tiempo de almacenamiento, obtenido a temperatura ambiente de los concentrados almacenados a 5, 23 y 40°C	71
3.24	Porcentaje de transmisión en función del tiempo de almacenamiento, obtenido a temperatura ambiente de las bebidas carbonatadas almacenadas a 5, 23 y 40°C	73
3.25	Formación de nata en un concentrado en 12 horas	75
3.26	Formación de anillo en una bebida carbonatada en 12 horas	76
3.27	Turbidez (NTU) en función del tiempo de almacenamiento, obtenida a temperatura ambiente de las bebidas carbonatadas almacenadas a 5, 23 y 40°C	76

ÍNDICE DE CUADROS

1.1	Composición típica de algunas bebidas carbonatadas	14
1.2	Potencial Z de sistemas dispersos	32
3.1	Caracterización del frigorífico doméstico	40
3.2	Valores promedios de las pruebas realizadas, obtenidas a las diferentes temperaturas y semanas de almacenamiento	43
3.3	Valores de P (<0.05) obtenidos al realizar el Análisis de varianza	44
3.4	Velocidades de migración (mm/min) de los concentrados y las bebidas carbonatadas en función del tiempo de almacenamiento a 5, 23 y 40°C	74

RESUMEN

Se realizó un estudio de la estabilidad de dos bebidas carbonatadas y dos concentrados de mandarina y tamarindo a tres temperaturas de almacenamiento, con la finalidad de determinar la formación de un anillo, en donde la fase oleosa y la fase acuosa de las emulsiones se separan debido a la diferencia de densidades. Para realizar el seguimiento, se realizaron las determinaciones de las propiedades físicas y fisicoquímicas de las muestras: índice de refracción (nD), color, densidad, pH, potencial Z, tamaño de partícula, dispersión de luz, viscosidad y turbidez; durante un mes de almacenamiento a 5, 23 y 40 °C. Se llevó a cabo la caracterización del frigorífico doméstico, con el fin de mantener una temperatura constante de 5 ± 0.5 °C para el almacenamiento de las muestras. La estufa de alta temperatura se mantuvo en un intervalo entre 40 y 42°C. En el caso de la temperatura ambiente, se utilizó el aire acondicionado del laboratorio a 23 °C, el cual fue constante durante toda la experimentación. Por último, las muestras fueron depositadas en botellas de PET de 600 ml perfectamente etiquetadas para llevar a cabo el almacenamiento. Los resultados obtenidos mostraron muy poco cambio durante el mes de seguimiento, sin embargo, en el análisis de varianza de dos vías ($\alpha = 0.05$), se obtuvieron diferencias significativas en todas las muestras en función del tiempo y de las temperaturas de almacenamiento, a excepción de la viscosidad aparente (en los concentrados), ya que fue la única que no se vio afectada por las variables de estudio. En las pruebas de estabilidad por dispersión de luz se registró un pico positivo (en la parte superior del tubo), en el gráfico de luz transmitida indicativo de una ligera coalescencia en las bebidas carbonatadas, mientras tanto en los concentrados se pudo observar una pequeña formación de nata, pero no fue posible cuantificar su velocidad de formación. En el caso de las velocidades de migración calculadas de los fenómenos ya mencionados, la prueba de Tukey mostró que en ambos concentrados y el refresco de mandarina, la temperatura no tuvo efecto en dichas velocidades; solamente en el refresco de tamarindo, la velocidad de migración fue mayor a 40 °C. Las muestras no presentaron la formación evidente del anillo, esto indica que las bebidas y los concentrados fueron estables a las diferentes condiciones de almacenamiento en función del tiempo.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la industria de las bebidas carbonatadas ha tenido un crecimiento vertiginoso debido a las demandas y exigencias del mercado. Las tendencias, los cambios en los hábitos de consumo y una mayor conciencia de la salud han contribuido a desarrollar un entorno de competitividad que beneficia al consumidor, ya que posee una mayor cantidad de alternativas para elegir la que satisfaga, e incluso exceda, sus expectativas. Este sector, se ha diferenciado por ofrecer numerosas alternativas, que van desde una gran variedad de sabores y diseños de empaque, hasta productos con un beneficio adicional. Como consecuencia de todo esto, y con la finalidad de posicionarse en el mercado por medio de la diferenciación; hoy es posible encontrar una gran variedad de productos (Rodríguez, 2006a).

Para poder desarrollar productos novedosos, atractivos, económicos y sobre todo saludables, es necesario conocer los principales ingredientes utilizados en la industria de bebidas para combinarlos adecuadamente y crear alternativas específicamente dirigidas para ciertos segmentos de la población (Rodríguez, 2006a).

La mayoría de los componentes de los sabores empleados en bebidas carbonatadas, son insolubles en agua en cantidades apreciables y por ello mientras más diluido está en el producto terminado, es mucho más sencillo estabilizar. En los productos que requieren cierta turbidez, como en el caso de la mandarina, tamarindo, toronja, piña, entre otros, se tiene que realizar una emulsión que permita estabilizar el producto (Genzling, 2004).

Para la formulación de la emulsión, es necesario que se tomen en cuenta varios aspectos de la bebida a formular, con el fin de lograr que la emulsión sea estable tanto en forma de concentrado como en bebida terminada, y se logre evitar la formación de un anillo en la parte superior o depósitos en el fondo del envase (Genzling, 2004).

La formación del anillo es un fenómeno de inestabilidad que se presenta debido a que los aceites esenciales que forman parte de la bebida carbonatada son menos densos que el agua, por lo tanto, se llega a presentar lo que se conoce como cremado, que es cuando las partículas de la fase dispersa se separan y tienden a depositarse en la parte superior del envase, formando así el anillo (Shachman, 2005).

Para minimizar el efecto del cremado en bebidas carbonatadas, se hace uso de la Ley de Stokes, en la cual se hace referencia a la fuerza de fricción experimentada por partículas esféricas moviéndose en el seno de un fluido viscoso, en un régimen laminar. La estabilidad de las bebidas preparadas con emulsiones está relacionada con la velocidad de movimiento de las partículas de la fase dispersa, en donde ésta es directamente proporcional al radio de las partículas y a la diferencia de densidades entre fases e inversamente proporcional a la viscosidad de la fase continua (Rodríguez, 2006b).

Las emulsiones se emplean para proporcionar turbidez y aroma. La fase lipídica suele estar compuesta por un aceite esencial de cítricos que contiene un agente enturbiantes liposoluble, mientras que la fase acuosa consiste en una solución de goma arábica o de un hidrocoloide de propiedades similares. Los estabilizantes se emplean para fijar las emulsiones, aumentar la viscosidad y mejorar el cuerpo de la bebida. Los más ampliamente usados comprenden: goma guar, goma tragacanto, pectina, carboximetilcelulosa, entre otros (Rodríguez, 2006b). En la industria de emulsiones para bebidas carbonatadas, la goma arábica es el agente emulsificante por excelencia, debido sus propiedades tensoactivas proporcionando estabilidad la emulsión. Dicha goma forma una película alrededor de las partículas de la fase dispersa, evitando que se presente una separación de fases (Woodroof y Phillips, 1981).

A diferencia de las empresas transnacionales las industrias productoras de bebidas mexicanas, aparte de distribuir refrescos gaseosos de buena calidad, éstos son elaborados con frutas naturales y con los sabores del gusto nacional; generalmente procesados en las plantas de concentrados de dichas empresas, empleando materias primas naturales mexicanas, como la piña, el tamarindo, la manzana, la mandarina, el limón y la toronja.

Uno de los problemas que se presenta en los productos terminados de la industria refresquera mexicana puede ser la formación del anillo (Formulation, 2003). Por lo anterior en este proyecto se presenta el seguimiento de las propiedades físicas y fisicoquímicas a diferentes temperaturas, con lo cual se podrá evaluar a través de éstas, cómo es que se pierde la estabilidad en el producto, durante un periodo de tiempo relativamente corto. Sin embargo, no se encuentran estudios reportados en refrescos, cuya formulación es diferente a las bebidas de las empresas transnacionales.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1 Bebidas carbonatadas

Las bebidas carbonatadas nacieron a finales del siglo XVIII, cuando estos productos eran premiados por sus cualidades refrescantes y medicinales. Los primeros refrescos conocidos se elaboraban a base de agua natural o aguas gaseosas naturales, que se combinaban con frutos y edulcorantes como la miel u otros jugos azucarados (Desrosier, 1997).

En las primeras décadas del siglo XIX, los refrescos se hicieron habituales en el ámbito familiar, convirtiéndose en las bebidas ideales para acompañar comidas y cenas. Este incremento de la demanda, fue motivo para que los fabricantes comenzaran a investigar el desarrollo de nuevas bebidas carbonatadas de distintos sabores. Los refrescos se hicieron cada vez más populares, por lo cual, fue necesario adaptar nuevos envases y sistemas de distribución del producto para atender a las demandas de los consumidores, de esta forma se empezaron a diseñar botellas cuya forma distinguía su producto del resto (ANFABRA, 2006).

En el siglo XX la industria de las bebidas refrescantes se adaptó a la sociedad y a la evolución de sus gustos y demandas, por lo tanto, las distintas empresas innovaron los procesos de fabricación y de la combinación de ingredientes, por ejemplo: en la forma de añadir el anhídrido carbónico, azúcares, jugo de frutas, vitaminas, minerales, etc.: con esto la variedad de nuevos productos y sabores aumentaron considerablemente. La evolución en los gustos, también dio lugar a que, con el tiempo, los distintos fabricantes incorporaran a su oferta los populares refrescos sin gas de distintos sabores, las bebidas para deportistas o las bebidas refrescantes de té, entre otros (ANFABRA, 2006).

En la actualidad, el sector de los refrescos es uno de los más dinámicos e innovadores de la industria alimentaria, debido a la constante evolución y capacidad de adaptación a lo largo de más de dos siglos de historia, además de contribuir de manera importante en la economía de todo el mundo (Genzling, 2004).

Con respecto a lo anterior, México ocupa el segundo lugar como país consumidor de bebidas carbonatadas, sólo por debajo de E.U.A. debido a que son más habitantes; sin embargo, con respecto al consumo per cápita de 152 litros de refresco al año por persona, a México nadie le gana, siendo más del 50% refresco de cola (Mendoza, 2009).

Cabe mencionar que este tipo de bebidas no se consumen por su valor nutritivo, sino por su poder de quitar la sed o por sus efectos estimulantes; los cuales deben considerarse alimentos importantes en el sentido más amplio, ya que se elaboran a base de ingredientes alimenticios que están sujetos a las Leyes de Salubridad, se consumen en cantidades verdaderamente enormes y en algunos países pueden tomarse con mayor seguridad que el agua de abastecimiento local (ANFABRA, 2006).

Las tecnologías de producción de las bebidas carbonatadas, constituyen estudios y procesos mecánicos complejos, como pueden ser el desarrollo de la formulación inicial, la elaboración del concentrado (emulsión), que es la etapa crucial que determinará las cualidades y la calidad del producto, la distribución de maquinaria especial que se requiere para que trabaje a la mayor velocidad posible. Hace menos de 20 años las líneas de embotellado trabajaban aproximadamente con un rendimiento de 150 botellas por minuto. Las líneas de producción actualmente, son capaces de elaborar más de 2000 unidades por minuto (Varnam, 1994).

1.2 Definición y clasificación

Se denominan bebidas carbonatadas a las bebidas sin alcohol, preparadas con agua potable o mineral, y que pueden contener azúcares, jugos de frutas, extractos vegetales, aromas, aditivos autorizados y otros ingredientes alimenticios; a la mezcla se le añade dióxido de carbono, el cual le proporciona la efervescencia que es la característica propia de este producto (Vargas, 2002).

En relación con lo anterior, la FDA (Food and Drug Administration) dicta la siguiente definición para las bebidas carbonatadas: “es la clase de bebida preparada por absorción de dióxido de carbono en agua potable”.

La NMX-F-439-1983 (Alimentos. Bebidas no alcohólicas. Bebidas y refrescos clasificación y definiciones.), define al refresco como “aquel que puede contener jugos o pulpas de frutas, verduras o legumbres en cantidad menor al 6% y que además de agua potable, pueden contener dióxido de carbono”.

De acuerdo a las diversas posibilidades de los ingredientes, las bebidas carbonatadas se pueden clasificar de la siguiente manera (Mitchell, 1990; Foster, 2003; Rodríguez 2006c).

1. Agua carbonatada: Es transparente e incolora, constituida exclusivamente por agua y anhídrido carbónico.
2. Aguas aromatizadas: Son bebidas incoloras, elaboradas con agua, aromas, cloruro de sodio y anhídrido carbónico.
3. Gaseosas: Son aquellas bebidas transparentes e incoloras compuestas de agua, anhídrido carbónico, aromas, azúcares, edulcorantes y otros aditivos autorizados.
4. Bebidas refrescantes aromatizadas: Se definen así a las bebidas coloreadas, turbias o no, preparadas con agua, anhídrido carbónico, azúcares, edulcorantes artificiales; éstas presentan aromas y otros aditivos autorizados.
5. Bebidas refrescantes de extractos: Se elaboran a base de agua potable gasificada, azúcares, extractos vegetales, agentes aromáticos naturales y aditivos autorizados
6. Bebidas refrescantes de jugos de frutas: En su composición incluyen agua potable gasificada, jugo de frutas, azúcares, agentes aromáticos naturales y aditivos autorizados.
7. Bebidas refrescantes de disgregados de frutas: En esta categoría, las bebidas están elaboradas con agua potable gasificada, disgregados de frutas, azúcares, aromas y otros aditivos autorizados.
8. Productos sólidos: Son productos en estado granular o en polvo, destinados a obtener cualquiera de las bebidas, en cada uno de ellos es opcional la adición de azúcares y edulcorantes artificiales, se le añaden carbonatos para lograr la efervescencia en el producto.
9. Bebidas refrescantes para diluir: Son aquellos productos de los que, por simple dilución con agua potable, se obtiene alguna de las bebidas anteriores. Una vez reconstituido, el producto deberá ajustarse íntegramente a los requisitos exigidos a cada tipo concreto de bebida refrescante.

1.3 Ingredientes

Las bebidas carbonatadas pueden contener muchos ingredientes opcionales, en el caso de los aditivos, éstos deben estar especificados por las leyes locales y deben utilizarse sólo de acuerdo con las reglamentaciones emitidas por dichos organismos regulatorios. De esta manera los ingredientes requeridos pueden ser utilizados en la proporción necesaria para lograr los efectos que se buscan (Desrosier, 1997).

Los principales ingredientes se mencionan a continuación (Varnman, 1994; Shachman, 2005; Vargas, 2002; Lozano, 2006).

a) Agua

El agua es el componente mayoritario de los refrescos, suponiendo el 92% del total. La calidad del agua empleada en la elaboración tiene una repercusión directa sobre la calidad del producto final, por lo tanto, es esencial que tenga el grado máximo de pureza química factible comercialmente, ya que los rastros de impureza tienden a reaccionar con diversos componentes de la bebida.

El agua utilizada para la elaboración de las bebidas, procede generalmente de la red de abastecimiento municipal o de un pozo privado, esta agua ya es potable. Antes de su entrada a la planta de elaboración, se somete a diversos tratamientos fisicoquímicos autorizados por la Secretaría de Salud para las aguas de consumo humano.

En ocasiones, también se utiliza agua mineral natural o de manantial. La potabilidad del agua no es la única cualidad que ésta debe presentar para la elaboración de las bebidas gaseosas, de hecho las industrias analizan el agua de entrada a la planta y, frecuentemente, la tratan con el fin de adecuar sus características a la fabricación de bebidas.

El cloro residual debe ser casi inexistente, ya que afectaría el sabor de la bebida. La turbidez y el color deben de ser mínimos, de preferencia menor que la regulación local de turbidez para agua potable, con el fin de afectar la apariencia del producto.

En general, los principales tratamientos que se proporcionan al agua de uso industrial, pueden ser, la cloración, la coagulación, la filtración, la desaireación, el intercambio iónico, entre otros; este último permite eliminar nitratos y así poder evitar la aparición de problemas en las latas, como podría ser la perforación del recubrimiento interno de lata.

Aunque el abastecimiento de agua en la embotelladora se puede controlar satisfactoriamente por estos métodos, el verdadero problema surge cuando los concentrados y extractos de sabor se envían a diversos lugares en donde se despachan desde fuentes de soda y máquinas automáticas; en estos lugares el agua tiende a variar y con frecuencia no se ajusta a las especificaciones estrictas de la embotelladora. Entonces la calidad de la bebida se altera y varía de un lugar a otro, aún cuando la fórmula del concentrado permanezca constante.

b) Edulcorantes

El dulzor es un aspecto importante dentro de las propiedades de los refrescos, éstos se añaden en forma granulada o bien como concentrados acuosos. Actualmente se cuenta con una gran variedad de edulcorantes, que suelen sustituir al azúcar aunque no por completo ya que éstos no le confieren cuerpo al refresco; por esta razón cuando se hacen bebidas dietéticas, se requieren de ingredientes adicionales para mejorar las características del producto.

A continuación se enlistan algunos ejemplos y sus características de los edulcorantes utilizados en la industria refresquera:

- *Sacarosa*: es el endulzante principalmente utilizado en la elaboración de las bebidas carbonatadas, el cual se adquiere del fabricante en forma de concentrado puro e incoloro o bien en su forma cristalizada. El azúcar contribuye no sólo con calorías y dulzura a la bebida, sino que también le da cuerpo y una textura que se aprecia en el paladar.
- *Fructosa*: es otro de los edulcorantes utilizados en la elaboración de este tipo de bebidas, que por lo general se emplea en mezclas con sacarosa, en menor o mayor proporción dependiendo de varios factores como son los económicos y los sensoriales del producto final. La fructosa se ha empleado como amortiguante ante las variaciones en los precios del azúcar de caña, sin embargo, el sabor final del producto difiere de otros elaborados con azúcar únicamente y con mezclas de ambos, lo cual puede repercutir en el gusto del consumidor y por tanto en su decisión de compra.

- *Acesulfame K*: sinérgico con aspartamo, ciclamato y sacarosa, pero no con sacarina; estable en el almacenamiento, a los tratamientos térmicos y no reacciona con otros ingredientes. Aporta iones potasio, lo que condiciona la elección de agentes emulsificantes y de turbidez.
- *Aspartamo*: es de buen gusto, sinérgico con Acesulfame K, ciclamatos y sacarina; realza los aromas a fruta, es estable a los tratamientos térmicos, pero se degrada durante el almacenamiento.
- *Alitamo*: de buen gusto, mejor estabilidad que el aspartamo, pero se descompone en productos insípidos, incompatible con algunos ingredientes como el metabisulfito sódico y puede no ser adecuado para añadir a colas.
- *Ciclamatos*: gusto generalmente pobre, pero mejora al combinarlo con otros edulcorantes; el ácido libre puede realzar los aromas. Muy estable durante el procesado y almacenamiento.
- *Neohesperidina dihidrocalcona*: tiene un sabor mentolado que limita su uso en los refrescos, aunque actúa sinérgicamente y mejora el gusto con la mayoría de los demás edulcorantes; además enmascara el amargor de los jugos cítricos. Buena estabilidad.
- *Sacarina*: posee un sabor totalmente inaceptable para algunas personas, aunque se puede enmascarar, sinérgico con la mayoría de los demás edulcorantes. Presenta buena estabilidad.
- *Esteviósido*: cuenta con un sabor amargo que limita sus aplicaciones, realza algunos aromas de frutas, se degrada un poco durante el almacenamiento, especialmente en presencia de ácido fosfórico.
- *Sucralosa*: su sabor se aproxima al de la sacarosa, es sinérgico con otros edulcorantes intensos, pero no con la sacarosa. Es muy estable en la mayoría de las condiciones de almacenamiento e interacciona con las sales de hierro.
- *Taumatina*: presenta sinergismo con acesulfame K, sacarina y esteviósido, pero no con el ciclamato o con el aspartamo. Es relativamente estable pero se desnaturaliza a altas temperaturas con la pérdida de la capacidad edulcorante e interacciona con algunas gomas y estabilizantes.

c) Colorantes

Los colorantes deben presentar buenas características en presencia de luz, ácidos de frutas, compuestos aromatizantes y conservantes, se deben utilizar en cantidades muy bajas debido al alto poder cromático que presentan.

En sí la coloración no tiene un efecto directo sobre las propiedades sensoriales del producto, en algunos casos, el color tiene mayor importancia que el gusto en la impresión general que se causa al consumidor.

Los colorantes sintéticos son los agentes más empleados en los refrescos debido a su estabilidad en el producto final y a su alta capacidad cromática.

Los colorantes naturales representan una alternativa muy atractiva frente a los artificiales, pero su uso es algo limitado debido a su inestabilidad.

Algunos ejemplos de colorantes utilizados en la formulación de bebidas carbonatadas y sus respectivas características son los siguientes:

- *Antocianos*: atractivos colores rojo, azul y púrpura de apariencia natural, tienden a la decoloración especialmente por la luz y por la interacción con el ascorbato.
- *Colorantes azoicos*: son considerados como los colores más llamativos, son estables durante el almacenamiento y de gran poder cromático; además de ser populares entre los niños.
- *Caramelo*: utilizado sólo en bebidas oscuras y densas como las bebidas de cola y es estable en el almacenamiento.
- *Carotenoides*: tienen un atractivo color natural anaranjado-rojizo, son relativamente estables, liposolubles y requieren de una preparación especial para ser utilizados en refrescos.
- *Clorofila*: color suave natural, pero inestable en condiciones ácidas y frente a la luz; sólo está autorizado en un limitado número de países.
- *Colorantes poliméricos*: relativamente caros, pero de mejores propiedades que los colorantes naturales, poseen una menor capacidad cromática. En sí la idea esencial es unir un colorante alimentario a un polímero de un tamaño suficiente para que no sea metabolizado ni absorbido en el intestino.

d) Acidulantes

Los ácidos tienen una importancia considerable para determinar la calidad sensorial de los refrescos, por lo que se debe cuidar la formulación para conseguir un adecuado balance azúcar-ácido. Además de mejorar el sabor, el ácido ejerce una acción preservativa en las bebidas que no se someten a tratamientos térmicos. Los acidulantes que más se aplican en la elaboración de gaseosas son los siguientes:

- *Ácido cítrico*: es el más utilizado, su suave carácter frutal es muy apreciado en los refrescos de frutas. Funciona como agente quelante de iones metálicos y por lo tanto contribuye a la estabilización de color, aroma, turbidez.
- *Ácido acético*: es empleado sólo cuando un fuerte carácter avinagrado mejora el equilibrio del aroma y sabor.
- *Ácido ascórbico*: sus propiedades antioxidantes pueden ser de gran importancia, puede iniciar un pardeamiento tras un tratamiento térmico y desestabiliza algunos colorantes.
- *Ácido fumárico*: se puede usar en lugar de citrato para conseguir una acidez equivalente con una menor dosis, es menos soluble que el ácido cítrico y requiere de un proceso de solubilización especial.
- *Ácido málico*: posee un sabor y aroma frutal más fuerte que el ácido cítrico y puede utilizarse sin problemas en aguas duras.
- *Ácido fosfórico*: es apropiado para bebidas sin frutas, particularmente eficaz en bebidas de cola, es muy corrosivo, por lo que requiere una manipulación cuidadosa.
- *Ácido tartárico*: tiene un aroma mucho más brusco que el ácido cítrico, se emplea en concentraciones bajas y su uso no es adecuado en zonas de aguas duras.

e) Conservadores

Las bebidas carbonatadas permiten el crecimiento de un limitado número de microorganismos, pero a pesar de ello, se requiere el uso de conservadores para evitar la aparición de alteraciones en los periodos prolongados de almacenamiento. Debe apreciarse que además de las sustancias como los benzoatos, que se añaden por su función específicamente conservante, los acidulantes incluyendo el ácido carbónico también tiene un efecto antimicrobiano.

El grado de esta inhibición depende de la naturaleza del acidulante, produciéndose de un modo diferente, pero interrelacionado con el descenso del pH. Sin embargo el papel inhibidor de los acidulantes debe considerarse como una protección adicional y no como la barrera primaria contra el crecimiento microbiano. En la siguiente lista se mencionan algunos conservantes utilizados en la formulación de los refrescos:

- *Benzoatos*: su mayor actividad se presenta en valores de pH inferiores a 3, eficaz frente a un amplio grupo de microorganismos, puede precipitar si no se mezcla bien, sinérgico con el sulfito.
- *Parabenes*: más eficaces que los benzoatos a valores de pH superiores a 3, la actividad antimicrobiana aumenta con la longitud de la cadena (metil-propil) aunque disminuye con la solubilidad.
- *Sorbatos*: se usan normalmente como sal sódica, potásica o cálcica; más eficaz a valores bajos de pH, pero mantiene su actividad a pH de 6 y 6.5, puede precipitar si no se mezcla bien.
- *Dióxido de azufre*: normalmente empleado en forma de sal, es más efectivo a pH inferior a 4 y frente a las levaduras, mohos y bacterias gram-negativas, pierde actividad por unión a componentes de frutas para formar sulfitos y produce olores a bajas concentraciones

f) Dióxido de Carbono

En la industria de las bebidas gaseosas, una característica de estos productos es el dióxido de carbono o gas carbónico, el cual le da una apariencia efervescente y espumosa, y un sabor muy agradable a la bebida, ya que el CO₂ presenta ciertas características ácidas. La cantidad de gas que se disuelve en un volumen dado de agua, aumenta al incrementar la presión parcial del gas; el 1% del gas que se disuelve, reacciona con el agua y forma ácido carbónico.

El CO₂ ofrece una característica adicional benéfica, y ésta es que funge como un bacterioestático, esto quiere decir que inhibe el crecimiento microbiano; este beneficio se reduce y hasta se pierde cuando en el seno del líquido se encuentra incorporado otro tipo de gas indeseable (el aire), además que durante el proceso de carbonatación se dificulta la absorción del gas carbónico. La cantidad empleada varía según el sabor y la marca.

El dióxido de carbono debe fabricarse y almacenarse en las condiciones adecuadas para aditivos alimentarios y debe cumplir todas las leyes y reglamentos aplicables en el lugar de fabricación y recepción.

g) Jarabe simple

Una vez desarrollada una formulación adecuada, la preparación del jarabe simple es un procedimiento relativamente fácil. Se inicia con la disolución de azúcar de alta calidad en forma granulada o líquida en agua, se realiza de forma automática en tanques de acero inoxidable dotados con agitadores impulsados desde la parte superior a un tiempo y velocidad de agitación controlados; posteriormente, el concentrado simple es filtrado. Este concentrado contiene de 600 a 720 gramos de azúcar por litro de agua purificada, dependiendo de la densidad que se desee.

h) Concentrado

El concentrado (emulsión) es un ingrediente muy importante en la preparación de bebidas carbonatadas, ya que de éste dependen las características del producto final; se compone de una fase oleosa y una acuosa.

Este concentrado proporciona un aroma y sabor agradables a baja concentración, aunque cabe mencionar que la carbonatación, los acidulantes y los edulcorantes, también participan en el sabor y aroma del producto. La formulación exacta es característica de cada empresa, pero en general contiene agua, goma arábiga, aceites esenciales de frutas naturales, ácido cítrico, colorantes artificiales, benzoato de sodio y antioxidantes.

Un factor importante a considerar en los concentrados es la inversión del azúcar, debido a una hidrólisis ácida de sacarosa, que da como resultado una solución acuosa de glucosa y fructosa. Por efecto de la inversión, parte del agua se integra al proceso y hay una disminución del volumen total del concentrado, además de que el peso de los sólidos disueltos se incrementan y por lo tanto, los °Brix aumentan. Este proceso se acelera con la disminución del pH y el aumento de la temperatura.

En el Cuadro 1.1, se muestran algunas de las composiciones típicas de los refrescos, de acuerdo a los ingredientes que poseen y a la relación que hay entre el contenido de sólidos solubles (°Brix), el volumen de carbonatación o de gas, la acidez y el pH.

Cuadro 1.1 Composición típica de algunas bebidas carbonatadas (Potter, 1999)

Sabor	Sólidos solubles (°Bx)	Volumen de gas (g/L)	Ácido (%)	pH
Cola	10.5	3.4	0.09	2.6
Ginger ale	9.5	3.8	0.10	4.0
Vainilla	911.2	2.6	0.02	-
Limón y Lima	12.6	2.4	0.10	3.0
Naranja	13.4	2.3	0.19	3.4
Cereza	12.0	2.4	0.09	3.7
Frambuesa	12.3	3.0	0.13	3.0
Uva	13.2	2.2	0.10	3.0
Mandarina	10.8	3.3	0.19	3.0
Tamarindo	12.0	3.3	0.15	3.0

Se puede observar que las bebidas con un volumen de carbonatación mayor, presenta un menor contenido de sólidos solubles, los cual se refleja también en el pH que es más bajo en las bebidas con altos volúmenes de gas. En el caso de la acidez, se observa que es mayor en los productos que presentan un contenido elevado de °Bx, lo cual indica que es consecuencia del mayor contenido de los concentrados o saborizantes de la misma bebida (Potter, 1999).

1.4 Proceso de elaboración

En la Figura 1.1, se presenta el diagrama de proceso para la elaboración de bebidas carbonatadas, éste se especifica en tres etapas generales:

1. Tratamiento de agua
2. Proceso de concentrados
3. Embotellado

1. Tratamiento del agua de pozo

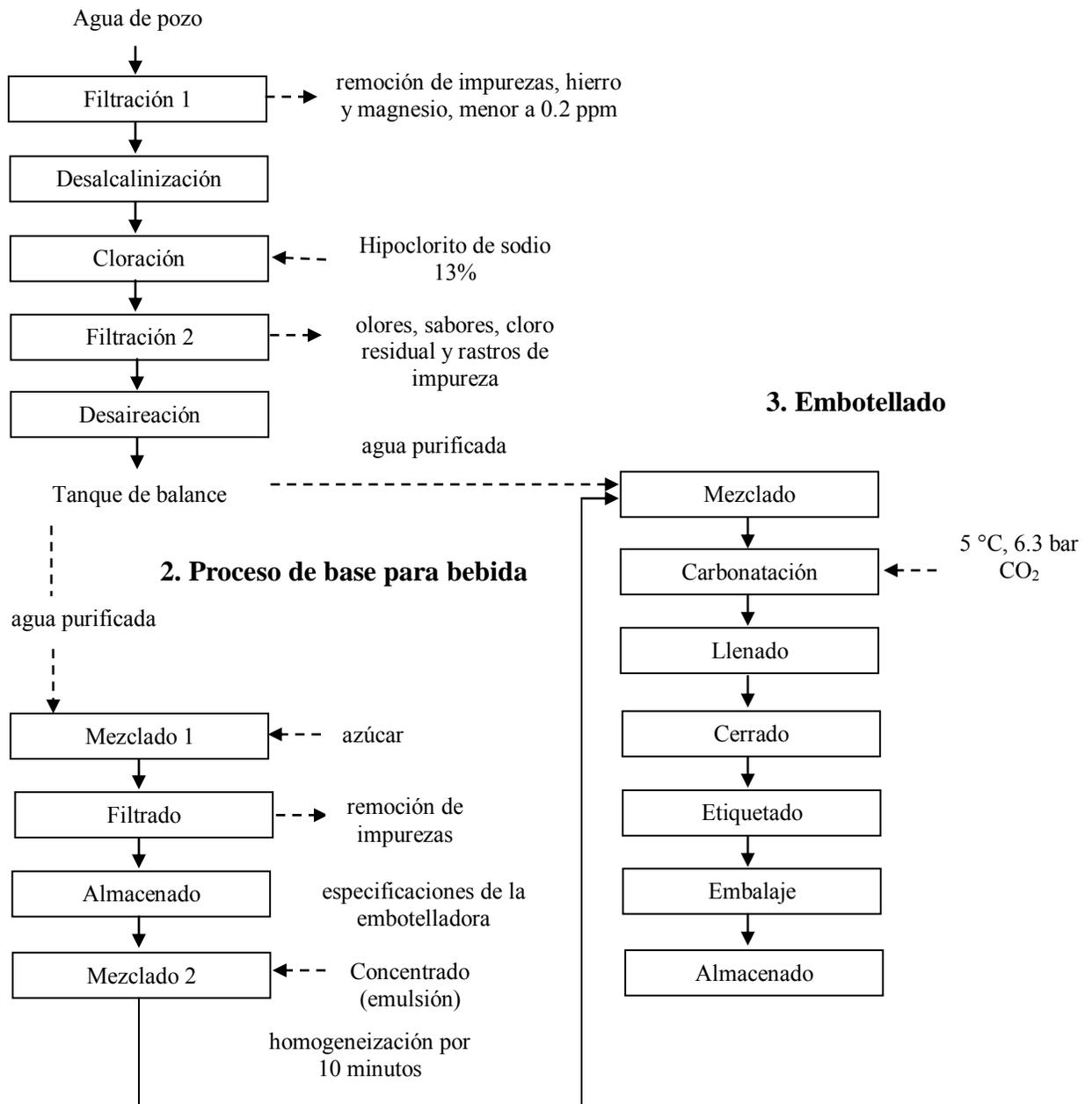


Figura 1.1 Diagrama de proceso.

1.4.1 Descripción del proceso

A continuación se describen cada una de las operaciones efectuadas en el proceso de elaboración de bebidas carbonatadas (ANFABRA, 2006; Barker, 2002, Sachman, 2005; Vargas, 2002).

a) Tratamiento del agua

- *Filtración 1:* el objetivo principal es remover los niveles de hierro y magnesio, éstos tienen que ser bajos a fin de prevenir las reacciones con agentes colorantes y componentes saborizantes, para lograrlo se utilizan filtros de arena y grava.
- *Desalcalinización:* la finalidad es ajustar el pH, el nivel de alcalinidad tiene que ser bajo a fin de prevenir la neutralización del ácido empleado en la bebida, lo cual alteraría su sabor y disminuiría su estabilidad.
- *Cloración:* con esta operación lo que se pretende es destruir las formas vegetativas de los microorganismos y eliminar las sustancias oxidables tales como la materia orgánica y los compuestos solubles del hierro.
- *Filtración 2:* consiste en la eliminación de olores, sabores, cloro residual y rastros de impurezas, comprende una serie de filtros de carbón activado y filtros pulidores.
- *Desaireación:* este procedimiento se basa en la eliminación del oxígeno por medio de una válvula de purga, y se requiere para facilitar las operaciones posteriores de carbonatación y llenado, además evita que el aire ocluido en el agua deteriore la calidad sensorial de los productos por su oxidación.

Con bajos niveles de aire, la presión parcial que hay que vencer para disolver el CO₂ es menor y los problemas de espumado debidos al gas que se escapa durante el llenado son menores. Los niveles altos de aire hacen que el CO₂ se escape demasiado rápido al dispensar la bebida, quedando un refresco con poco gas e insípido y causan un deterioro más rápido durante el almacenamiento. En este proceso el agua adquiere un sabor ligeramente ácido debido a la absorción de dióxido de carbono.

b) Proceso de base para bebida

- *Mezclado 1:* etapa cuya finalidad es mezclar agua purificada y azúcar dentro de un tanque de disolución a un tiempo y velocidad de agitación controlados, esta solución se conoce como jarabe simple.
- *Filtrado:* parte del procedimiento que consiste en la eliminación de impurezas, esto es de acuerdo a la calidad del azúcar.
- *Almacenado:* una vez que el jarabe simple obtenido haya cumplido con las especificaciones de la embotelladora, es depositado en un tanque de almacenamiento.
- *Mezclado 2:* en esta operación, se combinan el jarabe simple y el concentrado. La homogeneización es muy importante, ya que de esto depende la incorporación de la emulsión.

c) Embotellado

- *Mezclado:* esta etapa se basa en la adición de agua purificada para ajustar los °Brix que el producto requiera, se mantiene una agitación constante para obtener una solución más homogénea.
- *Carbonatación:* esta parte del proceso de elaboración de las bebidas carbonatadas es la más importante, se define como la disolución de dióxido de carbono gaseoso en agua a baja temperatura, mientras más delgada sea la película de líquido y mayor la presión ejercida por el CO₂, se romperá más fácil la tensión superficial del líquido y por lo tanto se facilita la absorción del gas.

El grado de carbonatación se refiere a la cantidad de gas carbónico que se encuentra disuelto en el producto, se mide en volúmenes de gas y es equivalente a 2.43 g/L.; el nivel óptimo de carbonatación varía de acuerdo con las características de las distintas bebidas.

La carbonatación se efectúa en un carbonatador conocido como “carbocooler”, en el cual la bebida ya preparada pasa en sistema continuo a una velocidad controlada a una temperatura de 5°C, bajo la presión de 6.3 bar.

El papel fundamental de un carbonatador es conseguir un íntimo contacto entre el CO₂ gaseoso y el líquido que tiene que ser carbonatado. Los factores que determinan la carbonatación son:

- La presión del sistema
- La temperatura del líquido
- El tiempo de contacto entre el líquido y el CO₂
- El área interfacial entre el líquido y el CO₂
- La afinidad del líquido por el CO₂
- La presencia de otros gases

La presión, temperatura y superficie de contacto son factores que se pueden variar en todos los modelos de carbonatadores. En muchos casos éstos se encuentran equipados con un sistema refrigerante interno o externo, que permite controlar la temperatura. El enfriamiento a 2-6°C, evita el uso de presiones muy altas cuando se carbonata hasta altos niveles, a la vez que tiene ventajas en el embotellado.

El funcionamiento de un “carbocooler” se puede describir haciendo referencia a un sistema de flujo descendente. Este sistema se compone de un depósito principal que contiene dióxido de carbono a una presión de hasta 6 bar. El depósito contiene un número variable de módulos de intercambiadores de calor, por los cuales circula un líquido refrigerante. El producto entrante se hace fluir hacia abajo en finas películas sobre las superficies de los intercambiadores. La gran área superficial de la película y la tendencia a un flujo turbulento permiten una refrigeración y una carbonatación rápidas y simultáneas.

- *Llenado:* antes de realizar el llenado, se lleva a cabo un lavado de botellas, cuyo objeto es obtener un envase impecable. Esto se realiza mediante un sistema de remojo y pulverización con detergentes y desinfectantes, combinando la temperatura ambiente con una acción mecánica (cepillado); con el fin de eliminar toda la suciedad y materias extrañas que pudieran provocar la descomposición o el deterioro de la imagen del producto.

El llenado es el proceso mediante el cual las bebidas carbonatadas se dispensan automáticamente desde la máquina llenadora a los envases individuales antes de cerrarlos, cuidando de preservar las características de especificación del producto.

Es necesario considerar la tendencia de los refrescos a espumar durante el llenado, lo cual deberá prevenirse para evitar que esta operación sea ineficiente, así como un mal cerrado del envase; por lo tanto se tienen que igualar las presiones entre el envase y la máquina llenadora para evitar el espumeo del producto.

- *Cerrado:* una vez llenadas las botellas éstas son cerradas, se pueden utilizar diferentes tipos de cierre para distintas botellas como pueden ser tapas de rosca en el caso PET (polietilentereftalato) o corcholatas en el caso de envases de vidrio. Con esta operación se logra como resultado un envase completo, por lo tanto debe ser muy precisa y tiene que cumplir las siguientes condiciones:
 - Evitar un derrame incontrolado del producto.
 - Encargarse de la función de apertura y en ocasiones de otro cierre.
 - Garantizar una protección frente a influencias de transporte.
 - Cumplir con las condiciones impuestas por la presión, temperatura, movimiento, choque y golpes sobre el envase.

- *Etiquetado:* las botellas que ya han sido llenadas y cerradas, pasan al etiquetado de una máquina especial, dispensadora de etiquetas desde grandes enrolladores, las cuales serán colocadas en cada una de las botellas; en el caso de las latas, el etiquetado se inscribe en el propio envase. El etiquetado es obligatorio en todos los envases de bebidas carbonatadas y se deben de figurar de forma clara y visible los siguientes datos:
 - El nombre o denominación de venta de la bebida refrescante
 - La lista de ingredientes
 - La cantidad de algunos de sus ingredientes
 - El nombre o razón social y la dirección del fabricante o del envasador
 - La cantidad de bebida que contiene el envase (en litros o mililitros)
 - La fecha de consumo preferente o de caducidad
 - El lote
 - Un desglose de la información y propiedades nutritivas de la bebida, debe de indicarse el valor energético del producto y la cantidad de proteínas, carbohidratos y grasas que contiene

- *Embalaje*: los envases son acomodados en cajas, “palets” u otras presentaciones, los cuales tienen que estar debidamente identificados, apilados en superficie y altura adecuados al movimiento, recepción, manipulación y expedición.
- *Almacenado*: Tras el envasado y etiquetado de las bebidas refrescantes, éstas pasan al almacén de la fábrica, donde permanecerán hasta su distribución. Allí la temperatura se mantiene fresca para una mejor conservación de los refrescos; además el almacén debe estar correctamente ventilado. Existe una rotación periódica del producto para evitar un almacenamiento prolongado, además se realizan inspecciones tanto de los productos como de las condiciones del local, para prevenir que los envases y las bebidas se deterioren.

1.5 Estabilidad de las bebidas carbonatadas

1.5.1 Emulsión

La emulsión es una dispersión coloidal de un líquido dentro de otro, el cual es normalmente inmisible. La fase discontinua se obtiene al romper uno de los líquidos por medios mecánicos en pequeñas gotas, que se distribuyen en la fase continua. Sin embargo, esta emulsión es termodinámicamente inestable y al dejarla reposar por algún tiempo, las gotas se agregan pasando primero por el estado conocido como floculación, para luego producir la coalescencia y por último la separación de dos fases inmiscibles y diferenciables (Badui, 2006).

Las variables más importantes que determinan las propiedades de una emulsión son las siguientes (Fennema, 2006):

1. Tipo: es decir aceite/agua o agua/aceite. El tipo determina entre otras cosas, con qué líquido puede diluirse una emulsión. En el caso de las bebidas carbonatadas es aceite/agua (fase discontinua/fase continua).
2. Distribución de tamaño de las gotas: repercute de un modo importante en la estabilidad física; generalmente las gotas más pequeñas constituyen emulsiones más estables. La amplitud de la distribución de tamaño es igualmente importante, por la gran dependencia de la estabilidad con respecto al tamaño de partícula.

3. Fracción volumétrica de la fase discontinua. Determinará el estado físico de la emulsión, menor concentración (< 10%) proporciona emulsiones fluidas, mientras que altas concentraciones (> 60%) se desarrollan productos de alta consistencia (semisólidos).
4. Composición y grosor de la película superficial en torno a las gotas: determinada por la tensión interfacial, las fuerzas de interacción coloidales, ya que son importantes para llevar a cabo la formación de la emulsión.
5. La composición de la fase continua: que determina las relaciones entre disolvente y el surfactante, y por tanto, las interacciones coloidales (Fennema, 2006).

La formación de una emulsión se logra si se incorpora una tercera sustancia que actúa en la interfase de los líquidos denominada emulsificante o emulsionante, además de la aplicación de energía mecánica. Por lo tanto toda emulsión estable debe estar formada por dos líquidos inmiscibles entre sí y un agente emulsificante apropiado, el cual debe ser adicionado a una de las fases; además de otros factores como pueden ser el tamaño de partícula, la diferencia de densidad de ambas fases, la viscosidad de la fase continua, las cargas de las partículas, la cantidad del emulsionante, la temperatura, la agitación, la evaporación (Aranberri, 2006).

1.5.2 Emulsiones para bebidas

Otro aspecto importante en la elaboración de las bebidas gaseosas, es que muchos sabores utilizados en las formulaciones de los refrescos se preparan en forma de emulsiones, las cuales son consideradas como una clase única, ya que a diferencia de otras emulsiones alimenticias, éstas se consumen después de haber sido diluidas cientos de veces.

Las emulsiones para bebidas están compuestas por una fase de aceite y una fase de agua. La fase oleosa está compuesta por aceites esenciales y agentes de balance de peso, estos últimos son añadidos para incrementar la densidad de la fase oleosa. La fase acuosa usualmente se compone de hidrocoloides como la goma arábica, ácidos como el cítrico, colorantes y conservadores (Mirhosseini y col., 2008a; Dickinson, 2008).

El sabor de dichas emulsiones, se obtiene principalmente de los aceites esenciales extraídos de la fruta, éstos no son normalmente solubles o miscibles en el agua del producto, es decir, si se añaden a la bebida ocurrirá una separación del aceite esencial en forma de gotitas, lo

cual trae como consecuencia la formación de un anillo en el cuello de la botella, siendo totalmente visible en el producto (Taherian y col., 2006).

Además de presentarse este defecto visual en el refresco, es importante mencionar que el sabor no se encontraría completamente homogéneo en la bebida.

El hecho de usar el aceite esencial como una emulsión resuelve este problema. Esto es, que el sistema mantiene el sabor de los aceites en la bebida, de la misma manera le proporciona cuerpo y turbidez al producto final. Una emulsión de sabor no puede ser utilizada en la elaboración de una bebida clara, ya que ésta se puede enturbiar (Dluzewska y col., 2006).

Debido a que los concentrados son elaborados a partir de diversas frutas, hace posible la existencia de una gran variedad de productos de diferentes sabores en el mercado.

1.5.3 Agentes de balance de peso, emulsificantes y estabilizantes

a) Agentes de balance de peso

Son sustancias que poseen una densidad relativamente mayor que la del aceite y es soluble en este mismo. Dichos agentes son añadidos en los aceites esenciales para aumentar su densidad y ayudar a mantener una dispersión estable en esta fase. En la industria refresquera, dichos componentes también son llamados agentes de ajuste de densidad; los criterios para la elección de un agente de balance de peso adecuado son los siguientes (Friberg, 1997; Sjöblom, 2006; Shin y Cook, 2002; Whistler y Bemiller, 1992):

- Debe ser soluble en aceite, pero relativamente insoluble en soluciones de azúcar.
- Su densidad debe ser lo suficientemente mayor que la de los aceites esenciales.
- No contribuirá con un sabor, olor y color desagradables en el producto terminado.
- Debe ser aprobado por el organismo de reglamentación de los alimentos del país en el que el producto se va a consumir.

Los agentes de balance de peso más utilizados en la preparación de emulsiones para bebidas de sabores se mencionan a continuación (Chanamai y Mc Clements, 2000):

- *Goma éster*: es una resina sólida de color ámbar, producida por la esterificación de la brea de los pinos y con glicerina de grado alimentario, ésta se purifica mediante tratamiento por vapor. Se compone aproximadamente de un 90% de ácidos de resina y un 10% de fracciones neutrales.

La fracción ácida es una mezcla compleja de isómeros de diterpenoides monocarboxílicos. Estos ácidos se clasifican en dos tipos: el abiético y el pimárico. Los ácidos de tipo abiético contienen dienos conjugados, los de tipo pimárico se diferencian de éstos por la localización del enlace doble y en el tipo de configuración del grupo alquilo. La presencia del enlace doble conjugado del ácido abiético, hace que este sea fácilmente oxidable. Las fracciones neutras de la goma poseen aproximadamente un 60% de éster de resina y ácidos grasos.

La goma éster es producida en forma de laminillas o lentejuelas para facilitar su uso, ya que de esta manera se reduce el riesgo de una posible oxidación, la cual provocaría el oscurecimiento del color y una disminución en la solubilidad de los terpenos y otros disolventes orgánicos.

El éster de glicerol es considerado como uno de los agentes de balance de peso más utilizados en la creación de emulsiones turbias para refrescos, debido a que evita que los aceites aromatizantes floten en la superficie de las bebidas y en conjunto con otros emulsionantes, se obtiene un producto con mejor estabilidad.

- *Goma damar*: damar es el nombre generalmente dado a un grupo de exudados naturales de los arbustos de la familia *Caesalpinaceae* y *Dipterocarpaceae*, estas plantas son originarias de Malasia, Indonesia y la India; dicha goma posee un color blanquecino amarillento.

La resina de esta goma contiene una fracción ácida y otra neutra. La primera contiene alrededor de un 40% de alfa-resina (resina que se disuelve en alcohol), un 22% de beta-resina, el 23% corresponde al ácido damarol y un 2.5% es de agua. La segunda fracción se encuentra subdividida en alfa-etanol (el cual es la parte soluble) y beta-etanol. El resto de la resina es principalmente una mezcla compleja de triterpenos ácidos y neutros.

La goma damar es completamente soluble en aceites aromáticos, además una gran cualidad que presenta es que se puede utilizar en su forma cruda, lo cual facilita su aplicación en la preparación de emulsiones turbias.

Algunas impurezas que se llegan a presentar en la forma cruda de la goma son insolubles en agua, éstas son eliminadas con una simple filtración después de haber hecho la solución.

- *SAIB (Acetato Isobutirato de Sacarosa)*: es una de la mezcla de ésteres de sacarosa, el componente que se obtiene principalmente de dicha mixtura es el diacetil hexa-isobutirato de sacarosa.

Este elemento se obtiene por la esterificación de azúcar de caña con anhídrido acético y anhídrido isobutírico, en la presencia de un catalizador de hidróxido de bario. Después de la separación de los ácidos y de los anhídridos mediante la aplicación de vapor a vacío, el producto crudo es decolorado con carbón activado y purificado por destilación molecular.

El acetato isobutirato de sacarosa es una sustancia incolora, inodora e insípida. A temperatura ambiente es un líquido muy viscoso, sin embargo, ésta puede se puede reducir si se incrementa la temperatura o cuando se mezcla con un solvente.

El SAIB es utilizado para facilitar la emulsificación de aceites aromatizantes en el medio acuoso para la fabricación de bebidas carbonatadas, además de ser totalmente compatible con otros agentes como la resina esterificada, aceites vegetales y minerales.

- *BVO (Aceite Vegetal Bromado)*: fue el primer producto utilizado como agente de balance de peso de aceites esenciales, en la elaboración de bebidas. Es producido por la adición de moléculas de bromo en los enlaces olefinicos de los ácidos grasos insaturados de los aceites vegetales (soya, maíz, canola). Es un líquido viscoso de color marrón oscuro, con olor y sabor suaves.

La densidad del BVO es lo que lo hace único y por lo tanto un agente importante y efectivo para los aceites cítricos, ya que éste los equilibra y al mismo tiempo proporciona turbidez en el producto final (Friberg, 1997). Actualmente existen algunas restricciones para hacer uso de este emulsionante, ya que es un elemento que en grandes concentraciones suele ser tóxico; por lo tanto su aplicación no debe ser mayor a los 15 mg/L (NOM-218-SSA1/SCFI-2002).

- *Aceite mineral*: mezcla compleja obtenida del petróleo (hidrocarburos parafinicos y nafténicos), selectivamente refinados, cumple con la prueba ácida y con el contenido de compuestos polinucleares. Se dispersa fácilmente y de manera uniforme, presenta gran estabilidad a la oxidación, tiene propiedades como solvente

y vehículo de otros compuestos, actúa como agente de balance de peso, emulsificante y enturbiante.

b) Emulsificantes

Son tensoactivos que reducen la tensión superficial y hacen que las dos fases se estabilicen al lograr un contacto estrecho, esto es que la tensión del agua se reduce al mismo valor que la del aceite, y de esta manera se logra que las dos fases se estabilicen.

Los emulsionantes son agentes anfifílicos, constituidos por dos fracciones diferentes: una parte hidrófila, y otra lipófila; la primera se solubiliza en agua y la segunda en lípidos. De acuerdo a esta estructura, los emulsificantes tienden a situarse preferentemente en las interfases que separan los medios acuosos de los no acuosos, contribuyendo de esta forma a la reducción de la inestabilidad termodinámica de las emulsiones (Aranberri, 2006).

Los emulsificantes se usan en porcentajes pequeños y para que funcionen de manera eficaz, deben cumplir con las siguientes condiciones:

- Ser altamente soluble en agua fría
- De baja viscosidad en agua
- De altas propiedades emulsionantes
- No debe espesar o gelificar

Los más utilizados en la industria refresquera son los que se enlistan a continuación (Nussinovitch, 1997):

- o *Goma arábiga*: es un exudado de algunos árboles del género *Acacia*, de los cuales existen muchas especies en las regiones tropicales y subtropicales. Las zonas de producción más importantes de las especies que proporcionan la goma de mejor calidad son Sudán y Nigeria.

La goma arábiga es un heteropolisacárido muy ramificado de la familia de las arabinogalactomananas, formado por dos fracciones. La primera constituye alrededor del 70% de la goma y consiste en una cadena principal de unidades de beta-galactopiranosas a la cual se le unen algunos residuos de L-ramnopiranosas, de ácido glucorónico y de L-arabinofuranosas. La otra fracción contiene moléculas de peso molecular más alto, por lo que respecta a su contenido de proteína como parte integral de su estructura.

Una de sus principales características es que se disuelve con facilidad por agitación en agua. Tiene propiedades únicas entre las gomas de uso alimentario por su alta solubilidad y la baja viscosidad que desarrolla, ya que las disoluciones de dicha goma adquieren un comportamiento newtoniano en concentraciones hasta del 40%.

La goma arábica es tanto un ligero agente emulsivo como un muy buen estabilizador de las emulsiones de aceite en agua. Es la goma de elección para la emulsificación de cítricos, otros aceites esenciales y aromas sintéticos utilizados en los concentrados. La industria refresquera consume alrededor del 30% de las existencias de esta goma para su uso como emulsificante y estabilizante.

Esta goma es capaz de provocar dichos efectos, ya que posee tensoactividad y forma una capa macromolecular gruesa alrededor de las gotitas, de forma que se produce una estabilización estérica

Se encuentra en el mercado como goma sin transformar de color amarillo claro, o procesada, ya sea molida, secada por aspersion o en forma de lentejuelas.

- *Almidones modificados*: son aquellos que presentan mejores propiedades funcionales que los almidones nativos, por lo que generalmente se emplean en la industria como agentes estabilizadores, emulsionantes, humectantes, espesantes, etc. Existen diversos procesos a través de los cuales se pueden obtener almidones modificados, entre éstos: gelatinización, fluidización por ácidos, eterificación, esterificación, oxidación, acetilación, fosfatación, hidroxipropilación, enlaces cruzados y parcialmente hidrolizados.

Estos aditivos son los más ampliamente utilizados en lugar de la goma arábica, como agentes emulsificantes para la elaboración de emulsiones para bebidas y son especialmente diseñados para tener una cantidad equilibrada de grupos lipofílicos e hidrofílicos en las moléculas del almidón. Son solubles en agua fría, poseen una viscosidad muy parecida a la de la goma arábica, tiene un color amarillo-blanco y un sabor suave.

Una de las ventajas más importantes de usar este tipo de almidón modificado, es que la materia prima es el maíz, y este producto crece en muchos lugares del mundo y en grandes cantidades; además no se ve tan afectado por las condiciones climáticas como puede ser el caso de la goma arábica. Otra de sus principales ventajas es que

la cantidad utilizada en las formulaciones de las emulsiones, es menor que la que requieren otros hidrocoloides; es por eso que se considera como un gran sustituto de la goma antes mencionada (Whistler y Bemiller, 1992; Dickinson y Akhtar, 2007).

- *Goma gatti*: es el exudado del tronco del árbol *Anogeissus latifolia*, de la familia combretácea; que contiene principalmente sal cálcica y magnésica del ácido gáltico. Es un heteropolisacárido formado por L-arabinosa, D-galactosa, D-manosa, D-xilosa y ácido D-glucorónico.

Sus disoluciones son estables en un intervalo de pH de 3.5 a 10, y se puede emplear como sustituto de la goma arábiga en bebidas. El pH normal de una disolución de goma gatti es de 4.8, condición por la cual es sensible a pHs alcalinos; posee una alta capacidad de hidratación en agua fría; produce viscosidad moderada y es un buen emulsificante, por esta razón, la goma gatti también suele usarse en la preparación de bebidas.

c) Estabilizantes

Son hidrocoloides que se emplean ampliamente por las singulares características texturales, estructurales y funcionales que imparten a los alimentos. Se utilizan generalmente a concentraciones del 2% o inferiores, ya que muchos presentan una capacidad limitada de dispersión y la funcionalidad deseada a esas concentraciones. En muchas ocasiones la eficacia de los hidrocoloides está directamente relacionada con su capacidad de aumentar la viscosidad. No son auténticos emulsionantes, pero cumplen con la función de estabilizar la emulsión mediante un mecanismo electrostático (Fennema, 2000).

Algunos ejemplos son los que se mencionan a continuación (Glicksman, 1979):

- *Goma tragacanto*: es el exudado seco de varias especies de árboles *Astragalus*, como *A. gummifer*, de la familia de las leguminosas. Está constituida por dos fracciones: una soluble en agua (tragacantina) y otra insoluble (basorina); la primera está formada por moléculas de L-arabinosa, ácido D-galacturónico, D-galactosa y D-xilosa, comprende 70% de la goma. Sus disoluciones presentan viscosidades generalmente muy superiores a las logradas con otras gomas; la adición de ácidos, álcalis o NaCl reduce la viscosidad, incluso ésta también se ve afectada por el modo en que se prepara la solución, y sus geles son susceptibles de ataque microbiano.

Es un hidrocoloide ligeramente ácido (pH de 5.0 a 6.0), que en la naturaleza se presenta como sal de sodio, calcio y magnesio.

Entre sus propiedades funcionales están la estabilidad y la resistencia a los ácidos; también es un emulsificante bifuncional, proporciona cuerpo y es espesante.

La interacción de la goma tragacanto y la goma arábica, suele ser muy efectiva para lograr la emulsificación y estabilización de las emulsiones para bebidas refrescantes, además de que se obtiene una viscosidad adecuada en el producto; para esto se utiliza un 80% de tragacanto y un 20% de arábica.

- *Goma guar*: se obtiene del endospermo de la semilla leguminosa *Cyamopsis tetragonolobus*; sus estructura química es ramificada y la cadena principal consiste en unidades de beta-D-manopiranosas, a la cual se le añaden ramificaciones de alfa-D-galactopiranosas. Es soluble en agua fría, y su solubilidad aumenta al disminuir el tamaño particular de la goma y al aumentar la temperatura. Carece de grupos ionizables, lo cual la hace prácticamente inalterable a los cambios de pH, ya que es estable en un intervalo de 1.0 a 10.5, pero su máxima capacidad de hidratación se alcanza a pH de 7.5 a 9.0. La adición de altas concentraciones (menores al 5%) de sales multivalentes provoca que se produzcan geles.

Al hidratarse en agua fría forma dispersiones coloidales viscosas con características tixotrópicas. La presencia de sales afecta un poco, ya que está conformada por azúcares neutros.

- *Carboximetilcelulosa (CMC)*: es utilizada en la industria alimentaria en grandes cantidades y en gran variedad de aplicaciones. El tratamiento de la pulpa de madera purificada con una solución al 18% de NaOH produce celulosa alcalina. Cuando la celulosa alcalina se hace reaccionar con la sal sódica del ácido cloroacético, se forma la sal sódica del éter carboximetílico.

Las moléculas de la carboximetilcelulosa son largas y bastante rígidas, con carga negativa debido a los numerosos grupos carboxílicos ionizados que contiene, la repulsión electrostática hace que sus moléculas en solución adopten una forma extendida. De la misma forma, las cadenas adyacentes se repelen entre sí. En consecuencia, las disoluciones de CMC tienden a ser viscosas y estables.

- *Pectina*: son aquellas que comprenden un extenso grupo de heteropolisacáridos vegetales cuya estructura básica está integrada por moléculas de ácido D-galacturónico, unidos por enlaces glucosídicos alfa-D, en la cual algunos de los carboxilos pueden estar esterificados con metilos o en forma de sal. La pectina se encuentra asociada con otros hidratos de carbono, principalmente con hemilcelulosas.

Se encuentran en mayor cantidad en los frutos inmaduros y especialmente en algunos tejidos suaves, como la cáscara de los cítricos, de las manzanas, de las peras, etc.

La funcionalidad de una pectina, y por ende su posible aplicación, depende de factores intrínsecos como su peso molecular y su grado de esterificación; y por factores extrínsecos, tales como el pH, las sales disueltas y la presencia de azúcares. La viscosidad de sus disoluciones, al igual que la de otros polisacáridos, se incrementa a medida que aumenta el peso molecular y el grado de esterificación.

En cuanto a las emulsiones que contienen aceites esenciales, la turbidez, la viscosidad y el cuerpo del producto, se dan debido a un sistema coloidal que depende de la concentración y el grado de polimerización de la pectina, así como del pH y de las sales disueltas en el medio, de estas características depende que el consumidor acepte el producto o no.

1.5.4 Problemas de estabilidad de emulsiones para bebidas

La inestabilidad de las emulsiones está generalmente asociada con técnicas incorrectas de elaboración, incluyendo errores en el orden de mezclado, apresurada adición de las fases, agitación inadecuada, incorrecta manipulación, uso excesivo de calor, presencia de electrolitos disueltos y la elección de un agente emulsificante inadecuado. La duración de la estabilidad de las emulsiones, depende hasta cierto punto de la calidad de la homogeneización; es decir, si la emulsión no ha sido homogeneizada de manera adecuada, las fases tenderán a separarse e incluso cuando la bebida se encuentre dentro del envase. (Gutiérrez, 2002).

Existen varios mecanismos que pueden ser responsables de alteraciones de las propiedades de las emulsiones, entre éstas se pueden citar las siguientes (Roudot, 2004; Friberg, 1997):

- a) *Formación de nata y sedimentación*: son dos formas de separación gravitatoria. La formación de nata está unida al desplazamiento de las gotitas de aceite hacia la superficie de la emulsión, debido a su menor densidad. La sedimentación está unida a su desplazamiento hacia el fondo de la emulsión debido a su mayor densidad.

Este tipo de separación es considerado como una falta de calidad de las emulsiones y puede ser detectado fácilmente por la presencia de una capa ópticamente opaca, rica en gotitas y otra capa menos opaca, que posee una menor densidad de gotitas. Estas dos capas tienen texturas diferentes, siendo la primera más viscosa que la segunda.

La impresión en degustación también es diferente, una parte presenta un carácter acuoso, mientras que en una muestra tomada en la segunda zona parecerá demasiado rica en materias grasas.

En la industria de las bebidas carbonatadas, el nombre común que se le da a la formación de nata es la formación del anillo, lo cual indica la separación del aceite aromático esencial y el agua.

- b) *Floculación*: corresponde a un reagrupamiento, en forma de montones de las gotitas de la emulsión. Dichas partículas están en movimiento perpetuo y entran en colisión unas con otras, después pueden bien alejarse de nuevo o bien agregarse en función de la estructura electroquímica de sus paredes.

La floculación puede ser una ventaja o un defecto según el elemento afectado (en el caso de los concentrados y las bebidas, es un defecto). Este reagrupamiento de las gotitas provoca un aumento de la viscosidad del producto, por tal razón, este fenómeno debe ser eliminado.

- c) *Coalescencia*: es un fenómeno que se produce cuando las gotitas en contacto pierden su integridad para transformarse en gotas de mayor volumen. La coalescencia comienza como la floculación, pero en este caso, las gotitas en contacto engordan, lo que acelera la sedimentación o formación de nata, y conduce

a una desestabilización del sistema bajo la forma de un medio que posee dos capas separadas de características homogéneas.

- d) *Interacción electrostática*: En las emulsiones de agua en aceite, las partículas de aceite adquieren cargas eléctricas a través de la ionización de una superficie de adsorción de cargas eléctricas. Dicha superficie puede estar cargada debido a la adsorción de pequeños iones dispersos en la fase acuosa y también por un posible mecanismo de fricción entre las gotas.

Los aniones tienen una mayor tendencia a ser adsorbidos que los cationes, esto es porque los cationes normalmente se encuentran más hidratados y tienden a mantenerse en la fase acuosa. Esto significa que una sustancia con una constante dieléctrica alta, se carga positivamente al entrar en contacto con otra sustancia que tiene una constante dieléctrica baja. Debido a que el agua posee una carga dieléctrica mayor que la del aceite, la primera pasaría a tener una carga positiva y la segunda obtendrá una carga negativa. Dichas cargas causan una fuerza repulsiva entre las gotas de aceite que evita la floculación, por lo tanto contribuyendo a la estabilidad de la emulsión.

La constante atracción y repulsión de las cargas, generan una nube difusa totalmente cargada desde la capa interior de la gota, hasta la capa exterior, lo cual se conoce como doble capa eléctrica. Cuando la atmósfera iónica es densa y el potencial de la partícula tiende a neutralizarse, por consecuencia no hay repulsión electrostática e implicaría una aproximación de dos partículas vecinas, por lo cual aparecería como resultado la floculación.

Para tener una idea clara de la estabilidad de las partículas, se recurre a la medición del potencial Z , o también llamado potencial electrocinético, el cual señala el diferencial de cargas desde el centro de la gota hacia la superficie; lo cual indica que entre mayor sea dicha diferencia, mayor será la estabilidad.

En el Cuadro 1.2, se mencionan algunos intervalos del potencial Z que indican el grado de estabilidad de una dispersión.

Cuadro 1.2 Potencial Z de sistemas dispersos (Friberg, 1997).

Características de estabilidad	Potencial Z (mV)
Máxima aglomeración y precipitación	0 a +3
Fuerte rango de aglomeración y precipitación	+5 a -5
Posible aglomeración	-10 a -15
Dispersión delicada	-16 a -30
Moderadamente estable	-31 a -40
Buena estabilidad	-41 a -60
Muy buena estabilidad	-61 a -80
Excelente estabilidad	-81 a -100

1.6 Reología de líquidos

Muchos alimentos presentan propiedades de líquidos, en el sentido de que se deforman rápidamente al aplicarles una fuerza pequeña (esfuerzos de cizalla, gravedad), como la leche, la miel, el aceite, los jugos, la mantequilla, etc. Estos productos se transportan a menudo mediante bombeo, en consecuencia, es necesario conocer lo más claramente posible su comportamiento en situación de flujo, y por lo tanto su viscosidad. Además, esta propiedad es una componente importante de las características sensoriales y texturales del producto (Roudot, 2004).

La Reología es la ciencia que estudia el flujo y la deformación de los materiales bajo la acción de una fuerza. La viscosidad de los fluidos fue estudiada primeramente por Newton, y de ahí el nombre de fluido newtoniano. En este tipo de los fluidos, existe una relación lineal entre el esfuerzo cizalla y la velocidad de cizalla, lo cual significa que la viscosidad es constante e independiente de la velocidad cizalla. Los fluidos que no cumplen con dicha relación se conocen como fluidos no newtonianos, pueden ser del tipo fluidificante a la cizalla o espesante, o pueden depender también de la duración de la velocidad de cizalla aplicada (Geankoplis, 2006).

CAPÍTULO 2

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

2.1 Objetivos

Objetivo general

Evaluar el efecto de la temperatura y tiempo de almacenamiento para determinar la estabilidad de dos bebidas carbonatadas y sus respectivos concentrados, a través del seguimiento de sus propiedades físicas y fisicoquímicas.

Objetivos particulares

-Evaluar la estabilidad de los concentrados en dos sabores diferentes, mediante pruebas de: índice de refracción (nD), color, densidad, pH, potencial Z, tamaño de partícula, dispersión de luz y reológicas, a tres temperaturas (5, 23 y 40 °C), durante un mes de almacenamiento.

-Evaluar la estabilidad de las bebidas carbonatadas en dos sabores diferentes, mediante pruebas de: índice de refracción (nD), color, densidad, pH, potencial Z, tamaño de partícula, dispersión de luz, viscosidad y turbidez, a tres temperaturas (5, 23 y 40 °C), durante un mes de almacenamiento.

2.2 Desarrollo Experimental

2.2.1 Materiales

La planta de colorantes líquidos artificiales SEPIM, proporcionó un galón de concentrado de mandarina y tamarindo, los cuales fueron almacenados a diferentes temperaturas (5, 23 y 40 °C) en envases de PET de 600 ml durante un mes.

Se utilizaron bebidas carbonatadas elaboradas a partir de dichos concentrados (Planta Jarritos Tultitlán), las cuales se almacenaron a diferentes temperaturas (5, 23 y 40 °C) en envases de PET de 600 ml durante un mes.

Las muestras de las bebidas carbonatadas, se tuvieron que desgasificar antes de realizar las mediciones, ya que el gas provocaba lecturas erróneas.

Todas las pruebas fueron realizadas a temperatura ambiente.

2.2.2 Actividades Preliminares

-Llevar a cabo la caracterización del frigorífico doméstico para el almacenamiento de las muestras a 5 °C.

-Verificar que la temperatura de la estufa sea de 40 °C, utilizando un termómetro de mercurio.

-Almacenar en botellas de 600 ml los concentrados de mandarina y tamarindo (proporcionados por SEPIM), y las bebidas carbonatadas de los sabores ya mencionados, a las temperaturas de almacenamiento (5, 23, 40 °C).

2.2.3 Variables

Selección de variables

Las variables que intervienen en la inestabilidad de las emulsiones, prácticamente se atribuyen a las características de los componentes que conforman la fase discontinua, es decir, los agentes emulsificantes, agentes estabilizantes, aceites esenciales, ácidos, entre otros; sin embargo, en vista de que los concentrados y las bebidas carbonatadas fueron proporcionados directamente por el fabricante y no se pudo modificar la formulación, lo que se pudo monitorear o controlar fue la temperatura y el tiempo de almacenamiento.

Definición de Variables

a) Factores de variación

- Sabor
- Concentración de la emulsión
- Temperatura de almacenamiento
- Tiempo de almacenamiento

b) Niveles de variación

Sabores:

- Mandarina
- Tamarindo

Concentraciones de la emulsión:

- Concentrado
- Bebida carbonatada

Temperaturas de almacenamiento

- 5 °C
- 23 °C
- 40 °C

Tiempo de almacenamiento:

- 1 mes

c) Número de repeticiones

Se realizaron tres repeticiones para cada uno de los análisis, a excepción de las pruebas reológicas y de dispersión de luz, ya que en estos casos fueron dos repeticiones.

d) Variables de respuesta

Se obtuvieron principalmente datos que reflejen algún tipo de inestabilidad en las emulsiones, que se observaron directamente en las pruebas de estabilidad, las curvas de flujo y en las propiedades fisicoquímicas.

2.2.4 Métodos para determinar propiedades físicas y fisicoquímicas

Las pruebas, equipos e instrumentos utilizados para realizar las mediciones de dichas propiedades, fueron los siguientes (Alvarado y Aguilera, 2001; Lemarchand y col. 2003; Mengual y col., 1999; Zeta-Meter, 1993):

a) Índice de refracción (nD)

El nD fue medido mediante un refractómetro digital AR-200 Leica, colocando 0.5 ml de muestra aproximadamente sobre el lente del equipo. Dicha medición se basa en la propiedad observada de que cuando un rayo de luz pasa de forma oblicua desde un medio a otro con diferente densidad, la dirección de la luz cambia al llegar a la superficie. El refractómetro era calibrado con agua destilada antes de cada medida.

b) Color

Se efectuó con un colorímetro CR-300 Minolta, utilizando 30 ml de concentrado y 100 ml de refresco. En este caso, se envía una radiación incidente sobre el producto y se mide la radiación reflejada según las coordenadas L (luminosidad), a (cromaticidad rojo-verde) y b (cromaticidad amarillo-azul), con las cuales se determinó la posición del color de acuerdo al modelo CIELAB. El colorímetro era calibrado antes de cada medición con la placa de fondo blanco.

c) Densidad relativa

La medición de la densidad se llevó a cabo mediante un densímetro digital DA-110M Mettler Toledo, haciendo pasar la muestra por un tubo de caucho fluorinado, llenando por completo el capilar del equipo. Se verificó la calibración del densímetro con agua destilada.

d) pH

El pH fue medido utilizando un Potenciómetro Testr 3 Oakton combinado con un electrodo referencia de vidrio. El potenciómetro era calibrado antes de cada medida con las soluciones buffer de pH = 7 y 4.

e) Potencial Z

El potencial Z fue determinado mediante la técnica de difusión de luz integrada a través de un Zetasizer Nano series Malvern. Las muestras fueron diluidas en soluciones de goma arábica al 0.01% (1 ml en 20 ml). El método mide la velocidad de una partícula que se mueve en un líquido cuando se un campo eléctrico aplicado. Cuando las gotas están suspendidas en un líquido, se mueven hacia el electrodo de carga opuesta, las unidades se expresan en milivoltios (mV).

f) Tamaño de partícula

El tamaño de partícula fue determinado mediante la técnica de difusión de luz integrada a través de un Zetasizer Nano series Malvern. Las muestras fueron diluidas en soluciones de goma arábica al 0.01% (1 ml en 20 ml). El instrumento utiliza el método de espectroscopia de correlación fotónica para medir el tamaño de las partículas, en movimiento Browniano o en constante térmico aleatorio. Un haz de luz es dirigido a través de la muestra diluida y dispersado por las gotas en un patrón característico y detectado por una serie de fotodiodos, las unidades se expresan en nanómetros (nm).

g) Pruebas reológicas en concentrados

La medición fue realizada mediante tres ciclos; el primero para brindar un precizamiento a la muestra, el segundo es referente al ascenso en un intervalo de velocidad de corte de 100 a 1s^{-1} y finalmente un tercer ciclo de descenso de 1 a 100s^{-1} . Por último se realizaron las curvas de flujo para determinar el comportamiento de los fluidos.

h) Viscosidad relativa en refresco

La muestra es pipeteada para que fluyera por la parte izquierda en la reserva y el tubo en U. Se sumerge el sistema en un líquido de temperatura conocida a fin de efectuar las medidas en condiciones de temperatura constante. En la parte derecha del tubo la muestra es absorbida con una propipeta, para que el menisco rebase la marca “x” y se deja que el sistema se equilibre mecánicamente. Se pone en marcha un cronómetro cuando el menisco pasa por la marca “x”, y se detiene cuando el menisco pasa por la marca “y”.

El procedimiento se repite con el fluido de referencia (agua). Finalmente se realizan los cálculos para determinar la viscosidad relativa de la muestra mediante la siguiente fórmula:

$$\eta_r = \rho_1 t_1 / \rho_2 t_2$$

Donde:

η_r = viscosidad relativa de la bebida carbonatada

ρ_1 = densidad del fluido de referencia (g/cm^3)

ρ_2 = densidad de la bebida carbonatada (g/cm^3)

t_1 = tiempo del fluido de referencia (segundos)

t_2 = tiempo de la bebida carbonatada (segundos)

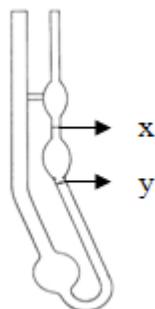


Figura 2.1 Viscosímetro Ostwald.

i) Prueba de estabilidad por dispersión de luz

La determinación de la estabilidad se llevó a cabo mediante un instrumento óptico Turbiscan MA 2000 Formulaction. Consiste en un cabezal de lectura móvil, formada por una fuente de luz infraroja con una longitud de onda de 880 nm y dos detectores de luz: el detector de transmisión (180°) y el detector de retrodispersión (45°). Dicho cabezal se mueve a lo largo de la altura de la celda de medición donde se encuentra la muestra. El procedimiento se llevó a cabo durante cinco días a la semana por la mañana. Se obtuvieron las cinéticas medias y absolutas, con lo cual se estudió el mecanismo de desestabilización mediante el software del equipo.

j) Turbidez

Se efectuó con un turbidímetro DRT-100B Hf Scientific, el cual fue calibrado con una solución de formazina de 0.02 unidades nefelométricas de turbidez (NTU) antes de cada medición.

2.2.5 Tratamiento estadístico de datos

Para llevar a cabo el control estadístico de resultados, se aplicó un Análisis de varianza (ANOVA) de dos vías con un $\alpha = 0.05$, utilizando el software Minitab 15. Los componentes de la tabla ANOVA son los siguientes (Mirhosseini y Chin 2009; Pere y col., 2004):

- Origen: indica los factores estudiados, la interacción entre estos mismos, el error y el total.
- DF: grados de libertad
- SS: suma de cuadrados
- MS: media de cuadrados
- F: factor obtenido al dividir la MS entre el error de la MS.
- P: factor de significancia, si $P > 0.05$ no hay diferencia significativa, si $P < 0.05$ si hay diferencia significativa.

En el caso de la velocidad de migración, se realizó una prueba de Tukey para llevar a cabo la comparación de las medias, utilizando el mismo criterio de significancia.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Actividades Preliminares

1) Caracterización del frigorífico doméstico

Para llevar a cabo esta actividad, el frigorífico doméstico se dividió en tres niveles y a su vez en nueve cuadrantes (Figura 3.1); la parte superior no se tomó en cuenta debido a que es el área donde se encuentra el congelador, éste solamente se tuvo que descarchar para reducir los errores en las lecturas. Se utilizó un termopar de punta para determinar la temperatura de cada cuadrante.

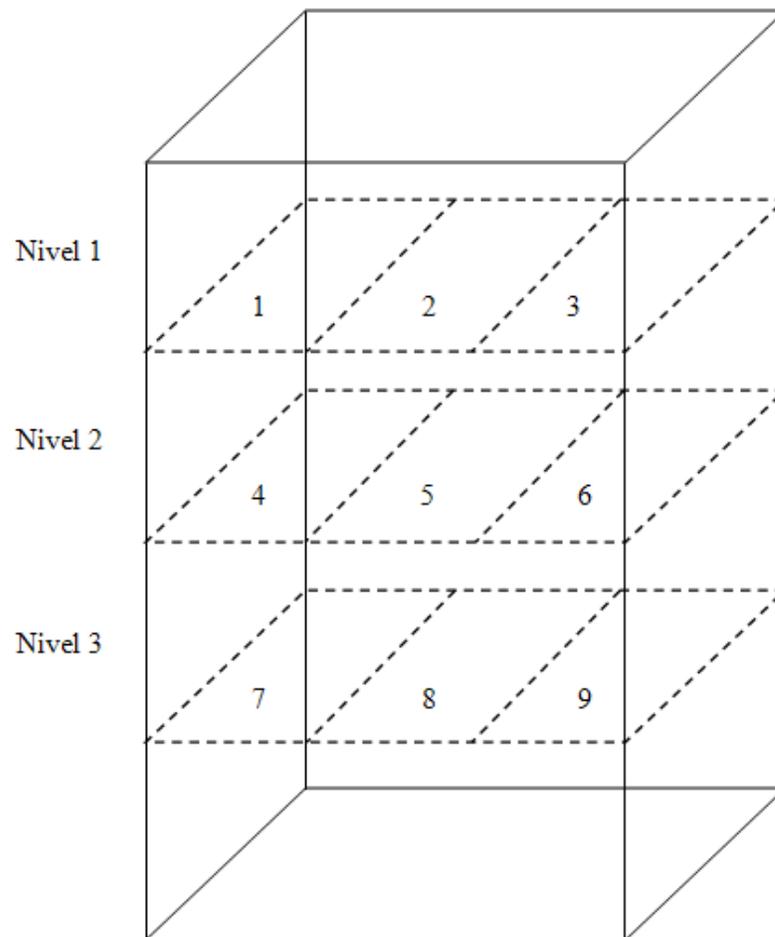


Figura 3.1 Esquema del frigorífico doméstico.

En el Cuadro 3.1, se presentan las temperaturas registradas en cada cuadrante.

Cuadro 3.1 Caracterización del frigorífico doméstico.

Cuadrante	Compresor Encendido (°C)	Compresor Apagado (°C)	Termostato
1	4.1	5.4	2
2	4.5	5.5	2
3	4.2	5.6	2
4	5.4	6.7	2
5	3.1	6.8	2
6	6.0	6.2	2
7	6.7	7.4	2
8	6.5	7.2	2
9	6.8	7.5	2

Con respecto a los datos mostrados en el cuadro anterior se observa que el cuadrante ideal para almacenar las muestras es el 2, ubicado en el nivel 1 y el termostato en la posición 2.

2) Temperatura de la estufa

En la Figura 3.1 se muestra el diseño de la estufa con control de temperatura utilizada para almacenar las muestras de concentrados y bebidas carbonatadas a 40°C.

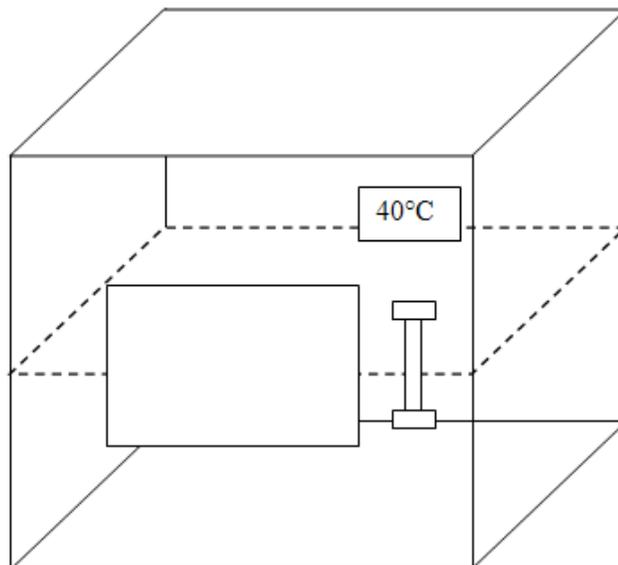


Figura 3.2 Esquema de la estufa con control de temperatura.

Se verificó que la temperatura de la estufa era prácticamente constante, es decir se mantuvo en un intervalo de 40-42°C de acuerdo al termómetro digital que posee esta misma. En este caso no hubo mayor problema, ya que las corrientes de aire externas no afectan como lo fue en el caso del refrigerador.

3) Almacenamiento de concentrados y bebidas carbonatadas

En la Figura 3.3, se muestran las diferentes formas en que fueron almacenados los concentrados y las bebidas carbonatadas, para llevar a cabo la experimentación.

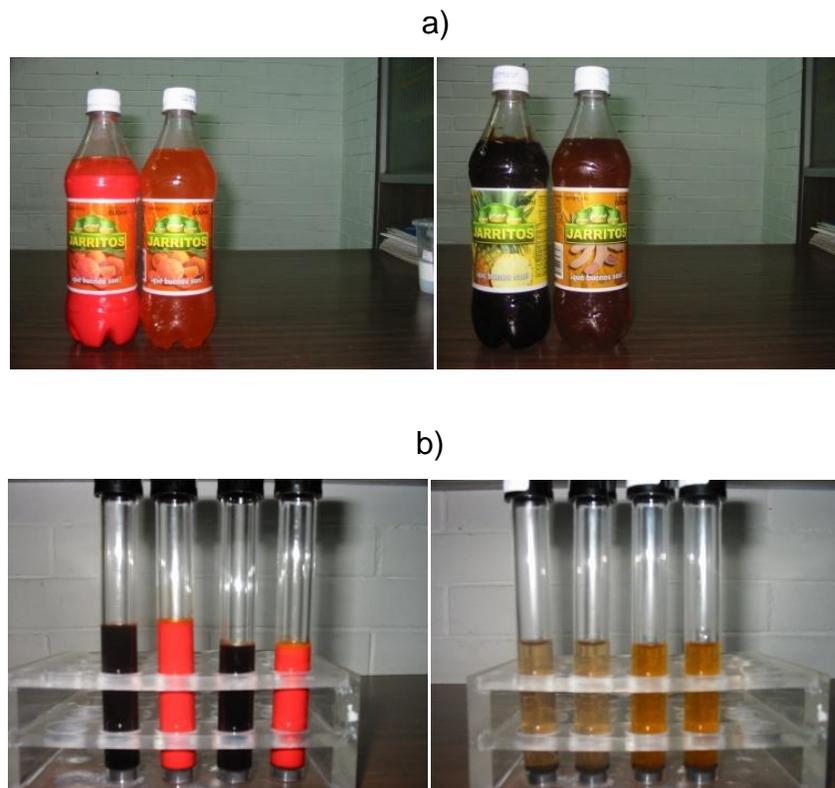


Figura 3.3 a) Concentrados de mandarina y tamarindo, b) bebidas carbonatadas de mandarina y tamarindo.

Después de etiquetar y cerrar correctamente las botellas y las celdas (Turbiscan), se colocaron en el refrigerador, en la estufa de alta temperatura, y en el laboratorio; en cuanto a este último, se utilizó el aire acondicionado para mantener la temperatura a 23 °C con una variación de ± 3 °C durante la experimentación.

Las muestras se fueron utilizando de acuerdo a la cantidad que requerían los instrumentos de medición para llevar a cabo las pruebas durante el mes de almacenamiento.

En el Cuadro 3.2, se presentan los valores promedios de todas las pruebas, obtenidos a las diferentes temperaturas y semanas de almacenamiento.

En el Cuadro 3.3, se presentan los valores de P (<0.05) obtenidos al realizar el Análisis de varianza.

3.2 Índice de refracción (nD)

En la Figura 3.4 se presenta la forma en que fue variando el índice de refracción (nD), de los concentrados y de las bebidas carbonatadas, en función del tiempo de almacenamiento a diferentes temperaturas.

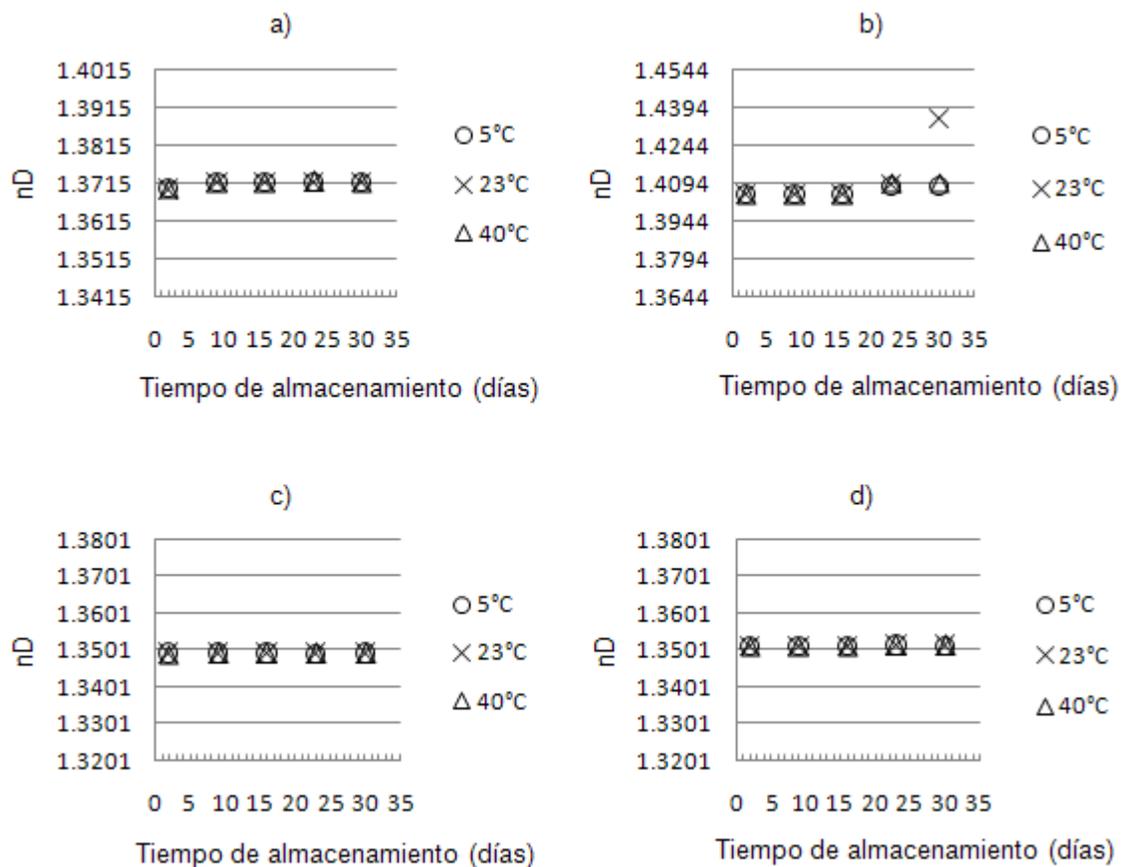


Figura 3.4 Índice de refracción (nD) en función del tiempo de almacenamiento, obtenido a temperatura ambiente, de los concentrados de a) mandarina, b) tamarindo y de las bebidas carbonatadas de c) mandarina, d) tamarindo, almacenados a 5, 23 y 40 °C.

Cuadro 3.2 Valores promedios de las pruebas realizadas, obtenidas a las diferentes temperaturas y semanas de almacenamiento.

Variación	nD	L	a	b	Densidad	pH	Potencial Z	Viscosidad	T. Partícula	Turbidez	V. Migración
Concentrado de mandarina											
5°C	1.37120	43.11	58.81	51.09	1.05553	3.51	-40.22	0.033	687	-	6.93E-06
23°C	1.37120	42.65	58.56	50.17	1.05533	3.52	-39.33	0.017	676	-	1.68E-05
40°C	1.37130	42.49	58.78	50.10	1.05533	3.47	-39.16	0.016	634	-	1.38E-05
1	1.37001	42.79	58.77	50.63	1.05556	3.40	-39.37	0.018	650	-	
2	1.37150	43.02	58.78	50.94	1.05478	3.40	-38.63	0.016	677	-	
3	1.37150	42.62	58.74	50.54	1.05567	3.49	-41.46	0.017	674	-	
4	1.37160	42.69	58.65	50.15	1.05522	3.63	-39.83	0.017	684	-	
5	1.37170	42.63	58.64	50.01	1.05578	3.59	-38.54	0.044	644	-	
Concentrado de tamarindo											
5°C	1.40630	14.01	7.92	-0.33	1.17107	3.48	-34.41	0.051	483	-	3.88E-05
23°C	1.41170	13.85	7.67	-0.47	1.16993	3.46	-34.57	0.102	472	-	3.33E-05
40°C	1.40680	13.89	7.49	-0.55	1.17080	3.45	-35.08	0.050	433	-	2.42E-05
1	1.40500	13.93	7.67	-0.37	1.16967	3.36	-34.68	0.055	474	-	
2	1.40510	13.96	7.77	-0.32	1.16901	3.36	-33.67	0.048	468	-	
3	1.40500	13.83	7.66	-0.56	1.17089	3.43	-33.93	0.133	446	-	
4	1.40880	13.98	7.70	-0.53	1.17167	3.63	-35.20	0.052	455	-	
5	1.41740	13.90	7.68	-0.46	1.17178	3.54	-35.94	0.051	470	-	
Refresco de mandarina											
5°C	1.34907	50.13	28.20	38.50	1.04347	3.05	-18.11	1.2519	525	208	8.84E-04
23°C	1.34907	50.36	28.26	38.72	1.04387	2.99	-18.62	1.2569	513	204	6.86E-04
40°C	1.34907	50.98	28.53	40.05	1.04493	2.97	-18.02	1.2622	510	199	6.26E-04
1	1.34907	49.15	27.71	37.64	1.04267	2.90	-18.21	1.2446	558	207	
2	1.34907	51.70	28.09	41.47	1.04389	3.07	-17.76	1.2698	545	206	
3	1.34907	52.24	28.14	41.37	1.04444	3.00	-19.36	1.2577	484	201	
4	1.34907	51.52	28.39	40.46	1.04411	3.04	-18.95	1.2481	496	202	
5	1.34907	47.84	29.32	34.52	1.04533	3.02	-16.96	1.2649	495	203	

Refresco de tamarindo											
5°C	1.35123	50.57	20.23	28.69	1.05013	2.87	-16.18	1.3086	419	97.88	5.84E-06
23°C	1.35130	49.56	21.01	26.54	1.05093	2.85	-15.69	1.2923	423	97.76	1.02E-05
40°C	1.35130	50.01	21.20	25.53	1.05201	2.81	-16.68	1.2934	410	97.20	4.88E-05
1	1.35120	48.49	20.56	27.34	1.04944	2.73	-16.20	1.2912	414	98.37	
2	1.35120	51.17	20.06	25.94	1.05156	2.91	-16.06	1.3047	436	97.91	
3	1.35120	51.28	20.24	29.43	1.05189	2.85	-16.35	1.3066	421	97.44	
4	1.35140	49.97	20.87	28.52	1.05056	2.84	-17.02	1.2961	420	96.53	
5	1.35130	49.31	22.33	23.39	1.05167	2.88	-15.20	1.2921	397	97.82	

Cuadro 3.3 Valores de P (<0.05) obtenidos al realizar el Análisis de varianza.

Variables	nD	L	a	b	Densidad	pH	Potencial Z	Viscosidad	T. Partícula	Turbidez	V. Migración
Concentrado de mandarina											
Temperatura	0.430	0.000	0.058	0.000	0.508	0.000	0.067	0.361	0.000	-	0.743
Tiempo	0.000	0.000	0.774	0.000	0.003	0.000	0.000	0.441	0.005	-	
Interacción	0.951	0.000	0.120	0.001	0.000	0.000	0.013	0.433	0.010	-	
Concentrado de tamarindo											
Temperatura	0.361	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.060	0.352	0.000	-	0.138
Tiempo	0.123	0.007	0.435	0.001	0.000	0.000	0.000	0.437	0.000	-	
Interacción	0.442	0.000	0.096	0.064	0.000	0.000	0.000	0.481	0.033	-	
Refresco de mandarina											
Temperatura	0.763	0.000	0.000	0.377	0.000	0.000	0.153	0.015	0.204	0.000	0.100
Tiempo	0.018	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Interacción	0.342	0.000	0.000	0.336	0.190	0.000	0.004	0.039	0.007	0.000	
Refresco de tamarindo											
Temperatura	0.714	0.000	0.000	0.171	0.000	0.000	0.009	0.004	0.019	0.000	0.003
Tiempo	0.272	0.000	0.000	0.070	0.000	0.000	0.003	0.055	0.000	0.000	
Interacción	0.997	0.000	0.000	0.344	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	

En este caso, se puede ver que los datos fueron prácticamente constantes en función del tiempo de almacenamiento en todas las muestras estudiadas y con cierta tendencia a aumentar a partir de los 15 días, a excepción del concentrado de mandarina, la cual puede ser debida a una ligera evaporación del agua libre presente.

A pesar de que los valores obtenidos son bastante similares y sólo varían por algunas décimas, estadísticamente se presentaron diferencias significativas en el caso del concentrado de mandarina, ya que la variable que influyó fue el tiempo de almacenamiento, al igual que en la bebida carbonatada del mismo sabor (Apéndice 2).

En el refresco de mandarina, el índice de refracción promedio fue de 1.34908 mostrando una diferencia significativa en la semana 2 (1.34913), mientras que en el de tamarindo fue de 1.3513, independiente de la temperatura o de la semana de estudio.

En los respectivos concentrados, en cuanto al de sabor mandarina, se obtuvo un promedio de 1.3712, mostrando una diferencia en la semana 1 (1.37001). En el concentrado de tamarindo a 23 °C se obtuvo una media de 1.4117, en este caso el producto no se vio afectado por las variables de estudio, según el análisis estadístico efectuado. En el Cuadro 3.3, se pueden verificar los respectivos valores del factor de significancia ($P < 0.05$), en las variables que si tuvieron influencia en las propiedades analizadas.

Esta prueba es muy importante, ya que junto con en análisis de densidad y °Brix, se logra mantener un control en la línea de producción continua de los concentrados. En el producto final, los datos ya mencionados son ajustados después de hacer la dilución del concentrado con agua tratada y además éstos tienen que ser constantes en todos lo productos, pudiendo ser diferentes de acuerdo al sabor de cada bebida.

3.3 Color

Los parámetros de color (L, a, b), presentaron menor variación en los concentrados que en las bebidas carbonatadas.

La Figura 3.5 fue utilizada para determinar el color después de haber obtenido las mediciones de los parámetros (L, a, b) de acuerdo al modelo CIELAB o de los colores opuestos.

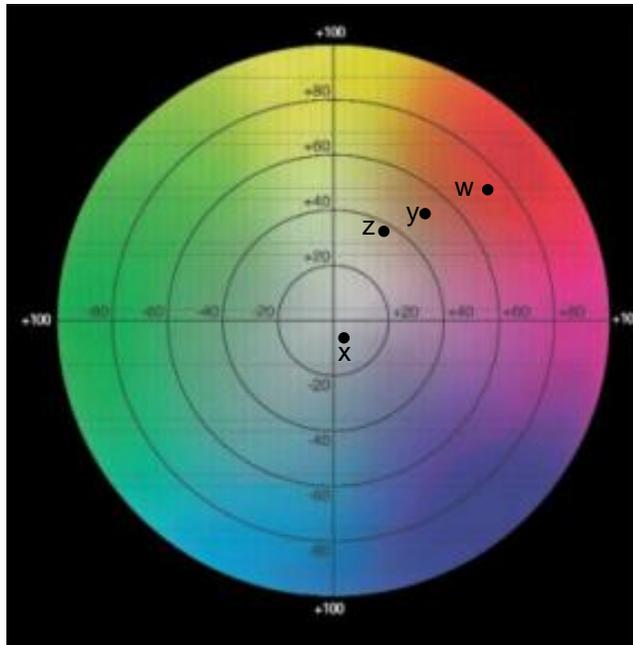


Figura 3.5 Círculo de color (w = concentrado de mandarina, x = concentrado de tamarindo, y = refresco de mandarina, z = refresco de tamarindo) a 23 °C.

El concentrado de mandarina presenta un color rojo intenso, ya que se ubica en la zona de rojo-naranja con predominio del color rojo (58.78, 50.10) y siendo esta muestra la más luminosa. El concentrado de tamarindo al poseer un valor de (b) negativo ligeramente azul y un valor de (a) positivo relativamente bajo, el color se encuentra en la sección más oscura, es decir el centro del círculo de color (Figura 3.5), el cual es muy parecido al negro siendo esta muestra la menos luminosa.

Las bebidas carbonatadas de mandarina y tamarindo se encuentran en la sección del color naranja, pero con respecto a la cromaticidad rojo, la primera tiende a tener un color más intenso que la segunda ya que en el refresco de mandarina predomina el valor de a (28.53, 40.05) y en el refresco de tamarindo sucede lo contrario (21.20, 25.53); en cuanto a la luminosidad, las dos muestras son bastante similares.

De acuerdo al ANOVA que se encuentra en el Apéndice 2, se demostró que en las cuatro muestras, la luminosidad se vio afectada por el tiempo de almacenamiento, la temperatura y la interacción entre estas mismas.

El valor (a) no fue modificado por las variables en el concentrado de mandarina, en el caso del concentrado de tamarindo, la temperatura es la que influyó sobre dicho parámetro de color.

Por otra parte, dicho valor se vio afectado estadísticamente por las variables de estudio y su interacción en ambas bebidas carbonatadas.

Los factores tiempo y temperatura influyeron de manera significativa en el valor (b) del concentrado de mandarina, sin embargo, en el concentrado de tamarindo solamente fue la interacción de dichos factores.

De acuerdo a las bebidas, el refresco de tamarindo no se ve perjudicado por las variables ya mencionadas, con respecto al refresco de mandarina, el tiempo de almacenamiento fue el que influyó significativamente.

Aunque se presentaron diferencias significativas en los parámetros de color de luminosidad (L), cromaticidad rojo-verde (a) y cromaticidad amarillo-azul (b), no indica algún tipo de inestabilidad que pueda deteriorar la apariencia del refresco.

Lo anterior puede deberse a las propiedades que poseen los colorantes azoicos como lo es la estabilidad durante el almacenamiento, por lo tanto, son los más empleados y los más adecuados desde el punto de vista tecnológico en este tipo de productos.

La coloración a pesar de no tener un efecto directo sobre el sabor de los refrescos, es un parámetro que debe ser evaluado, ya que en algunos casos el color tiene mayor importancia que el gusto en la impresión general que causa al consumidor, por lo tanto el colorante empleado en el producto debe ser muy llamativo, la cual es otra de las características de los del tipo azoico.

En el refresco de mandarina y el concentrado de mismo sabor, presentaron diferencias significativas en la semana 2; mientras tanto la bebida y concentrado de tamarindo, se observan las diferencias en las semanas 5 y 3 respectivamente.

En cuanto a la temperatura, los dos refrescos y el concentrado de tamarindo se vieron afectados a los 5 °C y el concentrado de mandarina a los 40 °C.

3.4 Densidad relativa

En la Figura 3.6 se indica la forma en que fue variando la densidad relativa, de los concentrados y de las bebidas carbonatadas, en función del tiempo de almacenamiento a diferentes temperaturas.

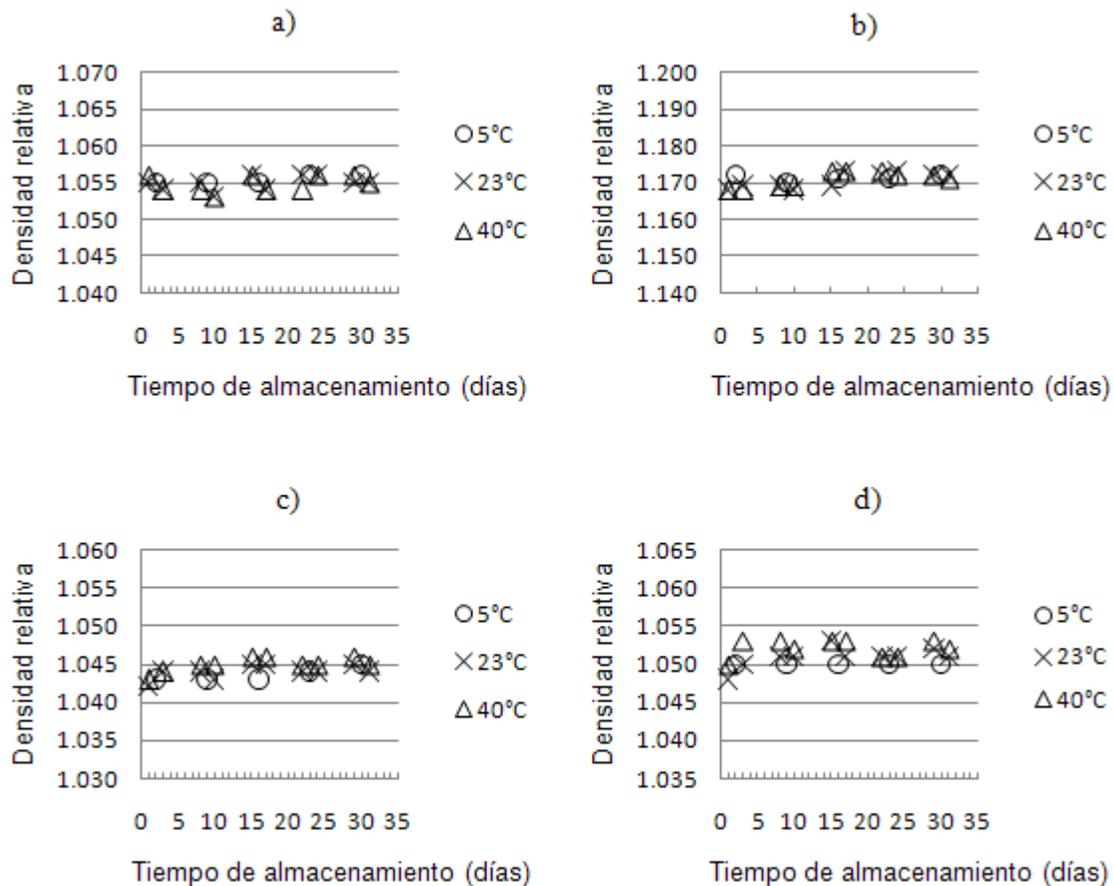


Figura 3.6 Densidad relativa en función del tiempo de almacenamiento, obtenidos a temperatura ambiente, de los concentrados de a) mandarina, b) de tamarindo y de las bebidas carbonatadas de c) mandarina, d) tamarindo, almacenados a 5, 23 y 40 °C.

Con respecto a la figura exhibida, la densidad relativa tiene un comportamiento constante hasta los 15 días de almacenamiento, ya que después de este día la densidad relativa tiene una ligera tendencia a aumentar. Este comportamiento es el mismo que presentan los nD, debido a que son propiedades que se encuentran relacionadas y que son directamente proporcionales.

De acuerdo al análisis estadístico (Apéndice 2), el concentrado y la bebida carbonatada del mismo sabor, presentan diferencias significativas con respecto a las variables de estudio y la interacción de estas mismas.

El concentrado de mandarina se vio afectado por el tiempo y la interacción de las variables, presentando diferencias significativas en la semana 2 (1.05478), con una media de 1.05533, mientras tanto la interacción fue el factor que no influyó sobre la bebida carbonatada del mismo sabor, la cual presentó diferencias en la semana 1 (1.04267) y la semana 5 (1.04533) a 40 °C (1.04493), con una media de 1.4387.

En cuanto al sabor de tamarindo, ambas muestras fueron afectadas por las variables de estudio y su interacción. El concentrado de tamarindo mostró diferencias en la semana 2 (1.16901) a 23 °C (1.17080) y su media fue de 1.16993; en la bebida carbonatada, las diferencias se presentaron en la semana 1 (1.04944) a 40°C (1.05201), con una media de 1.04387.

Las variaciones de la densidad relativa son ocasionadas prácticamente por las mismas razones que los índices de refracción, como puede ser un aumento en el tamaño de partícula y una ligera evaporación de agua debido a las diferentes temperaturas de almacenamiento. Cabe mencionar que también se realiza la determinación de los sólidos solubles (°Bx) a lo largo del proceso de la bebida carbonatada, ya que es de gran utilidad para mantener un mejor control en la elaboración del producto.

3.5 pH

En la Figura 3.7 se presenta la forma en que fue variando el pH de los concentrados y de las bebidas carbonatadas, en función del tiempo de almacenamiento a diferentes temperaturas. El comportamiento del pH en los concentrados fue constante antes de los 15 días de almacenamiento, después de este día los valores tienden a aumentar. En las bebidas carbonatadas, el pH varía mucho, pero también sigue la misma tendencia que los concentrados; lo cual indica una aproximación a un pH recomendado de 3 (Hansson y col., 2001), siendo este valor el adecuado para este tipo de refrescos e incluso pudiendo llegar a ser de 3.3.

Como se indica en el ANOVA del Apéndice 2, las cuatro muestras presentan diferencias significativas; es decir, la temperatura, el tiempo de almacenamiento y la manera en que interactúan afectan al pH. La forma en que se presentaron dichas variaciones fue la siguiente:

En el concentrado de mandarina las diferencias ocurrieron en la semana 1 y 2 (3.40) a una temperatura de 40 °C (3.47) con un promedio de 3.52; mientras tanto la bebida carbonatada durante la semana 1 (2.90) a 5 °C (3.05) fue cuando se mostraron las diferencias y se obtuvo una media de 2.99. En el concentrado de tamarindo a 5 °C (3.48) durante la semana 4 (3.63) fue cuando se presentaron dichos cambios con un valor promedio de 3.46; en cuanto a la bebida, la semana 1 (2.73) es la que varía con respecto a las demás a 40 °C (2.81), presentando una media de 2.85.

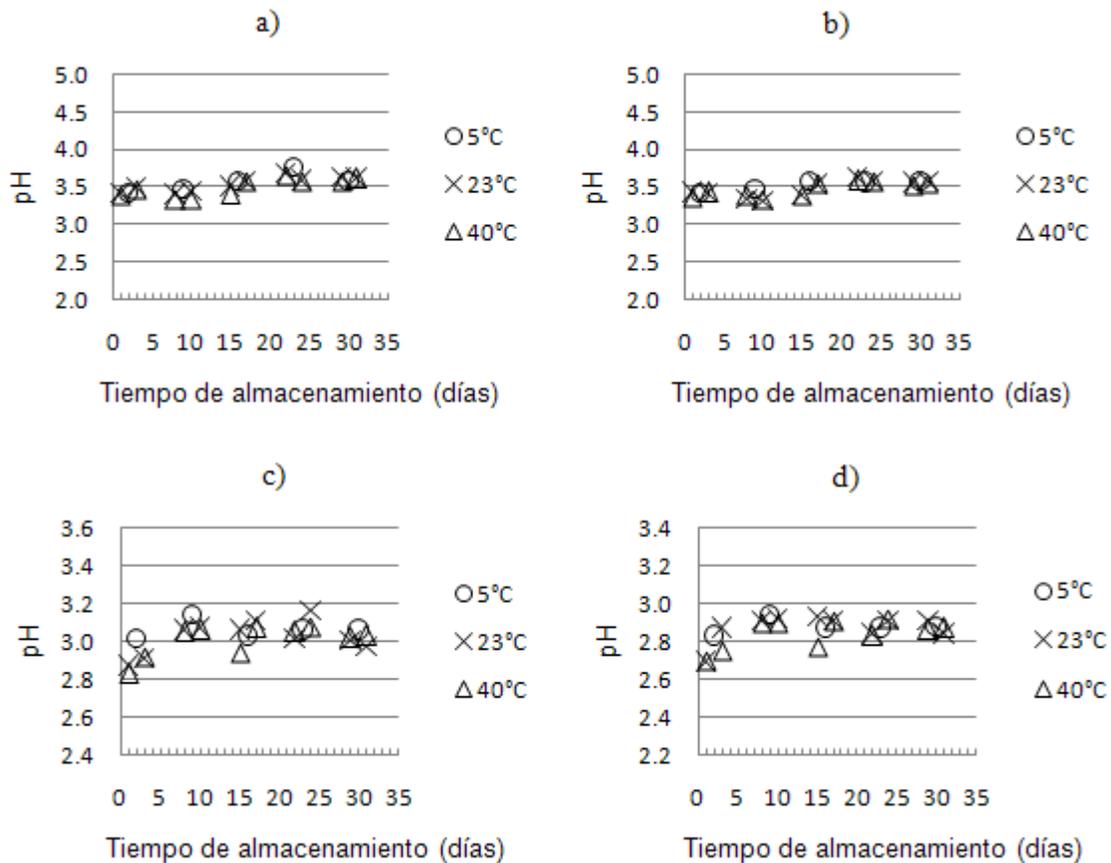


Figura 3.7 pH en función del tiempo de almacenamiento, obtenido a temperatura ambiente de los concentrados de a) mandarina, b) tamarindo y de las bebidas carbonatadas de c) mandarina, d) tamarindo, almacenados a 5, 23 y 40 °C.

El ácido cítrico es el acidulante empleado en los concentrados y por lo tanto en las bebidas carbonatadas.

El hecho de que se presenten variaciones en el pH, no significa que el ácido cítrico se esté alterando y comience a perder su función, sino que el aumento moderado de este mismo, permite la disociación del grupo carboxilo y mejora la eficacia de la quelación, ya que no se presentan oxidaciones aromáticas, ni decoloraciones, ni modificaciones en el sabor del producto (Badui, 2006).

Cabe mencionar que el medio ácido de los concentrados y la presencia de sacarosa, puede promover la inversión de azúcar y por lo tanto los nD y la densidad relativa estén aumentando como ya se mencionó anteriormente. También hay que destacar que cuando se tiene un pH ácido, la bebida tiende a desestabilizarse, por lo cual es fundamental la elección adecuada del agente emulsificante (Mirhosseini y col., 2008b).

/3.7 Potencial Z (mV)

En las Figuras 3.8, 3.9, 3.10 y 3.11, se presentan las curvas de distribución del potencial Z (mV), de los concentrados y de las bebidas carbonatadas a diferentes temperaturas, durante la primera y última semana de almacenamiento.

El potencial Z es una medida muy importante, ya que es utilizado para el conocimiento, control y estabilidad de los coloides, además de la composición electrolítica de la emulsión (Dickinson, 2003).

Mientras su valor sea más cercano a cero sea positivo o negativo, quiere decir que la muestra es inestable, ya que las partículas estarían interactuando entre sí, motivo por el cual se formarían las aglomeraciones debido a la escasa repulsión entre las gotas (Atkins, 1991; Levine, 1996).

Como se puede apreciar en las Figuras 3.8 y 3.10, las curvas de distribución del potencial Z se superponen, en ambos sabores el pico más alto es a la temperatura de 23 °C y el pico más bajo es en condiciones de refrigeración. La posición de la curva no cambia, lo cual indica que el potencial Z es de cierta forma constante, ya que mantiene un valor promedio de -39 mV en el concentrado de mandarina y una media de -34 mV en el concentrado de tamarindo.

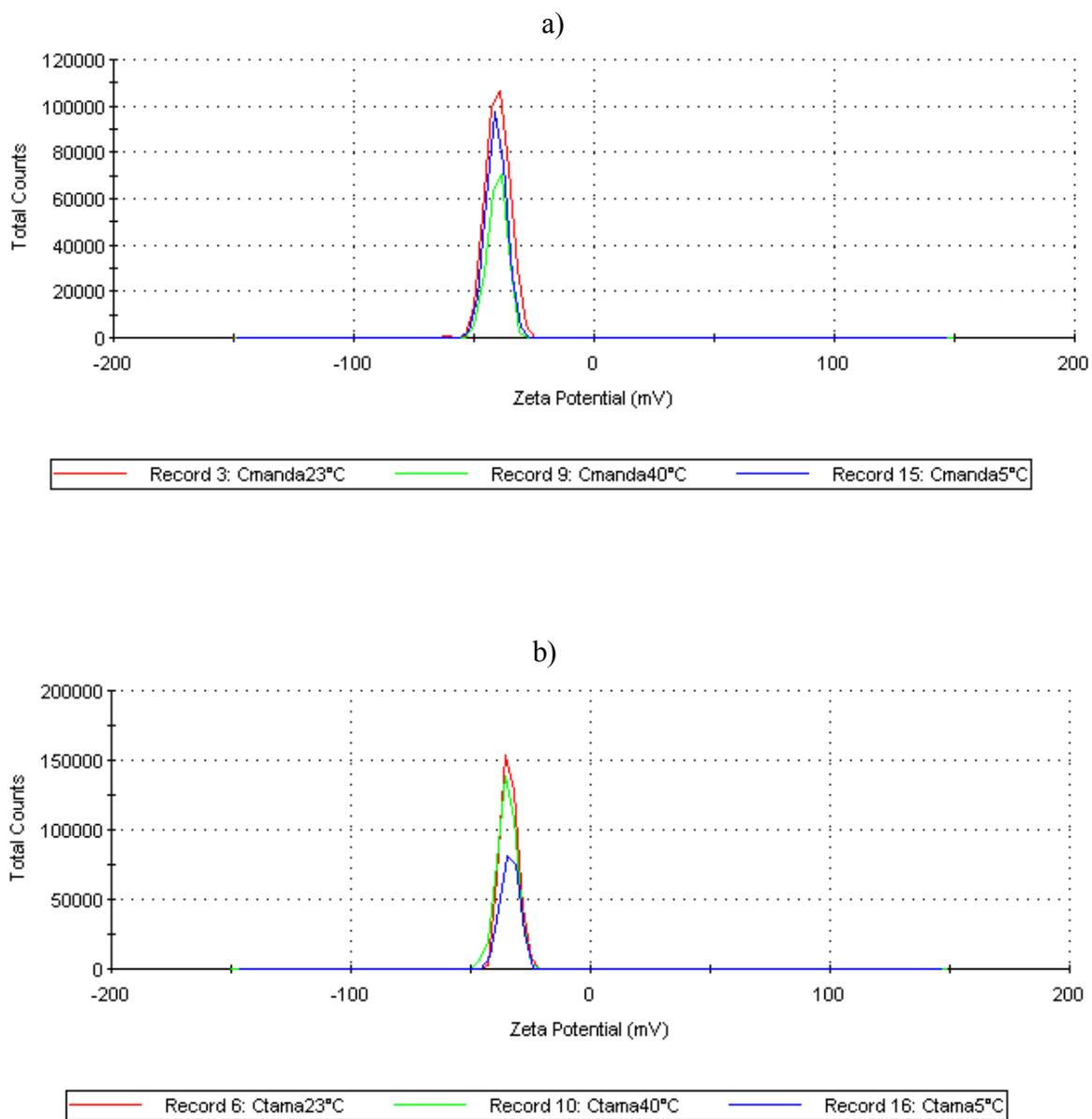


Figura 3.8 Curvas de distribución del potencial Z (mV), obtenidas a temperatura ambiente, de los concentrados de a) mandarina y b) tamarindo, almacenados a 5, 23 y 40 °C. Semana 1

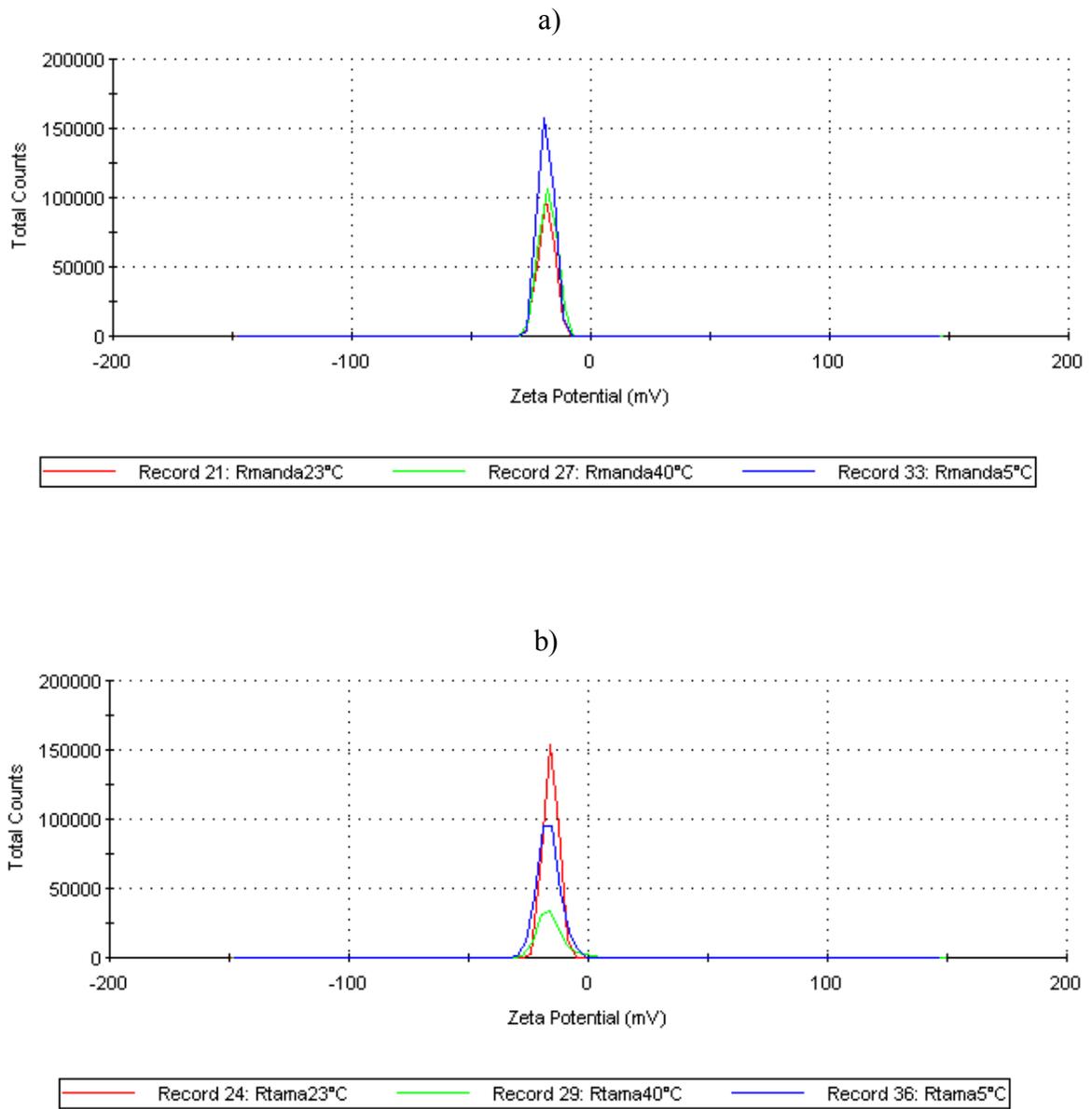


Figura 3.9 Curvas de distribución del potencial Z (mV), obtenidas a temperatura ambiente, de las bebidas carbonatadas de a) mandarina y b) tamarindo, almacenados a 5, 23 y 40 °C. Semana 1

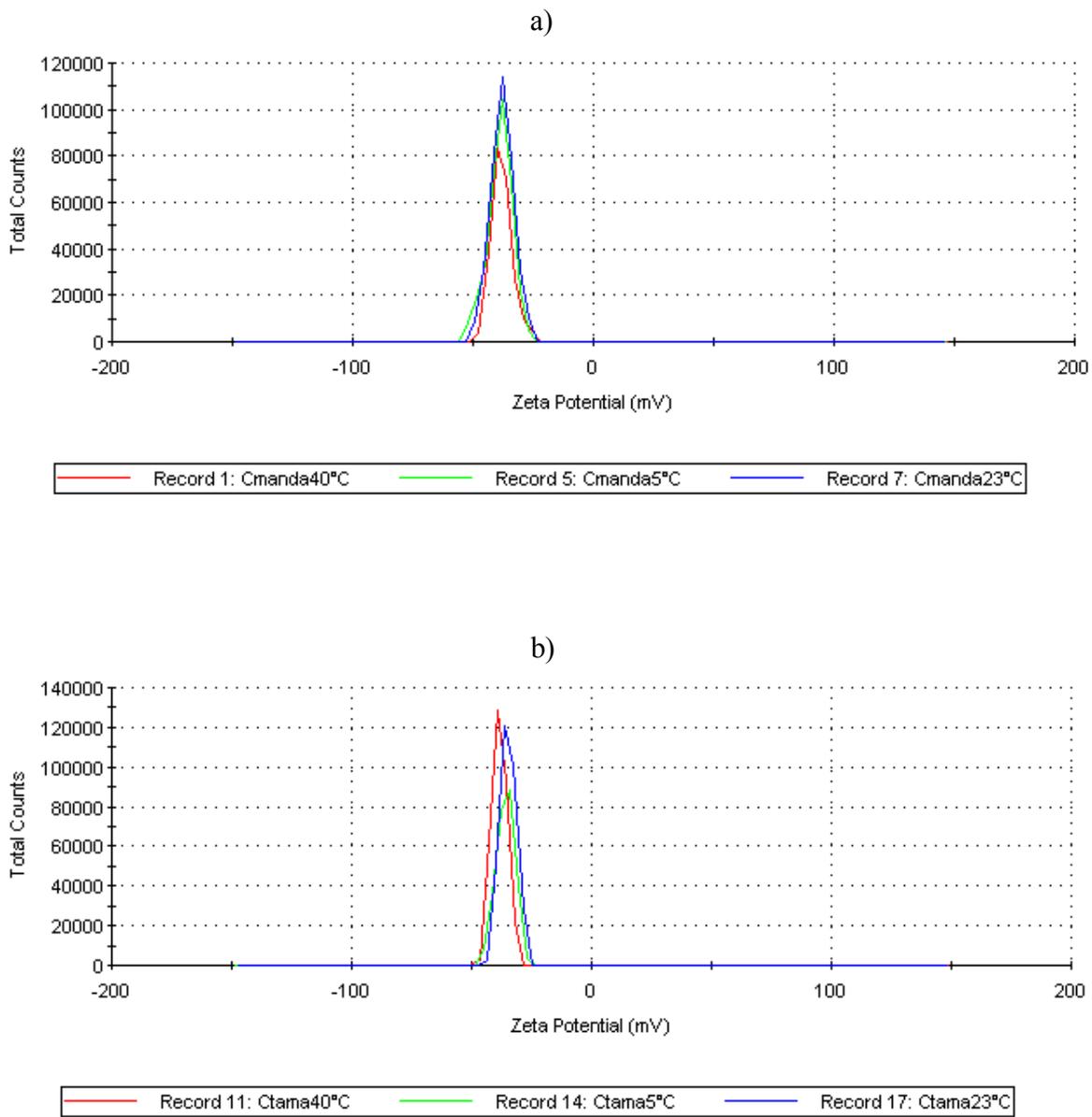


Figura 3.10 Curvas de distribución del potencial Z (mV), obtenidas a temperatura ambiente, de los concentrados de a) mandarina y b) tamarindo, almacenados a 5, 23 y 40 °C.
Semana 5

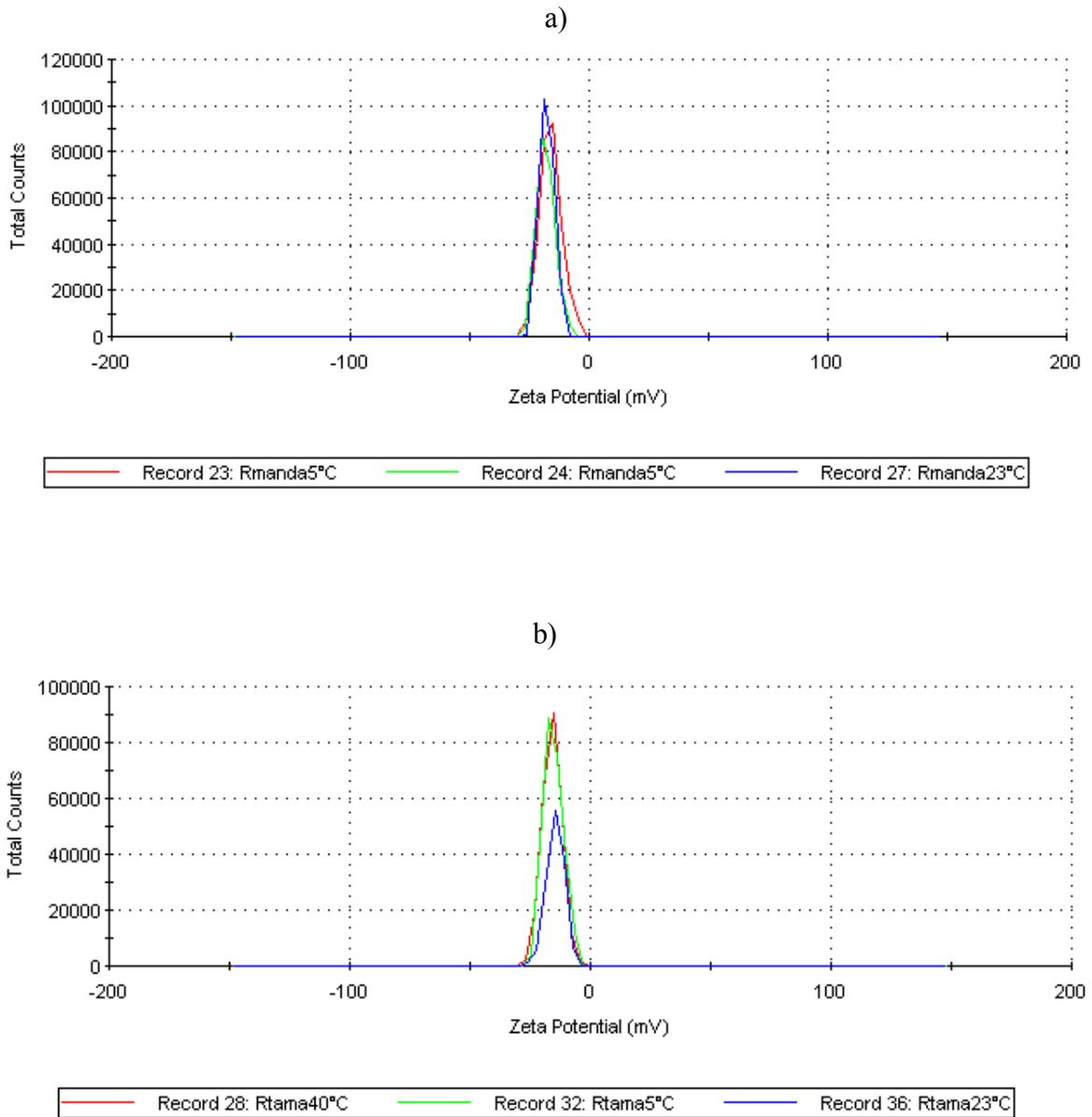


Figura 3.11 Curvas de distribución del potencial Z (mV), obtenidas a temperatura ambiente, de las bebidas carbonatadas de a) mandarina y b) tamarindo, almacenados a 5, 23 y 40 °C. Semana 5

En las Figuras 3.9 y 3.11, las curvas de los refrescos siguen el mismo comportamiento que las de los concentrados, aunque también hay algunas que se superponen. La altura y la posición de los picos actúan de la misma manera que en los concentrados, es decir a las mismas condiciones de 5 y 23 °C se obtienen los picos más altos y más bajos, solamente que el valor promedio para las bebidas es de -18 mV con respecto al sabor de mandarina, y de -16 mV para el sabor de tamarindo.

En la Figura 3.12 se presenta la forma en que fue variando el potencial Z (mV), de los concentrados y de las bebidas carbonatadas, en función del tiempo de almacenamiento a diferentes temperaturas.

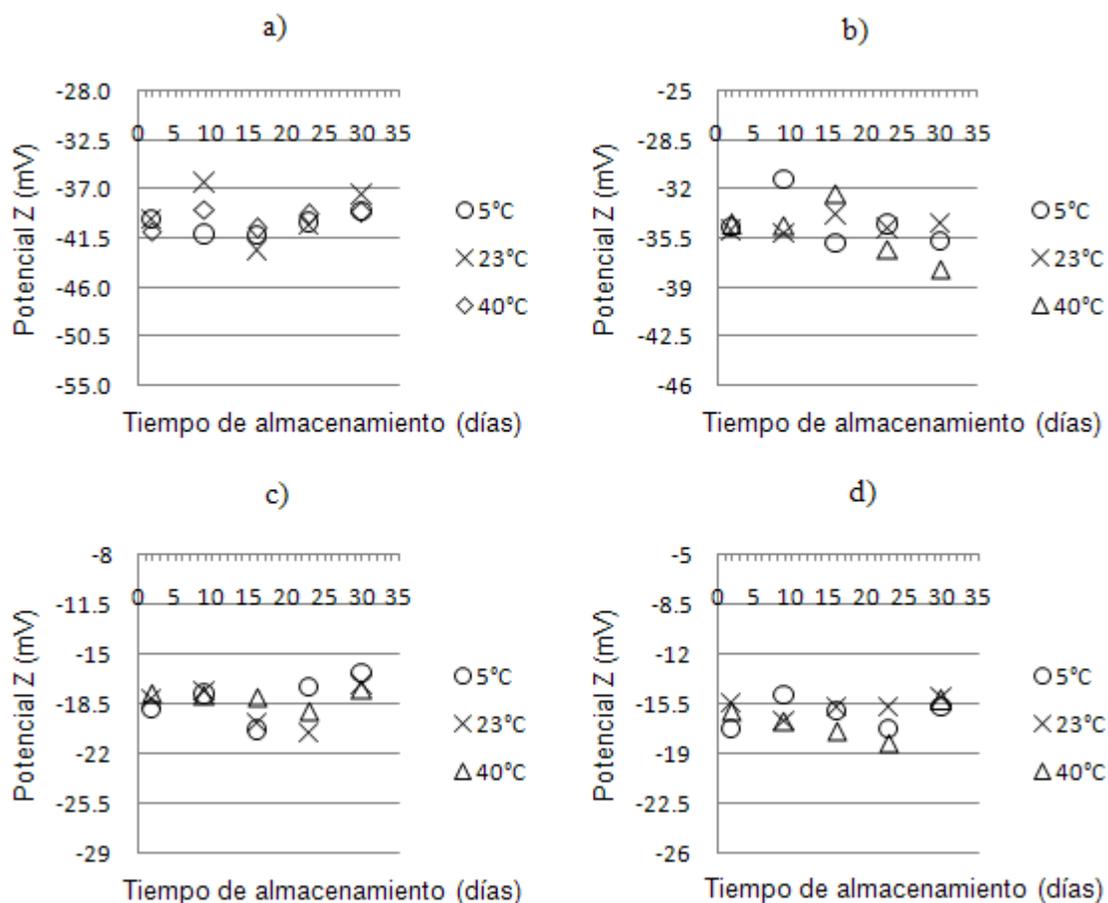


Figura 3.12 Potencial Z (mV) en función del tiempo de almacenamiento, obtenido a temperatura ambiente de los concentrados de a) mandarina, b) tamarindo y de las bebidas carbonatadas de c) mandarina, d) tamarindo, almacenados a 5, 23 y 40 °C.

La disminución del 50 % del potencial Z se atribuye principalmente a la carbonatación y posiblemente a la composición química del producto.

Con respecto a la Figura 3.12, se puede observar claramente que hay ciertas variaciones en los resultados del potencial Z, incluso la tendencia que siguen las emulsiones es a disminuir el valor absoluto, a excepción del concentrado de tamarindo, ya que éste permanece más o menos constante.

Lo anterior es debido a que la repulsión electrostática se reduce con el tiempo de almacenamiento, es decir, las cargas eléctricas ya no son completamente homogéneas, de tal forma que provoca la aproximación de las partículas, con la posibilidad de formar aglomerados e incluso las fuerzas de Van der Waals ya no son contrarrestadas por completo, favoreciendo de esta manera a la coalescencia o floculación de las gotas (Laidler y Meiser, 1997; Mc Clements, 1999).

De acuerdo al Cuadro 1.2, los valores promedios del potencial Z de las bebidas carbonatadas se consideran como dispersiones delicadas y los concentrados como moderadamente estables, por esta razón hay más probabilidades de que se presente una floculación o coalescencia en los refrescos (Friberg, 1997).

Con respecto al análisis estadístico, se puede apreciar que el tiempo de almacenamiento es la variable que más afecta al potencial Z, con respecto al concentrado y el refresco de sabor tamarindo, éstos presentaron variaciones en la semana 5 (-35.94 y -15.20mV).

Mientras tanto en el concentrado y bebida de mandarina, las diferencias se mostraron en la semana 3 (-41.46 y -19.36 mV) en ambas bebidas.

La temperatura por sí sola no provoca diferencias significativas en las muestras analizadas (a excepción del refresco de tamarindo con un valor de -15.69 a 23 °C), es decir, no hay interacción entre las variables de estudio.

3.8 Tamaño de partícula (nm)

En la Figuras 3.13, 3.14, 3.15 y 3.16, se presentan las curvas de distribución de frecuencia del tamaño de partícula (nm), de los concentrados y de las bebidas carbonatadas a diferentes temperaturas, durante la primera y última semana de almacenamiento.

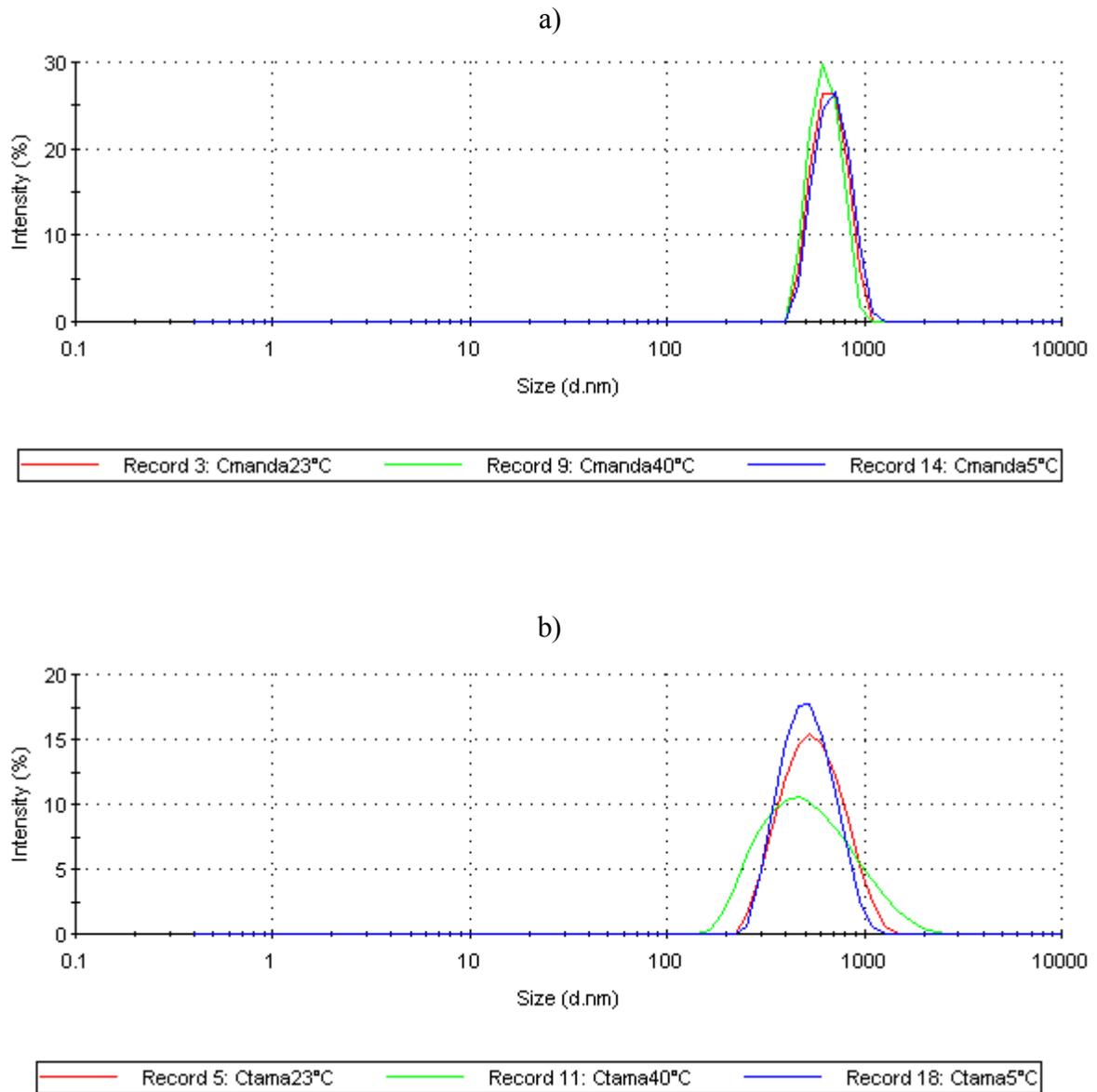


Figura 3.13 Curvas de distribución de frecuencia del tamaño de partícula (nm), obtenidos a temperatura ambiente, de los concentrados de a) mandarina y b) tamarindo, almacenados a 5, 23 y 40 °C. Semana 1.

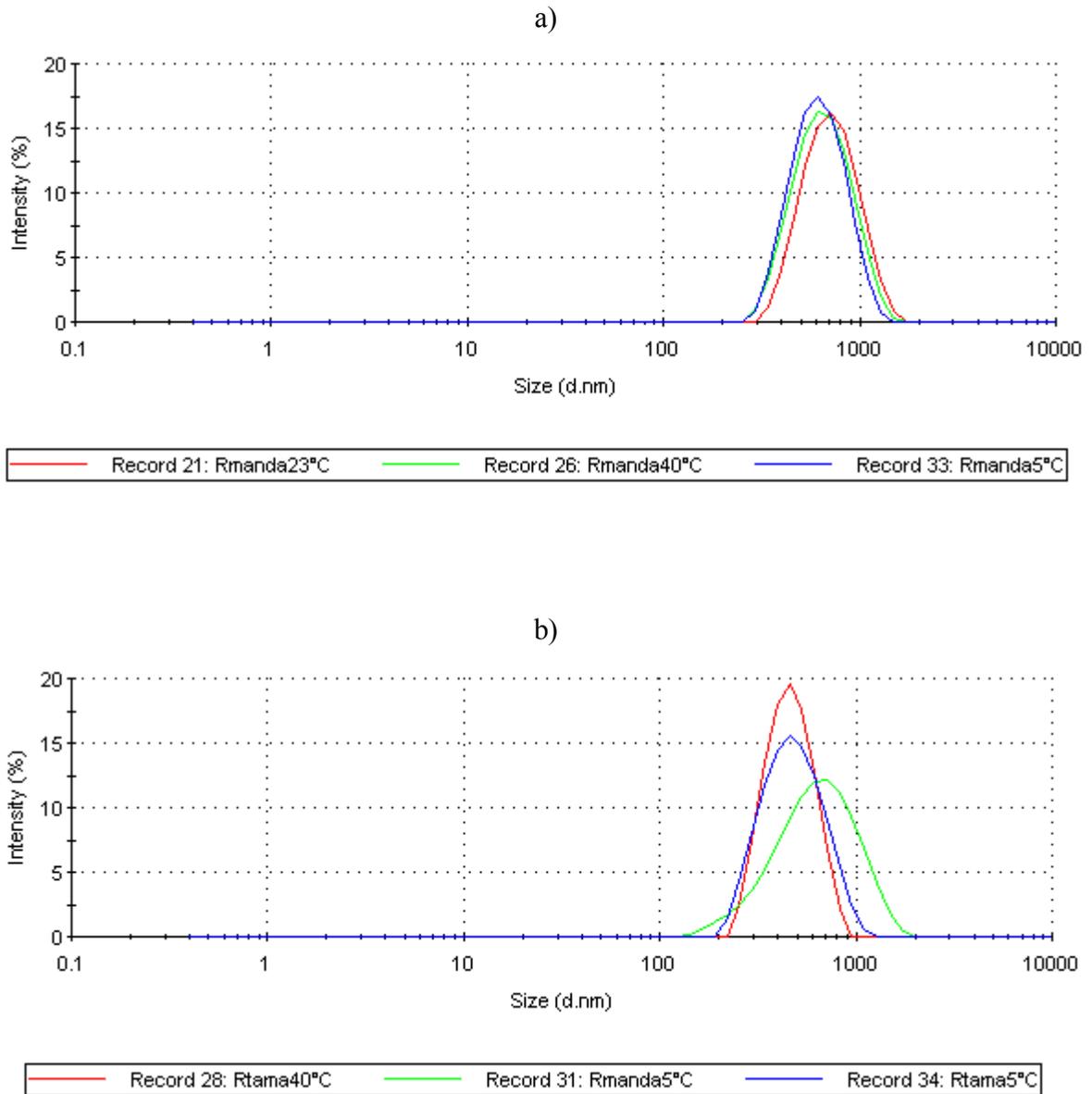


Figura 3.14 Curvas de distribución de frecuencia del tamaño de partícula (nm), obtenidas a temperatura ambiente de las bebidas carbonatadas de a) mandarina y b) tamarindo, almacenados a 5, 23 y 40 °C. Semana 1.

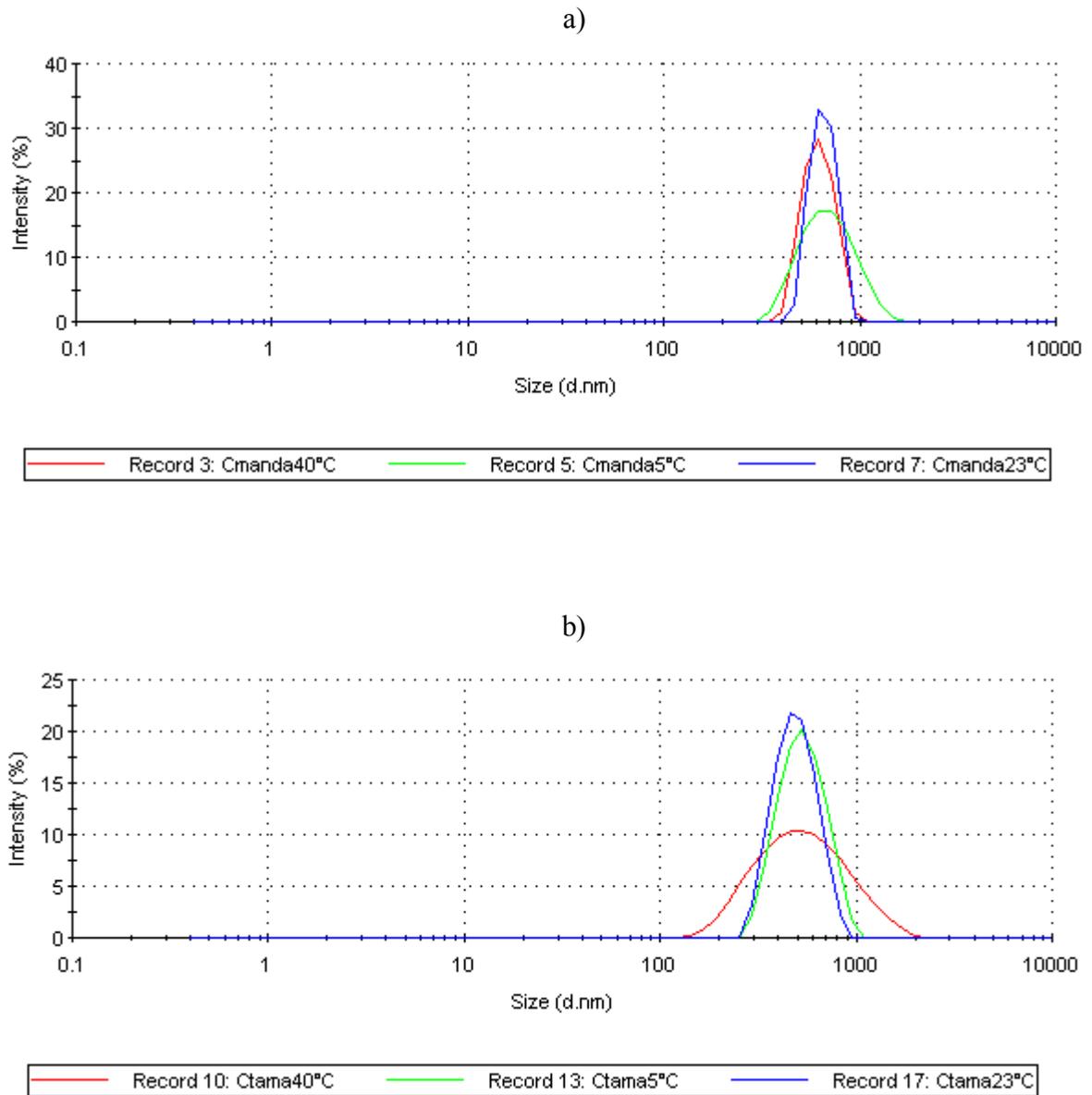


Figura 3.15 Curvas de distribución de frecuencia del tamaño de partícula (nm), obtenidas a temperatura ambiente de los concentrados de a) mandarina y b) tamarindo, almacenados a 5, 23 y 40 °C. Semana 5.

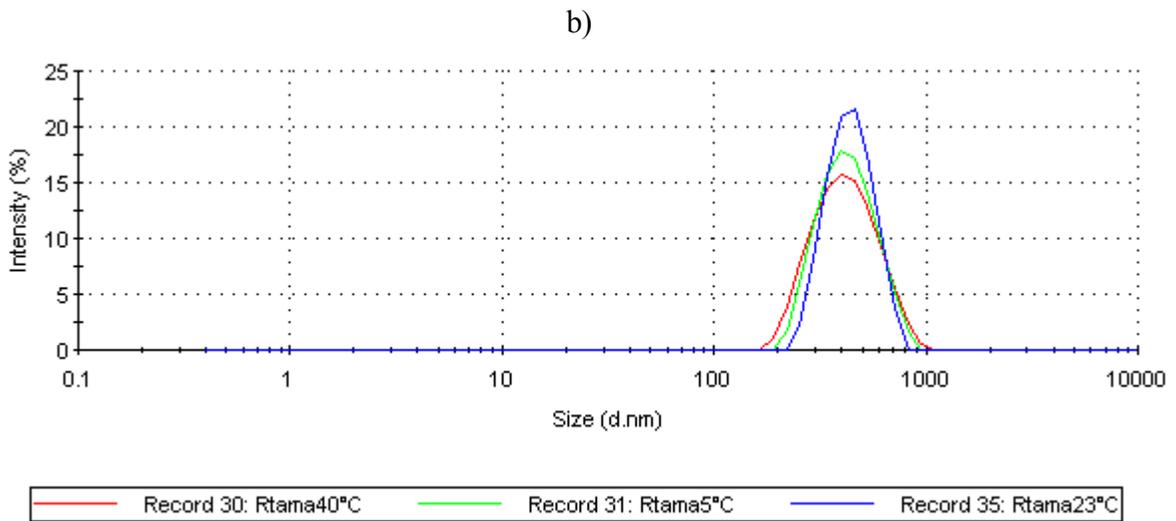
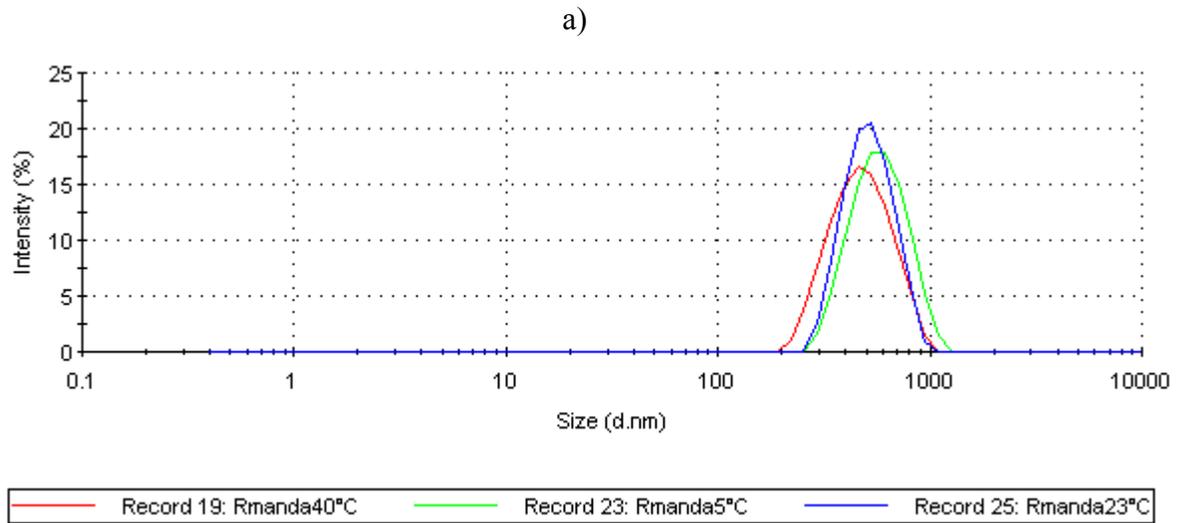


Figura 3.16 Curvas de distribución de frecuencia del tamaño de partícula (nm), obtenidas a temperatura ambiente de las bebidas carbonatadas de a) mandarina y b) tamarindo, almacenados a 5, 23 y 40 °C. Semana 5.

Para tener una buena estabilidad del producto es fundamental conocer el tamaño de partícula ya que va señalar la manera en que se encuentran distribuidas las gotas de la fase oleosa y la acuosa, es decir, si el porcentaje de intensidad es alto quiere decir que hay una mejor estabilidad, ya que esto indica una mayor cantidad de partículas del mismo tamaño en la emulsión (Mirhosseini y col., 2008c; Dickinson, 1994).

En la Figuras 3.13 y 3.15, en lo que respecta al concentrado de mandarina, las curvas de distribución de frecuencia corresponden a una distribución monomodal. Además tienden a sobreponerse las muestras almacenadas a las diferentes temperaturas, lo que implica una menor variación en la distribución. El porcentaje de intensidad que alcanzan es del 32%, con un diámetro promedio de partícula de 676 nm.

En cuanto al concentrado de tamarindo, las curvas tienden a superponerse y a diferencia del concentrado anterior, el porcentaje de intensidad es menor, ya que éste varía desde un 15% hasta un 22% que corresponde a la temperatura de 40 °C; el diámetro promedio que se observa es de 472 nm.

En la Figuras 3.14 y 3.16, las curvas de distribución se superponen en ambas bebidas, pero con respecto a la intensidad que se presenta en el refresco de mandarina, ésta varía de un 15% a un 30% que corresponde a la temperatura de 23 °C y el diámetro promedio de la partícula que se presenta es de 513 nm.

Con respecto a la bebida de tamarindo, las curvas son bastante similares a las del concentrado del mismo sabor, sólo que el valor máximo de la intensidad obtenido es del 20% y el diámetro promedio es de 423 nm.

En la Figura 3.17, se resumen las variaciones en el tamaño de partícula con respecto al tiempo de almacenamiento a las diferentes temperaturas de estudio. Se observa cierta tendencia a aumentar el diámetro promedio (a excepción de la bebida de mandarina), lo cual indica una posible coalescencia.

Cabe mencionar que los valores del tamaño de partícula de las bebidas carbonatadas y los concentrados de ambos sabores, se encuentran en un intervalo aceptable, ya que éstos van de 400 a 700 nm y de acuerdo a los porcentajes obtenidos, los glóbulos de aceite se encuentran en menor proporción (Djordjevic y col., 2008).

En la Figura 3.17 se presenta la forma en que fue variando el tamaño de partícula (nm), de los concentrados y de las bebidas carbonatadas, en función del tiempo de almacenamiento a diferentes temperaturas.

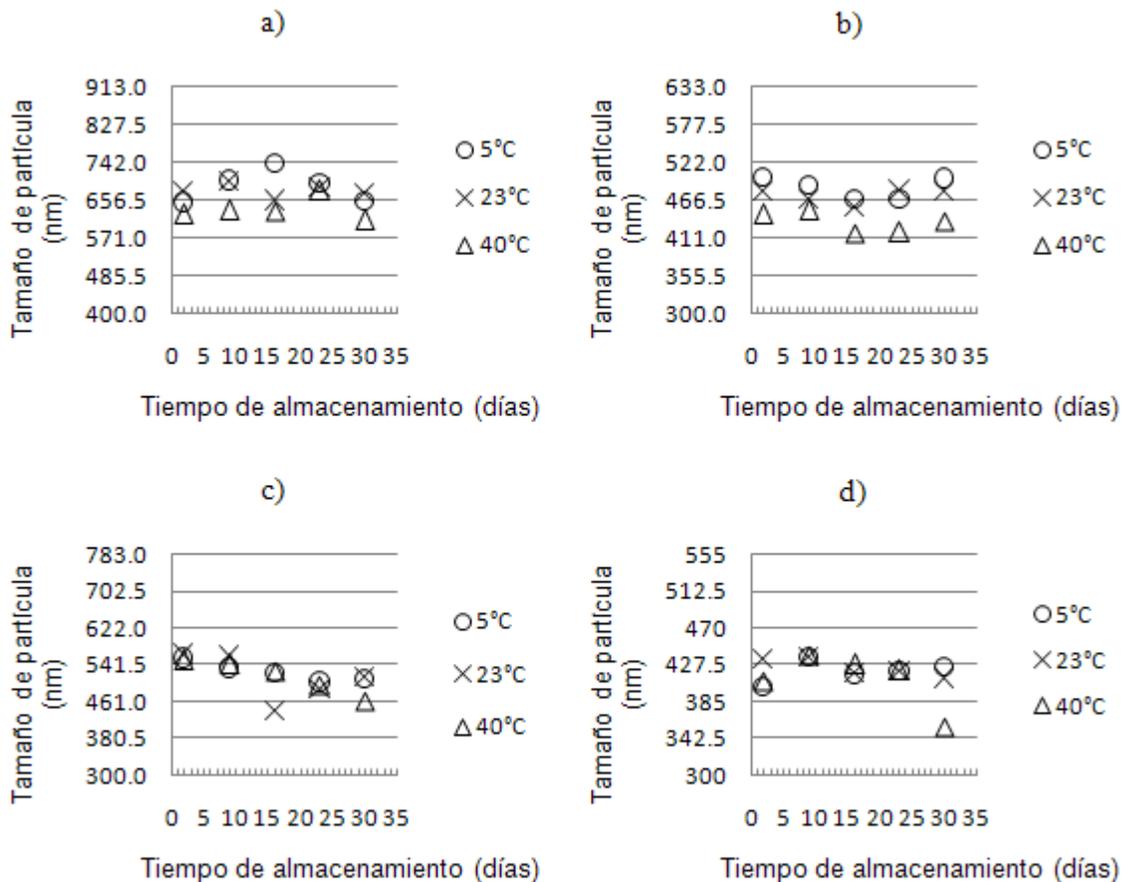
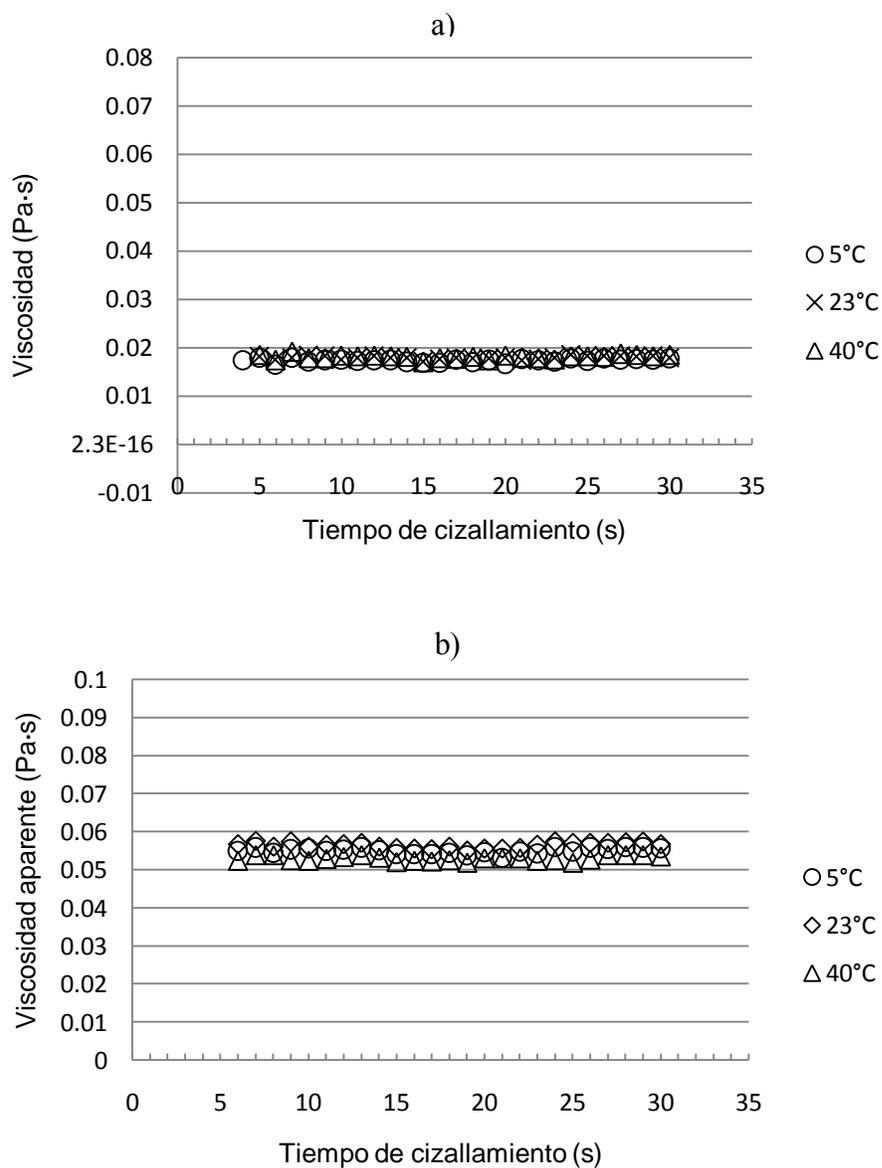


Figura 3.17 Tamaño de partícula (nm) en función del tiempo de almacenamiento, obtenidos a temperatura ambiente de los concentrados de a) mandarina, b) tamarindo y de las bebidas carbonatadas de c) mandarina, d) tamarindo, almacenados a 5, 23 y 40 °C.

De acuerdo al análisis estadístico, se puede observar que la temperatura, el tiempo de almacenamiento y la interacción de las mismas, afectan significativamente a los concentrados y a las bebidas; solamente el refresco de mandarina no presenta diferencias con respecto a la temperatura. Dichos cambios se presentan a 40 °C, en las semanas 3 y 5 de almacenamiento.

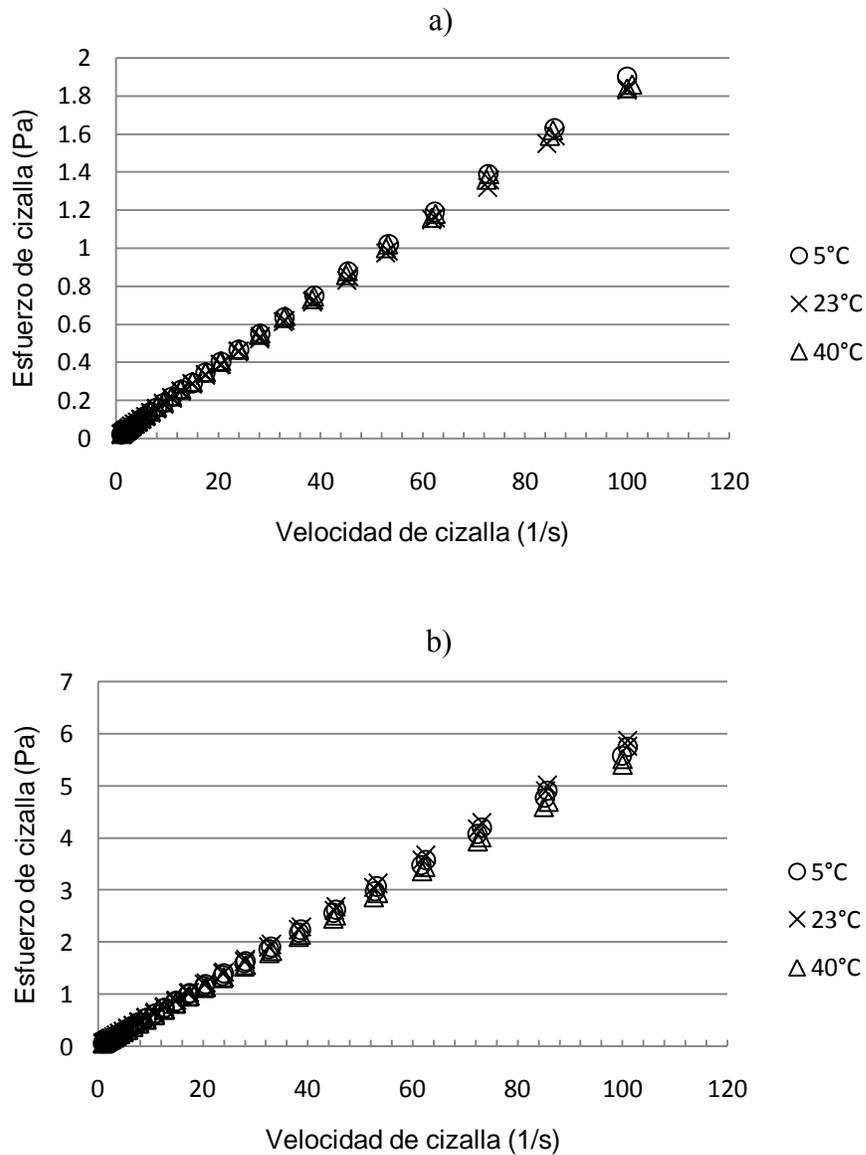
3.9 Propiedades reológicas y viscosidad relativa

En la Figura 3.18 se presentan los resultados del precizamiento de los concentrados a diferentes temperaturas. Éste se realizó con la finalidad de observar si había dependencia del tiempo de cizallamiento, confirmando que es un fluido independiente, mostrando una viscosidad constante en los 30 segundos de precizamiento.



Figuras 3.18 Viscosidad aparente (Pa·s) obtenida a temperatura ambiente de los concentrados de a) mandarina y b) tamarindo, almacenados a 5, 23 y 40 °C.

En la Figuras 3.19, se presentan las curvas de flujo realizadas a través del ascenso y descenso de la velocidad de cizalla, de los concentrados a diferentes temperaturas. Se puede observar claramente un comportamiento de tipo newtoniano, que no fue modificado grandemente por el almacenamiento a las tres temperaturas de estudio. La viscosidad aparente se obtuvo a través de la regresión lineal, por medio de la pendiente.



Figuras 3.19 Curvas de flujo obtenidas a temperatura ambiente, de los concentrados de a) mandarina y b) tamarindo, almacenados a 5, 23 y 40 °C.

En las bebidas carbonatadas, la viscosidad relativa se determinó por un método empírico debido a la baja viscosidad. En el Apéndice 1 se muestran el promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación (%) del tiempo obtenido para cada una de las muestras. En la Figura 3.20 se presenta la forma en que fue variando viscosidad aparente (Pa·s), de los concentrados y la viscosidad relativa de las bebidas carbonatadas, en función del tiempo de almacenamiento a diferentes temperaturas.

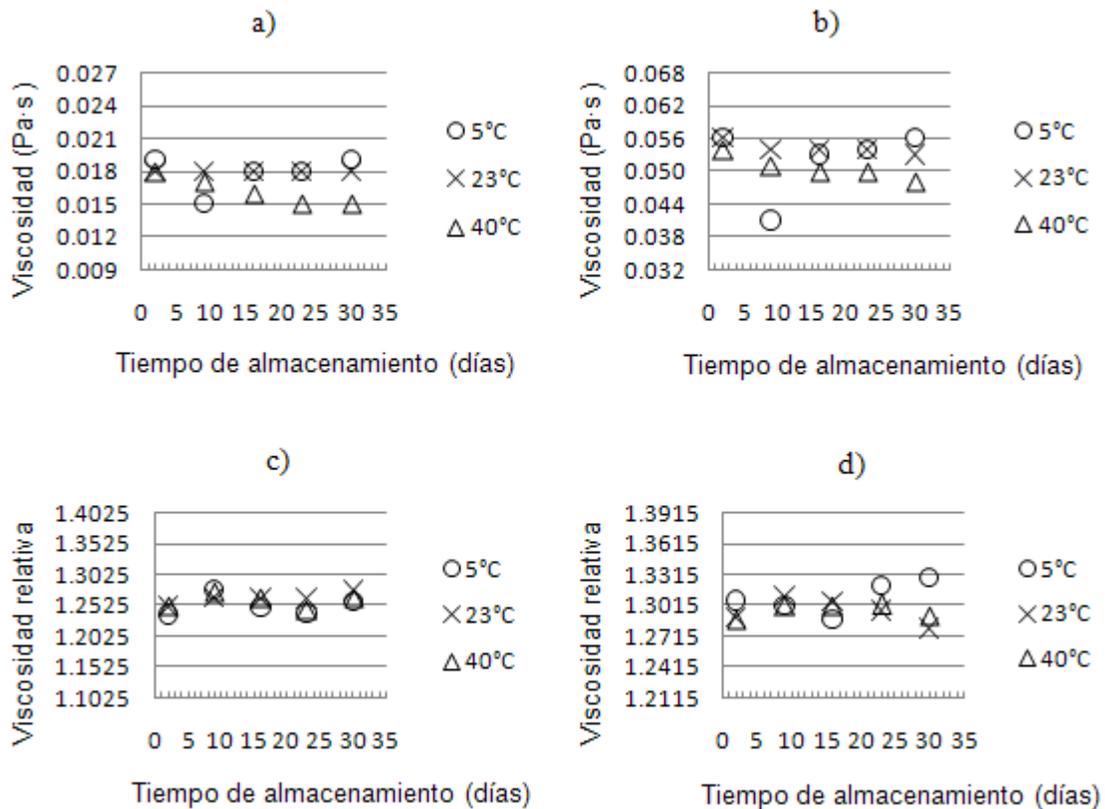


Figura 3.20 Viscosidad aparente (Pa·s) en función del tiempo de almacenamiento, obtenidas a temperatura ambiente de los concentrados de a) mandarina, b) tamarindo y viscosidad relativa de las bebidas carbonatadas de c) mandarina, d) tamarindo, almacenados a 5, 23 y 40 °C.

Se puede observar claramente que la viscosidad (absoluta y relativa) aumenta ligeramente en condiciones de refrigeración con respecto a los días transcurridos durante el almacenamiento, a temperatura ambiente se mantiene constante y 40 °C disminuye un poco.

De acuerdo al análisis estadístico realizado, mostró que a 40 °C la bebida de mandarina presentó diferencias en la viscosidad relativa durante la semana 1 (1.2446), con una media de 1.2569; mientras tanto, en la bebida de tamarindo fue a 5 °C durante la semana 3 (1.3066), con un valor promedio de 1.2923.

Con respecto a los concentrados, a pesar de que hubo variaciones en algunas décimas de los resultados, no existieron diferencias significativas, es decir la viscosidad absoluta no fue afectada por las variables de estudio. Dichas variaciones pueden deberse a otros factores como el pH, las cargas de las partículas y el tamaño de estas mismas, y con un tiempo de almacenamiento mayor, se podrían observar cambios relevantes en la viscosidad aparente de los concentrados; por lo tanto el agente emulsificante utilizado en la elaboración de dichos productos se considera estable (Taherian y col., 2008; Buffo y col., 2001).

La importancia de realizar pruebas reológicas es para conocer el tipo de fluido de la emulsión concentrada, ya que éste debe ser newtoniano y en ocasiones cuando se excede la concentración del agente emulsificante y del estabilizante, el concentrado puede adquirir un comportamiento de tipo no-newtoniano (Deman y col., 1979).

3.10 Estabilidad por dispersión de luz

En la Figuras 3.21 y 3.22 aparecen los datos en relación al % de retrodispersión y el % de transmisión de los concentrados, durante el tiempo de almacenamiento a diferentes temperaturas.

Analizando la Figura 3.21, en lo que respecta al concentrado de mandarina, debido a que es una emulsión concentrada, no se presenta ninguna señal en el área transmisión, por lo cual, la muestra fue analizada únicamente en el área de retrodispersión, poniendo en modo de referencia los datos obtenidos.

Se puede observar que es una muestra muy estable, ya que no sufre mayor cambio en toda la zona media de la muestra. En la parte baja, se presenta una disminución de señal, como un pico negativo y en la parte alta, un aumento de señal, o pico positivo que representa una formación de nata. Por lo tanto se observa una migración de partículas muy lenta.

En cuanto al concentrado de tamarindo, la forma de analizar fue la misma que para el concentrado de mandarina.

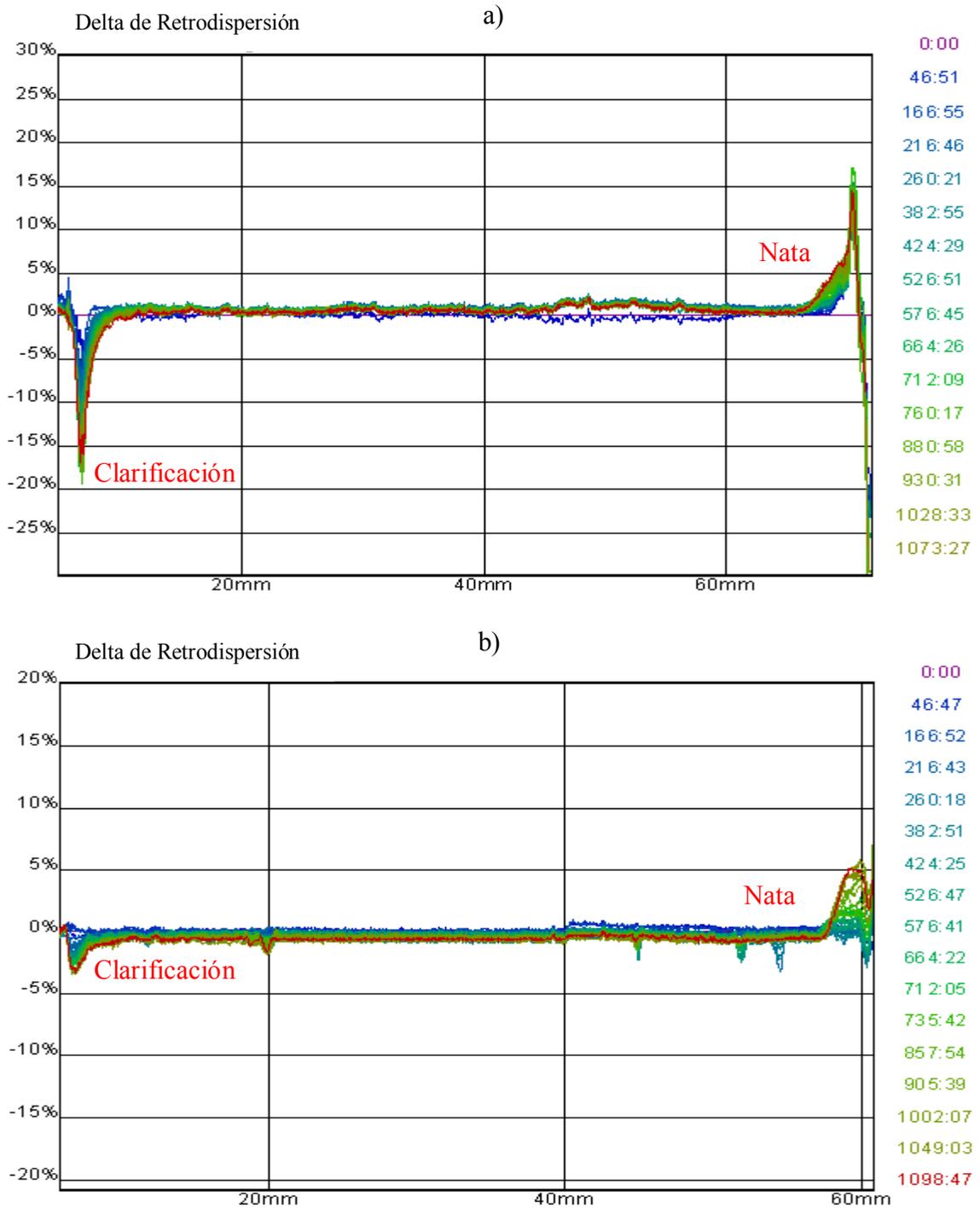


Figura 3.21 Perfiles de retrodispersión en función del tiempo de almacenamiento, obtenidos a temperatura ambiente de los concentrados de a) mandarina, b) tamarindo, almacenados a 5, 23 y 40 °C (modo de referencia).

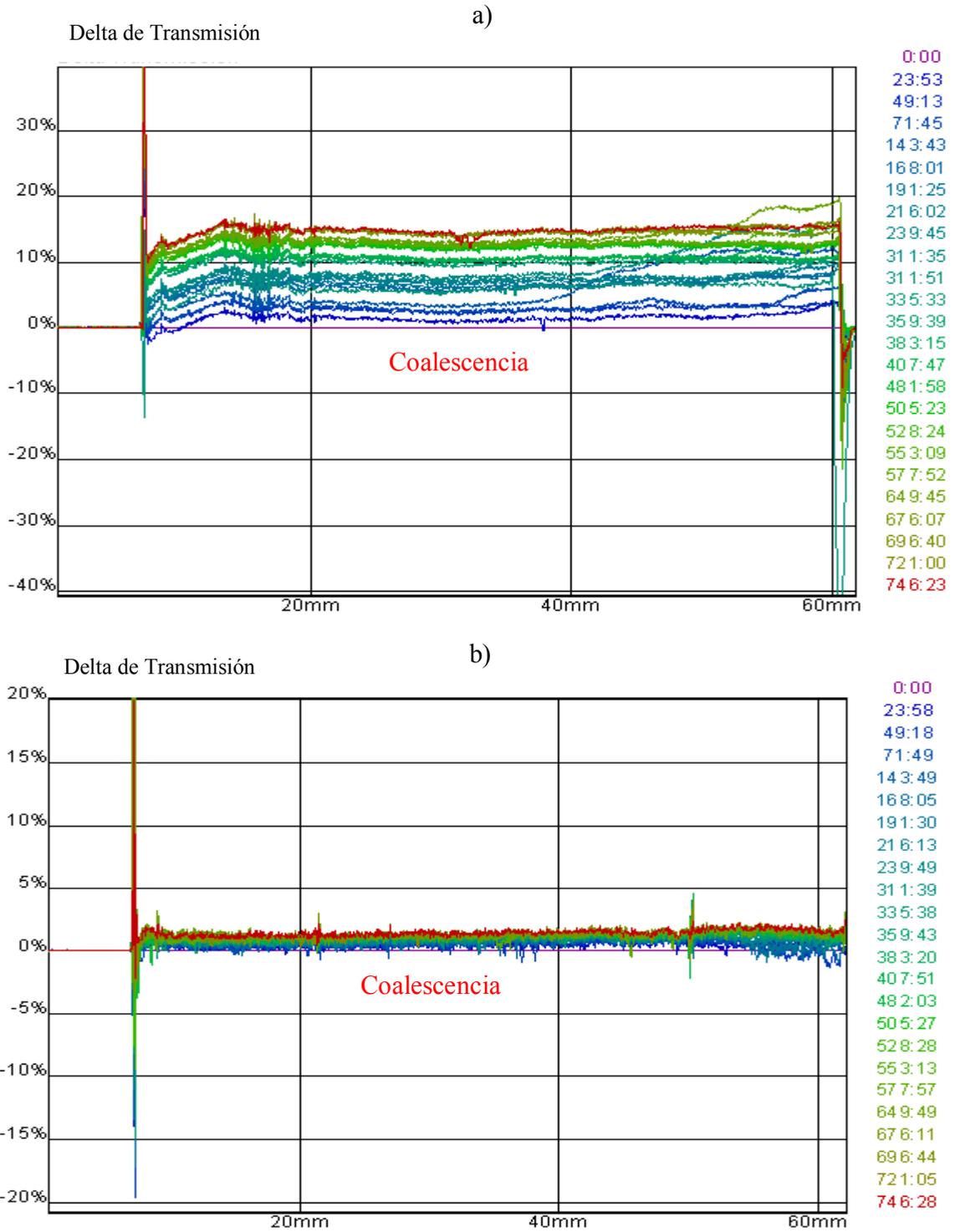


Figura 3.22 Perfiles de transmisión en función del tiempo de almacenamiento, obtenidos a temperatura ambiente de las bebidas carbonatadas de a) mandarina, b) tamarindo, almacenadas a 5, 23 y 40 °C (modo de referencia).

El concentrado de tamarindo también es bastante estable, lo único que se puede apreciar al igual que en el concentrado mandarina, es una migración de partículas, ya que hay una pequeña clarificación en la parte baja y un aumento de señal o formación de nata en la parte superior.

La Figura 3.22 corresponde a las bebidas carbonatadas, en este caso como los refrescos son emulsiones translúcidas, el área que se analiza es la de transmisión, cabe mencionar que en área de retrodispersión también hay información, pero para este tipo de muestras se prefiere realizar el análisis en el área que se mencionó primero. Del mismo modo que en los concentrados, los escaneos obtenidos se pasan a modo de referencia.

Con respecto a la bebida carbonatada de mandarina, se observa un aumento en la señal de transmisión en función del tiempo de almacenamiento, ya las lecturas se encuentran una sobre otra, lo que representa un claro fenómeno de variación en el tamaño de partícula, esto es, que las partículas están coalesciendo o aglomerando.

En cuanto a la bebida carbonatada de tamarindo, se puede ver que es una muestra más estable, se observa un aumento en la señal de transmisión en función del tiempo de almacenamiento, aunque al igual que los concentrados, se presenta una migración de partículas muy lenta, debido a que en la parte baja de la muestra se aprecia un aumento de señal (pico) y en la parte alta una disminución de señal (pico), lo cual indica una sedimentación.

Las velocidades de migración fueron calculadas mediante el software Migration proporcionado por el proveedor. Para esto, solamente se tuvieron que seleccionar los picos donde se presentó el fenómeno, ya sea sedimentación o cremado para realizar el cálculo. En el caso de la coalescencia, se seleccionó el centro de la muestra.

En la Figura 3.23 se exhiben las cinéticas de valores medios de acuerdo al porcentaje de retrodispersión de los concentrados, en función del tiempo de almacenamiento a diferentes temperaturas.

De acuerdo a las cinéticas obtenidas en la Figura 3.23, correspondientes a los concentrados, se puede ver que el fenómeno es muy lento, esto es debido a que los valores del porcentaje de retrodispersión son casi constantes en función del tiempo, por lo que la pendiente es prácticamente constante para ambos casos, con una ligera tendencia a aumentar.

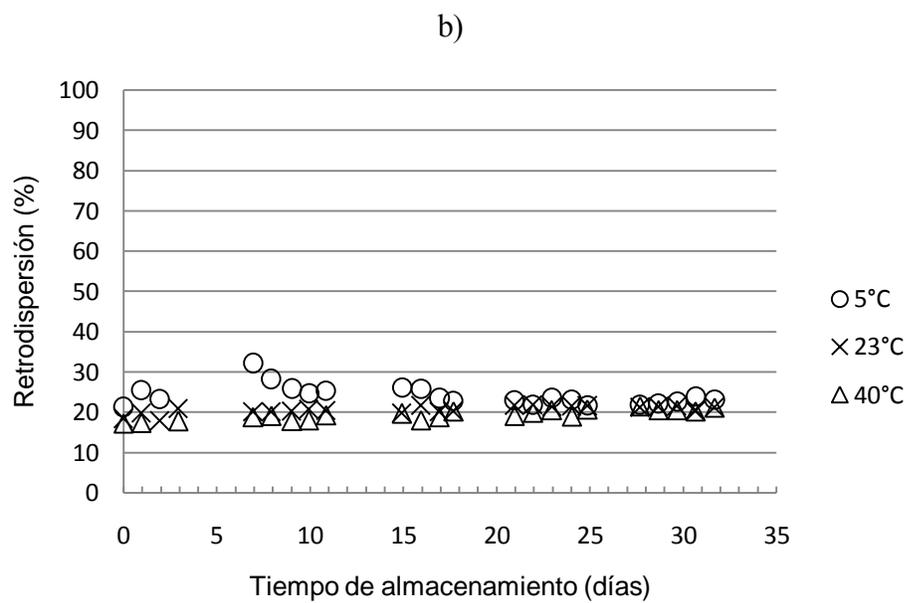
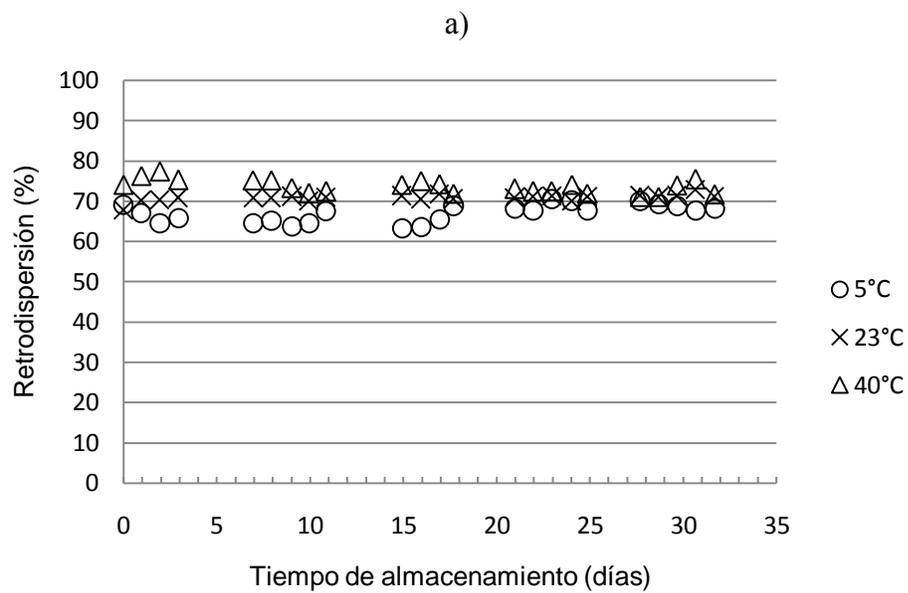


Figura 3.23 Porcentaje de retrodispersión en función del tiempo de almacenamiento, obtenido a temperatura ambiente, de los concentrados de a) mandarina, b) de tamarindo, almacenados a 5, 23 y 40 °C.

La única diferencia entre las muestras, es el porcentaje de retrodispersión, ya que la diferencia entre los concentrados es un promedio del 50%, lo cual indica que la muestra de mandarina (70%) es más concentrada que la de tamarindo (20%), por lo tanto rechaza más luz y el porcentaje de retrodispersión aumenta.

En la Figura 3.24 se representan las cinéticas de valores medios de acuerdo al porcentaje de transmisión de las bebidas carbonatadas, en función del tiempo de almacenamiento a diferentes temperaturas.

Con respecto a la Figura 3.24, haciendo referencia a la bebida carbonatada de mandarina, se puede observar que el fenómeno es constante, pero se presenta en dos fases, la primera desde el inicio del experimento hasta aproximadamente 15 días, donde la pendiente es más pronunciada, y la segunda a partir de esta fecha hasta los 31 días, donde la pendiente es mucho menor pero continua en forma ascendente, lo que indica que el fenómeno aún no termina.

En cuanto a la bebida carbonatada de tamarindo (hay que recordar que la forma de analizar esta muestra fue de la misma manera que la de los concentrados), el porcentaje de retrodispersión es muy diferente, debido a que en el refresco de mandarina, se seleccionó el centro de la muestra para llevar a cabo el análisis y para el refresco de tamarindo se eligió el área de sedimentación; de haber sido seleccionada la misma área en las dos muestras, el porcentaje hubiera sido el mismo (entre 60 y 70%). Como se puede observar, la bebida a una temperatura de 5 °C tiende a formar una menor cantidad de sedimento, caso contrario del refresco a 40 °C, ya que éste es el que forma mayor sedimento.

En el Cuadro 3.10 se indican los resultados de las velocidades de migración (mm/min) (las cuales fueron obtenidas después de haber hecho el cálculo en el software Migration), de los fenómenos ocurridos en los concentrados y las bebidas carbonatadas.

Como ya se había mencionado anteriormente, los fenómenos que se presentan en los concentrados y en las bebidas son muy lentos, lo cual se pudo rectificar por las velocidades de migración obtenidas mediante el análisis de las cinéticas absolutas.

De acuerdo a los resultados, el concentrado de mandarina es el fenómeno que se lleva a cabo mayor lentitud y por el contrario, el refresco del mismo sabor es el que tiende a ser menos lento.

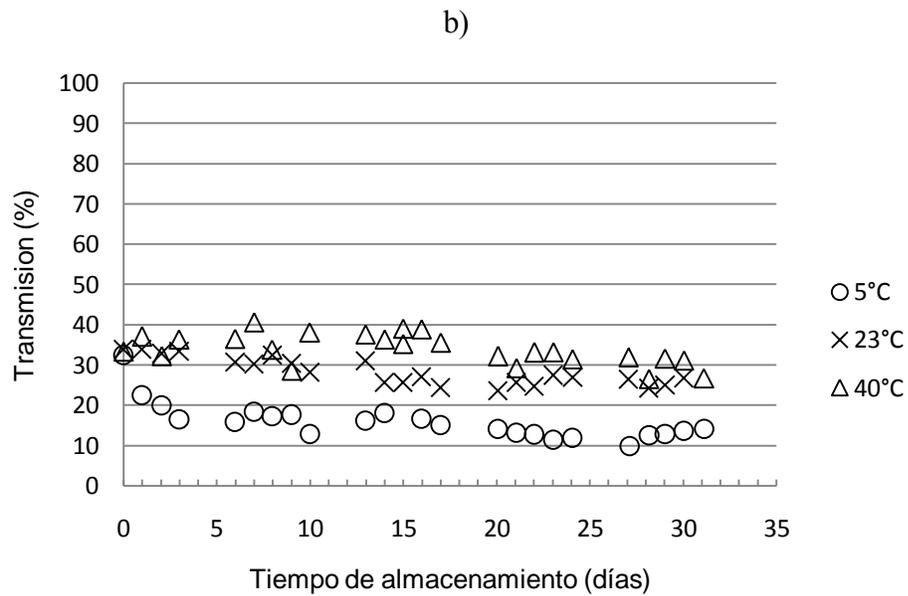
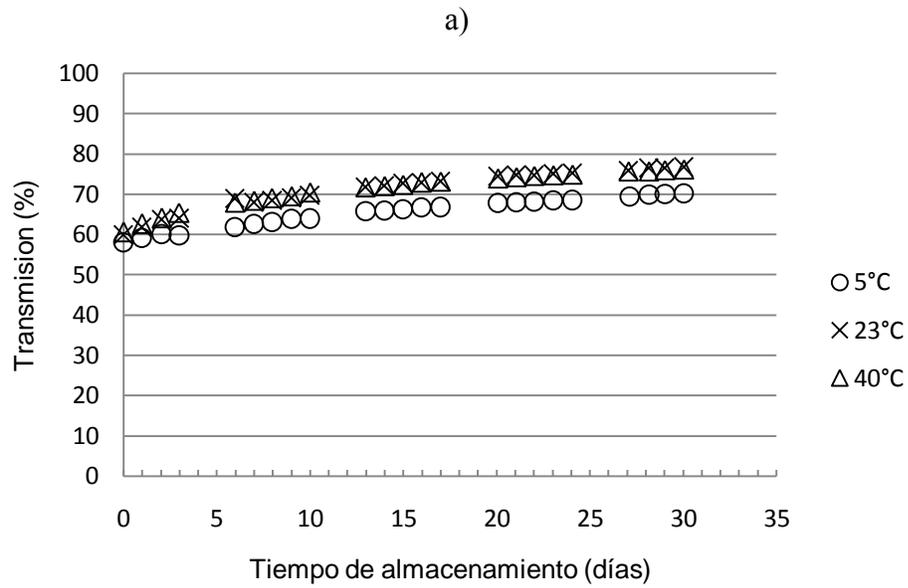


Figura 3.24 Porcentaje de transmisión en función del tiempo de almacenamiento, obtenido a temperatura ambiente, de las bebidas carbonatadas de a) mandarina, b) tamarindo, almacenados a 5, 23 y 40 °C.

Cuadro 3.4 Velocidades de migración (mm/min) de los concentrados y las bebidas carbonatadas, en función del tiempo de almacenamiento a 5, 23 y 40 °C.

Concentrado de mandarina		
T (°C)	Velocidad de migración (mm/min)	Coefficiente de correlación (r)
5	1.26E-05	0.66
	1.27E-06	0.49
23	3.70E-06	0.64
	3.06E-05	0.84
40	1.01E-05	0.64
	1.76E-05	0.74
Concentrado de tamarindo		
5	4.41E-05	0.52
	3.36E-05	0.54
23	3.38E-05	0.87
	3.29E-05	0.87
40	2.07E-05	0.95
	2.77E-05	0.94
Bebida carbonatada de mandarina		
5	8.70E-04	0.92
	8.97E-04	0.91
23	7.84E-04	0.87
	5.87E-04	0.85
40	6.19E-04	0.84
	6.34E-04	0.85
Bebida carbonatada de tamarindo		
5	1.04E-04	0.70
	1.29E-04	0.77
23	1.24E-04	0.67
	2.67E-04	0.91
40	3.02E-04	0.91
	3.09E-04	0.88

Nota: El concentrado de mandarina, de tamarindo y la bebida carbonatada de tamarindo, fueron analizadas en la parte superior de la muestra. La bebida carbonatada de mandarina fue analizada en la zona media de la muestra.

Para realizar el análisis estadístico de las velocidades de migración, se utilizó la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$), los resultados conseguidos aparecen como figuras en el Apéndice 3 y se obtuvo lo siguiente:

En el concentrado de mandarina no se presentaron diferencias significativas, es decir la temperatura no afectó al producto durante el almacenamiento y se obtuvo un promedio de $1.68E-05$ mm/min.

En el caso de del concentrado de tamarindo tampoco se mostraron diferencias significativas entre las velocidades de migración y las temperaturas de estudio, la media obtenida fue de $3.33E-05$ mm/min.

Al igual que en los concentrados, la bebida carbonatada de mandarina no presentó ningún cambio.

De acuerdo a la bebida de tamarindo sucede totalmente lo contrario, ya que en esta ocasión la temperatura a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ es la que está afectando al producto con respecto a las temperaturas de 5 y $23\text{ }^{\circ}\text{C}$.

La formación de la nata en los concentrados y del anillo en las bebidas carbonatadas se podrían observar de la siguiente manera:

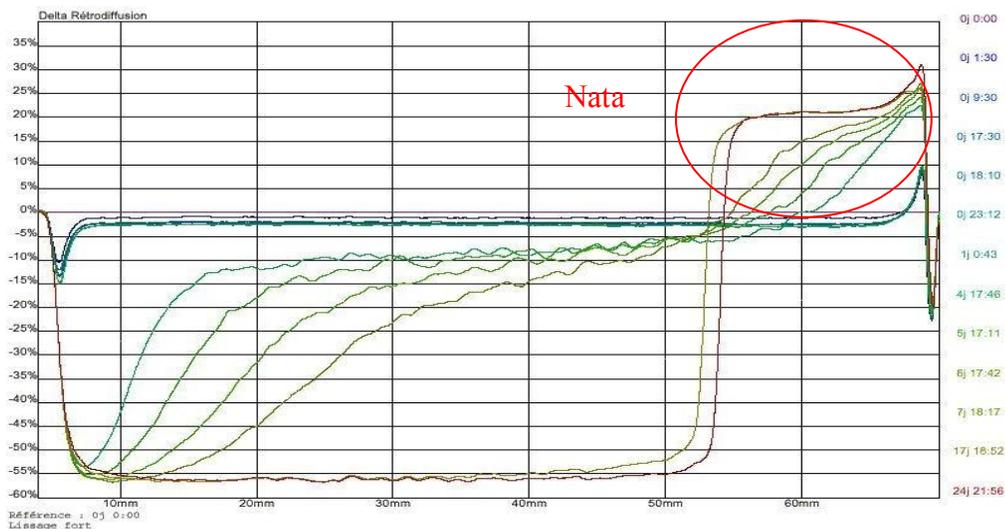


Figura 3.25 Formación de nata en un concentrado en 12 horas en modo de referencia (Formulation, 2003)

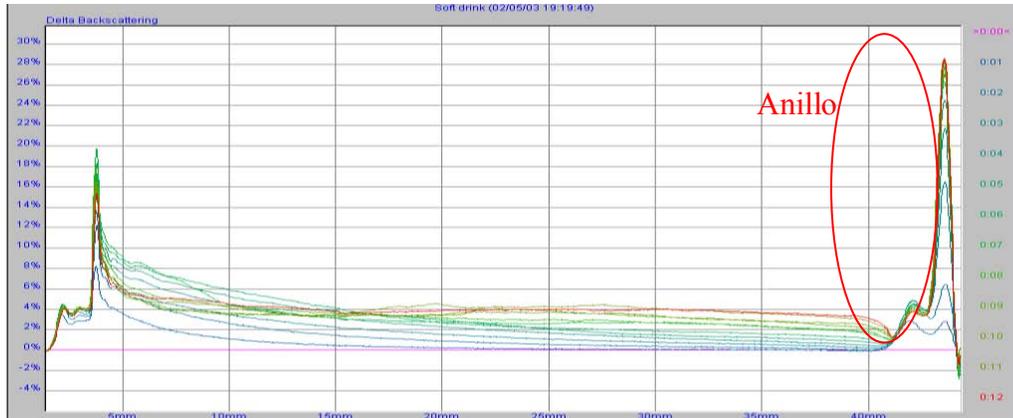


Figura 3.26 Formación de anillo en una bebida carbonatada en 12 horas en modo de referencia (Formulation, 2003).

De esta manera se indican claramente los fenómenos que no pudieron ser vistos durante la experimentación, en ambas figuras se señala la sección donde se forma la nata y el anillo respectivamente, además se manifiesta una variación en el tamaño de partícula muy evidente y por lo tanto se puede apreciar una separación total de las fases; motivo por el cual, los productos elaborados por estas industrias mexicanas, se consideran estables.

3.11 Turbidez (NTU)

En la Figura 3.27 se presenta la forma en que fue variando la turbidez (NTU), de los concentrados y de las bebidas carbonatadas, en función del tiempo de almacenamiento a diferentes temperaturas.

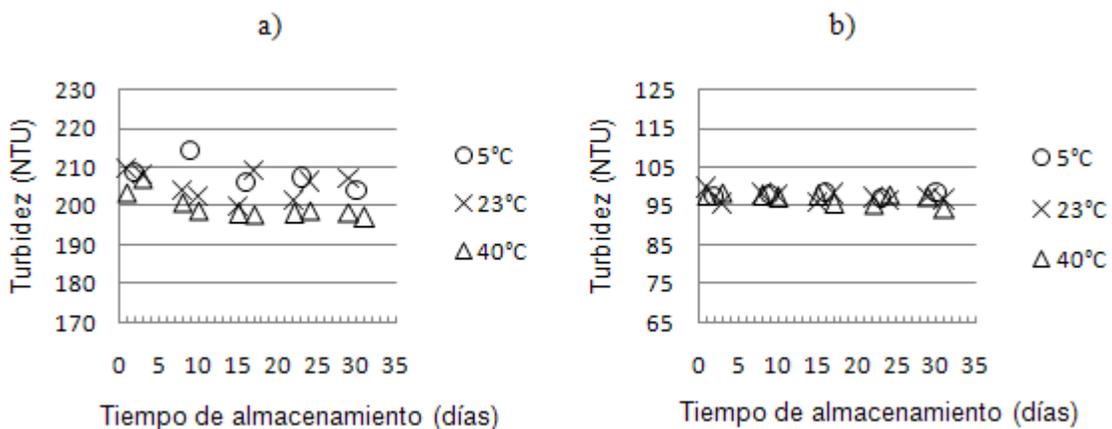


Figura 3.27 Turbidez (NTU) en función del tiempo de almacenamiento, obtenida a temperatura ambiente, de las bebidas carbonatadas de a) de mandarina, b) tamarindo, almacenadas a 5, 23 y 40 °C.

Con respecto al concentrado de mandarina, se puede apreciar claramente que la turbidez es muy variable a las tres temperaturas, presentándose una tendencia a disminuir después de los 15 días de almacenamiento.

En el caso del concentrado de tamarindo, los resultados permanecen prácticamente constantes, pero también se puede observar que a 40 °C, la tendencia de los valores de turbidez es a disminuir, por lo tanto, en un tiempo de almacenamiento mayor, las otras dos pendientes también seguirían dicha tendencia.

La disminución de la turbidez durante el almacenamiento se debe al cambio de tamaño de partícula, la agregación de las gotas de aceite, la atracción y repulsión de las cargas, el incremento de la velocidad de sedimentación o cremado, las modificaciones en el índice de refracción, la concentración de la goma y el índice de polidispersión (<0.3) (Mirhosseini y col., 2008a).

De acuerdo a los resultados del análisis estadístico mostrado en el Apéndice 2, la temperatura, el tiempo de almacenamiento y la interacción entre estas variables, afectan significativamente a la turbidez de las bebidas carbonatadas de ambos sabores, además de los otros factores ya mencionados anteriormente.

En condiciones más extremas de almacenamiento, es como se perciben con mayor claridad los cambios en la turbidez. El promedio de la Turbidez del refresco de mandarina es de 204 (± 4.71) y del refresco de tamarindo de 98 (± 1.01).

3.6 Análisis integral

Las propiedades analizadas: nD, color, densidad relativa y pH, no indican realmente la formación de un anillo en el concentrado y en el refresco, pero es importante determinarlas, ya que son pruebas que se realizan constantemente en la industria como parte del control de calidad del producto terminado.

Todas estas propiedades presentaron cambios a los 15 días con una ligera tendencia a aumentar a excepción del pH ya que éste disminuyó, pero estos resultados difieren mínimamente, lo que indica que son estables a las diferentes condiciones de tiempo y almacenamiento, además de reflejar el buen monitoreo de los concentrados y los refrescos durante el proceso de elaboración.

El potencial Z, el tamaño de partícula, la turbidez, la viscosidad y la estabilidad por dispersión de luz, son pruebas que revelan si una emulsión es estable o no, de acuerdo a cada uno de los resultados, se puede determinar el mecanismo de desestabilización que se está llevando a cabo en los concentrados y en las bebidas carbonatadas de diferentes sabores; es decir no se logró observar la formación del anillo, pero se presentaron otros fenómenos como la coalescencia y la sedimentación, pero no en una forma significativa, debido a que el cuerpo de las muestras es muy estable (prueba por dispersión de luz).

La técnica utilizada por dispersión de luz, permitió analizar fácilmente las muestras, ya que con la información que presentan las lecturas en las gráficas, indica rápidamente que mecanismo de desestabilización se está presentando y la manera en que se está llevando a cabo. Esta es una ventaja que posee la técnica por dispersión de luz, ya que otras pruebas como es la turbidez, el potencial Z y el tamaño de partícula no indican precisamente el tipo de inestabilidad que se está presentando, pero en conjunto contribuyen a saber si una emulsión es estable o no.

Conclusiones

Al realizar el seguimiento de las diferentes propiedades físicas y fisicoquímicas de los concentrados: índice de refracción (nD), color, densidad relativa, pH, potencial Z, tamaño de partícula, dispersión de luz, viscosidad y turbidez, se determinó que las muestras fueron lo suficientemente estables, motivo por el cual no se observaron cambios importantes en la mayoría de las propiedades en el seguimiento realizado durante un mes de almacenamiento a diferentes temperaturas.

De acuerdo a los análisis estadísticos presentados, indican que todas las propiedades a excepción de la viscosidad, fueron afectadas por las temperaturas y el tiempo de almacenamiento, pero cabe mencionar, que lo que el ANOVA señala es una comparación de medias, es decir si los resultados de la temperatura o del tiempo difieren significativamente con respecto al promedio, por lo cual no se puede decir que las emulsiones sean inestables durante un tiempo relativamente corto a diferentes temperaturas; estas diferencias pueden deberse a la sensibilidad con la que operan los instrumentos y equipos de medición. Sin embargo, dichos factores si afectan a la emulsión, pero se observarían cambios más relevantes si las condiciones fueran extremas (temperaturas más altas o tiempos más largos).

Recomendaciones

Con el fin de observar claramente la formación del anillo, se recomienda aumentar las condiciones de almacenamiento, es decir, aumentar las condiciones de temperatura y provocar choques térmicos, y así determinar las cinéticas de separación también en función de la temperatura. Además de darle un seguimiento en función del tiempo mayor, dos meses serían adecuados, ya que en este proyecto sólo se evaluó durante un mes, considerando que los refrescos se consumen en grandes cantidades y por lo tanto no se encuentran almacenados durante tiempos prolongados a temperaturas superiores a la del medio ambiente.

Se recomienda utilizar la técnica por dispersión de luz, debido a que es una forma fácil, rápida y eficiente de identificar el mecanismo de desestabilización que se presenta en las emulsiones y en otros sistemas dispersos.

Referencias Bibliográficas

- Alvarado, J. D., Aguilera, J. M. 2001. “Métodos para medir propiedades físicas en las industrias de alimentos”. Acribia. España.
- ANFABRA (Asociación Nacional de Fabricantes de Bebidas Refrescantes Alcohólicas). 2006. “El libro blanco de las bebidas refrescantes”. España. En línea (www.anfabra.es).
- Aranberri, I., Binks, B. P., Clint, J. H., Fletcher, P. D. 2006. Elaboración y caracterización de emulsiones estabilizadas por polímeros y agentes tensoactivos. *Iberoamericana de Polímeros*, 7 (3), 211-231.
- Atkins, P. W. 1991. “Fisicoquímica”. 3ª ed. Addison-Wesley. México.
- Badui, S. 2006. “Química de los Alimentos”. 4ª ed. Pearson. México.
- Barker, G. S., Jefferson, B., Judd, S. J. 2002. The control of bubble size in carbonated beverages. *Chemical Engineering Science*, 57, 565–573.
- Buffo, R. A., Reineccius, G. A., Oehlert, G. W. 2001. Factors affecting the emulsifying and rheological properties of gum acacia in beverage emulsions. *Food Hydrocolloids*, 15, 53-66.
- Chanamai R., McClements J. 2000. Impact of weighting agents and sucrose on gravitational separation of beverage emulsions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 5561-5565.
- Deman, J. M., Voisey, P. W., Rasper, V.F., Stanley, D. W. 1979. “Rheology and texture in food quality”. 2nd ed. The Avi Publishing Company. USA.
- Desrosier, N. W. 1997. “Elementos de tecnología de alimentos.” 12ª reimpresión. Compañía Editorial Continental. México.
- Dickinson, E. 1994. Colloidal aspects of beverage. *Food Chemistry*, 51, 343-347.
- Dickinson, E. 2003. Hydrocolloids at interfaces and the influence on the properties of dispersed systems. *Food Hydrocolloids*, 17, 25-39.
- Dickinson, E., Akhtar, M. 2007. Whey protein–maltodextrin conjugates as emulsifying agents: An alternative to gum arabic. *Food Hydrocolloids*, 21, 607-616.
- Dickinson, E. 2008. Hydrocolloids as emulsifiers and emulsion stabilizers. *Food Hydrocolloids*, 30, 1-10.

- Djordjevic, D., Cercaci, L., Alamed, J., McClements, J., Decker, E., 2008. Stability of citral in protein-and gum arabic-stabilized oil-in-water emulsions. *Food Chemistry*, 106, 698–705.
- Dluzewska, E. Stiobecka, A., Maszewska M. 2006. Effect of oil phase concentration on rheological properties and stability of beverage emulsions, 5, 147-156.
- Fennema, O. R. 2000. “Química de los alimentos”. 3ª ed. Acribia. España.
- Formulation. 2003. Stability of various beverage emulsions. *Food Application*, 1, 1-6. USA. En línea (www.formulation.com/stability_beverage.pdf).
- Foster, R. 2003. “Beverage quality and safety”. CRC. USA.
- Friberg, S. 1997. “Food emulsions”. 3rd ed. Marcel Decker. USA.
- Geankoplis, C. J. 2006. “Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias”. 4ª ed. Compañía Editorial Continental. México.
- Genzling, F. 2004. Tendencias en sabores y bebidas no alcohólicas en el mercado mexicano. *Mundo Alimentario*, 12 (5), 3–8.
- Glicksman, N. M. 1979. “Food hydrocolloids”. C.R.C. USA
- Gutiérrez, S., Rogert, E. 2002. Desarrollo de una emulsión de cola con color. *Alimentaria*, 2, 141-143
- Hansson, A., Andersson, J., Leufvén, A., Pehrson, K. 2001. Effect of changes in pH on the release of flavour compounds from a soft drink-related model system. *Food Chemistry*, 74, 429-435.
- Laidler, K. J., Meiser, J. H. 1997. “Fisicoquímica”. Compañía Editorial Continental. México.
- Levine, I. N. 1996. “Fisicoquímica”. 4ª ed. McGraw-Hill. España.
- Lozano, J. 2006 “Fruit manufacturing”. Springer. USA.
- Mc Clements, D. J. 1999. “Food emulsions. Principles, practice and techniques”. CRC. USA.
- Mendoza, D. 2009. México segundo lugar mundial en consumo de refrescos. www.milenio.com. 17 de junio del 2009.

- Mengual, O., Meunier, G., Cayré, I., Puech, K., Snabre, P. 1999. TURBISCAN MA 2000: Multiple light scattering measurement for concentrated emulsion and suspension instability analysis. *International Journal of Pharmaceutics*, 50, 445-456.
- Mirhosseini, H., Ping, C., Aghlara, A., Hamid, N., Yusof, S., Chern, Boo. 2008a. Influence of pectin and CMC on physical stability, turbidity loss rate, cloudiness and flavor release of orange beverage emulsion during storage. *Carbohydrate Polymers*, 73, 83-91.
- Mirhosseini, H., Ping, C., Hamid, N., Yusof, S. 2008b. Effect of Arabic gum, xanthan gum and orange oil contents on Z-potential, conductivity, stability, size index and pH of orange beverage emulsion. *Colloids and Surfaces*, 315, 47-56.
- Mirhosseini, H., Ping, C., Hamid, N., Yusof, S. 2008c. Optimization of the contents of Arabic gum, xanthan gum and orange oil affecting turbidity, average particle size, polydispersity index and density in orange beverage emulsion. *Food Hydrocolloids*, 22, 1212-1223.
- Mirhosseini, H., Chin, T. 2009. Response surface methodology and multivariate analysis of equilibrium headspace concentration of orange beverage emulsion as function of emulsion composition and structure. *Food Chemistry*, 30, 1-10.
- Mitchell, A. 1990. "Formulation and production on carbonated soft drinks". Blackie. USA.
- NMX-F-439-1983. Alimentos. Bebidas no alcohólicas. Bebidas y refrescos clasificación y definiciones. Foods. Non alcoholic beverages. Soft drinks and beverages clasificación and definitions. Normas mexicanas. Dirección general de normas.
- NOM-218-SSA1/SCFI-2002. Productos y servicios. Bebidas no alcohólicas, sus congelados y productos concentrados para prepararlas. Especificaciones sanitarias. Información comercial.
- Nussinovitch, A. 1997. "Hydrocolloid Applications: Gum Technology in the Food and other Industries". Blackie. UK.
- Pere, G. C., Lluís, M. A., Xavier, T. L. 2004. "Estadística práctica con MINITAB". Pearson Prentice Hall. España.

- Potter, N. N., Hotchkiss, J. H. 1999. "Ciencia de los Alimentos". Acribia. España.
- Rodríguez, V. 2006a. Ingredientes para bebidas. *Bebidas Mexicanas*, 14 (4), 35–39.
- Rodríguez, V. 2006b. Estabilización de bebidas. *Bebidas Mexicanas*, 14 (2), 38–39.
- Rodríguez, V. 2006c. Bebidas refrescantes; su origen, clasificación y tecnología. *Bebidas Mexicanas*, 14 (2), 17–21.
- Roudot, A. 2004. "Reología y análisis de la textura de los alimentos". Acribia. España.
- Shachman, M. 2005. "The soft drinks companion". CRC. USA.
- Shin, S., Cook, J. M. 2002. Stability studies of stevioside and rebaudioside A in carbonated beverages. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 31, 409-412.
- Sjöblom, J. 2006. "Emulsions and emulsion stability". 2nd ed. CRC. USA.
- Taherian, A. Fustier, Patrick., Ramaswamy, H. 2006. Effect of added oil and modified starch on rheological properties, droplet size distribution, opacity and stability of beverage cloud emulsions. *Journal of Food Engineering*, 77, 687–696.
- Taherian, A. Fustier, P., Britten, M., Ramaswamy, H. 2008. Rheology and stability of beverage emulsions in the presence and absence of weighting agents. *Food Biophysics*, 3, 279-286.
- Vargas, A. 2002. Elaboración de bebidas carbonatadas en envases de PET. Tesis de Ingeniería en Alimentos, FES Cuautitlán, UNAM. México.
- Varnam, A., Sutherland, J. P. 1994. "Bebidas tecnología química y microbiología". Acribia. España.
- Woodroof, J., Phillips, F. 1981. "Beverages: carbonated and noncarbonated". AVI Publishing Company. USA.
- Whistler, R. L., Bemiller, J. M. 1992. "Industrial gums: Polysaccharides and their derivatives". 3rd ed. Academic. USA.
- Zeta-Meter, Inc. 1993 "Coagulation and Flocculation". USA. En línea (www.zeta-meter.com/5min.pdf).

APÉNDICES

APÉNDICE 1. Viscosimetría de Ostwald

Tiempos registrados en segundos del líquido de referencia (agua) y de las bebidas carbonatadas de mandarina y tamarindo, a diferentes temperaturas, durante el mes de almacenamiento.

Semana 1					
Bebida carbonatada de mandarina a 5°C			Bebida carbonatada de tamarindo a 5°C		
	Agua	Bebida		Agua	Bebida
\bar{X}	4.43	5.24	\bar{X}	4.43	5.50
σ	0.0877	0.0624	σ	0.0877	0.0522
C.V. (%)	1.9775	1.1902	C.V. (%)	1.9775	0.9496
ρ	997.08	1043.00	ρ	997.08	1050.00
η (Pa s)	0.0009361	1.2372	η (Pa s)	0.0009361	1.3061

Semana 1					
Bebida carbonatada de mandarina a 23°C			Bebida carbonatada de tamarindo a 23°C		
	Agua	Bebida		Agua	Bebida
\bar{X}	4.43	5.30	\bar{X}	4.43	5.35
σ	0.0877	0.0720	σ	0.0877	0.0668
C.V. (%)	1.9775	1.3584	C.V. (%)	1.9775	1.2491
ρ	997.08	1042.00	ρ	997.08	1048.00
η (Pa s)	0.0009361	1.2497	η (Pa s)	0.0009361	1.2680

Semana 1					
Bebida carbonatada de Mandarina a 40°C			Bebida carbonatada de tamarindo a 40°C		
	Agua	Bebida		Agua	Bebida
\bar{X}	4.43	5.31	\bar{X}	4.43	5.42
σ	0.0877	0.0730	σ	0.0877	0.0765
C.V. (%)	1.9775	1.3736	C.V. (%)	1.9775	1.4124
ρ	997.08	1047.00	ρ	997.08	1053.00
η (Pa s)	0.0009361	1.2513	η (Pa s)	0.0009361	1.2870

Semana 2					
Bebida carbonatada de mandarina a 5°C			Bebida carbonatada de tamarindo a 5°C		
	Agua	Bebida		Agua	Bebida
\bar{X}	4.43	5.41	\bar{X}	4.43	5.48
σ	0.0877	0.0624	σ	0.0877	0.0751
C.V. (%)	1.9775	1.1544	C.V. (%)	1.9775	1.3719
ρ	997.08	1043.00	ρ	997.08	1050.00
η (Pa s)	0.0009361	1.2766	η (Pa s)	0.0009361	1.3011

Semana 2					
Bebida carbonatada de mandarina a 23°C			Bebida carbonatada de tamarindo a 23°C		
	Agua	Bebida		Agua	Bebida
\bar{X}	4.43	5.36	\bar{X}	4.43	5.51
σ	0.0877	0.0457	σ	0.0877	0.0541
C.V. (%)	1.9775	0.8532	C.V. (%)	1.9775	0.9825
ρ	997.08	1044.00	ρ	997.08	1051.00
η (Pa s)	0.0009361	1.2652	η (Pa s)	0.0009361	1.3096

Semana 2					
Bebida carbonatada de mandarina a 40°C			Bebida carbonatada de tamarindo a 40°C		
	Agua	Bebida		Agua	Bebida
\bar{X}	4.43	5.39	\bar{X}	4.43	5.46
σ	0.0877	0.0535	σ	0.0877	0.0882
C.V. (%)	1.9775	0.9920	C.V. (%)	1.9775	1.6143
ρ	997.08	1045.00	ρ	997.08	1052.00
η (Pa s)	0.0009361	1.2751	η (Pa s)	0.0009361	1.3014

Semana 3					
Bebida carbonatada de mandarina a 5°C			Bebida carbonatada de mandarina a 5°C		
	Agua	Bebida		Agua	Bebida
\bar{X}	4.43	5.29	\bar{X}	4.43	5.42
σ	0.0877	0.0360	σ	0.0877	0.0294
C.V. (%)	1.9775	0.6805	C.V. (%)	1.9775	0.5428
ρ	997.08	1043.00	ρ	997.08	1050.00
η (Pa s)	0.0009361	1.2492	η (Pa s)	0.0009361	1.2880

Semana 3					
Bebida carbonatada de mandarina a 23°C			Bebida carbonatada de tamarindo a 23°C		
	Agua	Bebida		Agua	Bebida
\bar{X}	4.43	5.34	\bar{X}	4.43	5.61
σ	0.0877	0.0386	σ	0.0877	0.0455
C.V. (%)	1.9775	0.7221	C.V. (%)	1.9775	0.8099
ρ	997.08	1044.00	ρ	997.08	1051.00
η (Pa s)	0.0009361	1.2625	η (Pa s)	0.0009361	1.3350

Semana 3					
Bebida carbonatada de mandarina a 40°C			Bebida carbonatada de tamarindo a 40°C		
	Agua	Bebida		Agua	Bebida
\bar{X}	4.43	5.35	\bar{X}	4.43	5.55
σ	0.0877	0.0613	σ	0.0877	0.0446
C.V. (%)	1.9775	1.1473	C.V. (%)	1.9775	0.8040
ρ	997.08	1045.00	ρ	997.08	1053.00
η (Pa s)	0.0009361	1.2641	η (Pa s)	0.0009361	1.3227

Semana 4					
Bebida carbonatada de mandarina a 5°C			Bebida carbonatada de tamarindo a 5°C		
	Agua	Bebida		Agua	Bebida
\bar{X}	4.43	5.25	\bar{X}	4.43	5.56
σ	0.0877	0.0659	σ	0.0877	0.0570
C.V. (%)	1.9775	1.2544	C.V. (%)	1.9775	1.0255
ρ	997.08	1043.00	ρ	997.08	1050.00
η (Pa s)	0.0009361	1.2393	η (Pa s)	0.0009361	1.3205

Semana 4					
Bebida carbonatada de mandarina a 23°C			Bebida carbonatada de tamarindo a 23°C		
	Agua	Bebida		Agua	Bebida
\bar{X}	4.43	5.24	\bar{X}	4.43	5.37
σ	0.0877	0.0580	σ	0.0877	0.0680
C.V. (%)	1.9775	1.1057	C.V. (%)	1.9775	1.2676
ρ	997.08	1044.00	ρ	997.08	1051.00
η (Pa s)	0.0009361	1.2388	η (Pa s)	0.0009361	1.2760

Semana 4					
Bebida carbonatada de mandarina a 40°C			Bebida carbonatada de tamarindo a 40°C		
	Agua	Bebida		Agua	Bebida
\bar{X}	4.43	5.27	\bar{X}	4.43	5.33
σ	0.0877	0.0657	σ	0.0877	0.0568
C.V. (%)	1.97	1.2466	C.V. (%)	1.98	1.0656
ρ	997.08	1045.00	ρ	997.08	1053.00
η (Pa s)	0.0009361	1.2461	η (Pa s)	0.0009361	1.2692

Semana 5					
Bebida carbonatada de mandarina a 5°C			Bebida carbonatada de tamarindo a 5°C		
	Agua	Bebida		Agua	Bebida
\bar{X}	4.43	5.33	\bar{X}	4.43	5.59
σ	0.0877	0.0654	σ	0.0877	0.0637
C.V. (%)	1.9775	1.2284	C.V. (%)	1.9775	1.1401
ρ	997.08	1043.00	ρ	997.08	1050.00
η (Pa s)	0.0009361	1.2573	η (Pa s)	0.0009361	1.3276

Semana 5					
Bebida carbonatada de mandarina a 23°C			Bebida carbonatada de tamarindo a 23°C		
	Agua	Bebida		Agua	Bebida
\bar{X}	4.43	5.40	\bar{X}	4.43	5.30
σ	0.0877	0.0379	σ	0.0877	0.0792
C.V. (%)	1.9775	0.7018	C.V. (%)	1.9775	1.4938
ρ	997.08	1044.00	ρ	997.08	1051.00
η (Pa s)	0.0009361	1.2757	η (Pa s)	0.0009361	1.2613

Semana 5					
Bebida Carbonatada de mandarina a 40°C			Bebida carbonatada de tamarindo a 40°C		
	Agua	Bebida		Agua	Bebida
\bar{X}	4.43	5.35	\bar{X}	4.43	5.36
σ	0.0877	0.0748	σ	0.0877	0.0816
C.V. (%)	1.9775	1.3990	C.V. (%)	1.9775	1.5237
ρ	997.08	1045.00	ρ	997.08	1053.00
η (Pa s)	0.0009361	1.2641	η (Pa s)	0.0009361	1.2767

APÉNDICE 2. Análisis de varianza (ANOVA) de dos vías

Índice de refracción (nD).

Concentrado de mandarina					
Origen	DF	SS	MS	F	P
Temperatura	2	0.05378	0.02689	1.38	0.430
Tiempo	4	7.24311	1.81078	92.60	0.000
Interacción	8	0.05956	0.00744	0.38	0.951
Error	30	0.58667	0.01956		
Total	44	7.94311			

Concentrado de tamarindo					
Origen	DF	SS	MS	F	P
Temperatura	2	0.5853	0.2927	14.32	0.361
Tiempo	4	41.1231	10.2808	502.86	0.123
Interacción	8	0.5702	0.0713	3.49	0.442
Error	30	0.6133	0.0204		
Total	44	42.8920			

Bebida carbonatada de mandarina					
Origen	DF	SS	MS	F	P
Temperatura	2	0.001333	0.0006667	0.27	0.763
Tiempo	4	0.034222	0.0085556	3.50	0.018
Interacción	8	0.003111	0.0003889	0.16	0.342
Error	30	0.073333	0.0024444		
Total	44	0.112000			

Bebida carbonatada de tamarindo					
Origen	DF	SS	MS	F	P
Temperatura	2	0.007111	0.0035556	0.28	0.714
Tiempo	4	0.085333	0.0213333	1.68	0.272
Interacción	8	0.010667	0.0013333	0.11	0.997
Error	30	0.380000	0.0126667		
Total	44	0.483111			

Luminosidad (L).

Concentrado de mandarina					
Origen	DF	SS	MS	F	P
Temperatura	2	3.17305	1.58653	88.10	0.000
Tiempo	4	0.96630	0.24157	13.41	0.000
Interacción	8	0.82970	0.10371	5.76	0.000
Error	30	0.54027	0.01801		
Total	44	5.50932			

Concentrado de tamarindo					
Origen	DF	SS	MS	F	P
Temperatura	2	0.20535	0.102676	14.43	0.000
Tiempo	4	0.12412	0.031031	4.36	0.007
Interacción	8	0.48325	0.060406	8.49	0.000
Error	30	0.21340	0.007113		
Total	44	1.02612			

Bebida carbonatada de mandarina					
Origen	DF	SS	MS	F	P
Temperatura	2	5.890	2.9451	15.05	0.000
Tiempo	4	129.728	32.4321	165.72	0.000
Interacción	8	25.745	3.2181	16.44	0.000
Error	30	5.871	0.1957		
Total	44	167.234			

Bebida carbonatada de tamarindo					
Origen	DF	SS	MS	F	P
Temperatura	2	7.694	3.8469	21.16	0.000
Tiempo	4	52.088	13.0219	71.62	0.000
Interacción	8	58.169	7.2711	39.99	0.000
Error	30	5.454	0.1818		
Total	44	123.404			

Cromaticidad rojo-verde (a).

Concentrado de mandarina					
Origen	DF	SS	MS	F	P
Temperatura	2	0.56905	0.284527	3.14	0.058
Tiempo	4	0.16172	0.040431	0.45	0.774
Interacción	8	1.29250	0.161563	1.78	0.120
Error	30	2.71920	0.090640		
Total	44	4.74248			

Concentrado de tamarindo					
Origen	DF	SS	MS	F	P
Temperatura	2	1.40005	0.700027	41.44	0.000
Tiempo	4	0.06599	0.016497	0.98	0.435
Interacción	8	0.25768	0.032210	1.91	0.096
Error	30	0.50680	0.016893		
Total	44	2.23052			

Bebida carbonatada de mandarina					
Origen	DF	SS	MS	F	P
Temperatura	2	0.9569	0.47847	34.17	0.000
Tiempo	4	13.2586	3.31464	236.72	0.000
Interacción	8	15.3863	1.92329	137.36	0.000
Error	30	0.4201	0.01400		
Total	44	30.0219			

Bebida carbonatada de tamarindo					
Origen	DF	SS	MS	F	P
Temperatura	2	7.8505	3.92523	96.44	0.000
Tiempo	4	29.3684	7.34210	180.40	0.000
Interacción	8	38.6693	4.83366	118.76	0.000
Error	30	1.2210	0.04070		
Total	44	77.109			

Cromaticidad amarillo-azul (b).

Concentrado de mandarina					
Origen	DF	SS	MS	F	P
Temperatura	2	9.1699	4.58497	71.12	0.000
Tiempo	4	5.0945	1.27361	19.75	0.000
Interacción	8	2.4750	0.30937	4.80	0.001
Error	30	1.9341	0.06447		
Total	44	18.6735			

Concentrado de tamarindo					
Origen	DF	SS	MS	F	P
Temperatura	2	0.38046	0.190229	13.19	0.000
Tiempo	4	0.36664	0.091659	6.35	0.001
Interacción	8	0.24623	0.030779	2.13	0.064
Error	30	0.43273	0.014424		
Total	44	1.42606			

Bebida carbonatada de mandarina					
Origen	DF	SS	MS	F	P
Temperatura	2	21.163	10.5814	1.01	0.377
Tiempo	4	321.260	80.3151	7.65	0.000
Interacción	8	100.182	12.5227	1.19	0.336
Error	30	314.925	10.4975		
Total	44	757.530			

Bebida carbonatada de tamarindo					
Origen	DF	SS	MS	F	P
Temperatura	2	78.25	39.1264	1.87	0.171
Tiempo	4	202.31	50.5766	2.42	0.070
Interacción	8	196.90	24.6126	1.18	0.344
Error	30	626.78	20.8928		
Total	44	1104.24			

Densidad relativa.

Concentrado de mandarina					
Origen	DF	SS	MS	F	P
Temperatura	2	0.0000004	0.0000002	0.69	0.508
Tiempo	4	0.0000059	0.0000015	5.12	0.003
Interacción	8	0.0000138	0.0000017	5.98	0.000
Error	30	0.0000087	0.0000003		
Total	44	0.0000288			

Concentrado de tamarindo					
Origen	DF	SS	MS	F	P
Temperatura	2	0.0000105	0.0000053	9.87	0.001
Tiempo	4	0.0000544	0.0000136	25.48	0.000
Interacción	8	0.0000499	0.0000062	11.70	0.000
Error	30	0.0000160	0.0000005		
Total	44	0.0001308			

Bebida carbonatada de mandarina					
Origen	DF	SS	MS	F	P
Temperatura	2	0.0000172	0.0000086	19.40	0.000
Tiempo	4	0.0000336	0.0000084	18.93	0.000
Interacción	8	0.0000054	0.0000007	1.53	0.190
Error	30	0.0000133	0.0000004		
Total	44	0.0000696			

Bebida carbonatada de tamarindo					
Origen	DF	SS	MS	F	P
Temperatura	2	0.0000263	0.0000132	59.20	0.000
Tiempo	4	0.0000374	0.0000094	42.10	0.000
Interacción	8	0.0000286	0.0000036	16.07	0.000
Error	30	0.0000067	0.0000002		
Total	44	0.0000990			

pH.

Concentrado de mandarina					
Origen	DF	SS	MS	F	P
Temperatura	2	0.022631	0.011316	34.64	0.000
Tiempo	4	0.408342	0.102086	312.51	0.000
Interacción	8	0.077058	0.009632	29.49	0.000
Error	30	0.009800	0.000327		
Total	44	0.517831			

Concentrado de tamarindo					
Origen	DF	SS	MS	F	P
Temperatura	2	0.008013	0.004007	38.36	0.000
Tiempo	4	0.515236	0.128809	1233.28	0.000
Interacción	8	0.076498	0.009562	91.55	0.000
Error	30	0.003133	0.000104		
Total	44	0.602880			

Bebida carbonatada de mandarina					
Origen	DF	SS	MS	F	P
Temperatura	2	0.040782	0.0203908	34.73	0.000
Tiempo	4	0.156863	0.0392159	66.78	0.000
Interacción	8	0.047442	0.0059302	10.10	0.000
Error	30	0.017616	0.0005872		
Total	44	0.262703			

Bebida carbonatada de tamarindo					
Origen	DF	SS	MS	F	P
Temperatura	2	0.033231	0.0166156	155.77	0.000
Tiempo	4	0.161524	0.0403811	378.57	0.000
Interacción	8	0.051502	0.0064378	60.35	0.000
Error	30	0.003200	0.0001067		
Total	44	0.249458			

Potencial Z (mV).

Concentrado de mandarina					
Origen	DF	SS	MS	F	P
Temperatura	2	9.699	4.8496	2.95	0.067
Semanas	4	50.695	12.6737	7.72	0.000
Interacción	8	39.839	4.9798	3.03	0.013
Error	30	49.260	1.6420		
Total	44	149.492			

Concentrado de tamarindo					
Origen	DF	SS	MS	F	P
Temperatura	2	3.634	1.81689	3.09	0.060
Semanas	4	30.878	7.71944	13.13	0.000
Interacción	8	62.893	7.86161	13.37	0.000
Error	30	17.640	0.58800		
Total	44	115.044			

Bebida carbonatada de mandarina					
Origen	DF	SS	MS	F	P
Temperatura	2	3.2013	1.60067	2.00	0.153
Semanas	4	32.6409	8.16022	10.19	0.000
Interacción	8	24.2164	3.02706	3.78	0.004
Error	30	24.0333	0.80111		
Total	44	84.0920			

Bebida carbonatada de tamarindo					
Origen	DF	SS	MS	F	P
Temperatura	2	7.3013	3.65067	5.48	0.009
Semanas	4	13.9253	3.48133	5.22	0.003
Interacción	8	19.0120	2.37650	3.57	0.005
Error	30	19.9933	0.66644		
Total	44	60.2320			

Tamaño de partícula (nm).

Concentrado de mandarina					
Origen	DF	SS	MS	F	P
Temperatura	2	22950.2	11475.1	18.58	0.000
Semanas	4	11296.0	2824.0	4.57	0.005
Interacción	8	15646.8	1955.8	3.17	0.010
Error	30	18526.8	617.6		
Total	44	68419.8			

Concentrado de tamarindo					
Origen	DF	SS	MS	F	P
Temperatura	2	20852.8	10426.4	94.89	0.000
Semanas	4	4977.0	1244.3	11.32	0.000
Interacción	8	2199.4	274.9	2.50	0.033
Error	30	3296.3	109.9		
Total	44	31325.5			

Bebida carbonatada de mandarina					
Origen	DF	SS	MS	F	P
Temperatura	2	1955.4	977.7	1.68	0.204
Semanas	4	40228.0	10057.0	17.27	0.000
Interacción	8	15631.0	1953.9	3.35	0.007
Error	30	17473.9	582.5		
Total	44	75288.3			

Bebida carbonatada de tamarindo					
Origen	DF	SS	MS	F	P
Temperatura	2	1391.6	695.81	4.52	0.019
Semanas	4	7184.6	1796.15	11.67	0.000
Interacción	8	8579.1	1072.39	6.97	0.000
Error	30	4615.5	153.85		
Total	44	21770.9			

Viscosidad (Pa·s).

Concentrado de mandarina					
Origen	DF	SS	MS	F	P
Temperatura	2	0.0018849	0.0009424	1.09	0.361
Semanas	4	0.0034315	0.0008579	0.99	0.441
Interacción	8	0.0073891	0.0009236	1.07	0.433
Error	15	0.0129615	0.0008641		
Total	29	0.0256670			

Concentrado de tamarindo					
Origen	DF	SS	MS	F	P
Temperatura	2	0.017691	0.0088457	1.12	0.352
Semanas	4	0.031719	0.0079296	1.00	0.437
Interacción	8	0.062628	0.0078285	0.99	0.481
Error	15	0.118590	0.0079060		
Total	29	0.230628			

Viscosidad relativa

Bebida carbonatada de mandarina					
Origen	DF	SS	MS	F	P
Temperatura	2	0.0005357	0.0002678	5.66	0.015
Semanas	4	0.0027444	0.0006861	14.49	0.000
Interacción	8	0.0010755	0.0001344	2.84	0.039
Error	15	0.0007104	0.0000474		
Total	29	0.0050660			

Bebida carbonatada de tamarindo					
Origen	DF	SS	MS	F	P
Temperatura	2	0.0016621	0.0008311	1.09	0.004
Semanas	4	0.0012342	0.0003085	0.99	0.055
Interacción	8	0.0063318	0.0007915	1.07	0.000
Error	15	0.0015675	0.0001045		
Total	29	0.0107956			

Turbidez (NTU).

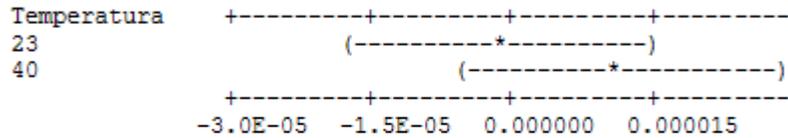
Bebida carbonatada de mandarina					
Origen	DF	SS	MS	F	P
Temperatura	2	523.3	261.7	619.7	0.000
Semanas	4	246.6	61.6	146.0	0.000
Interacción	8	194.2	24.3	57.5	0.000
Error	30	12.7	0.422		
Total	44	976.8			

Bebida carbonatada de tamarindo					
Origen	DF	SS	MS	F	P
Temperatura	2	4.0	2.02	69.3	0.000
Semanas	4	17.2	4.3	147.7	0.000
Interacción	8	22.5	2.82	96.8	0.000
Error	30	0.87	0.029		
Total	44	44.6			

APÉNDICE 3. Prueba de Tukey para las velocidades de migración (mm/min)

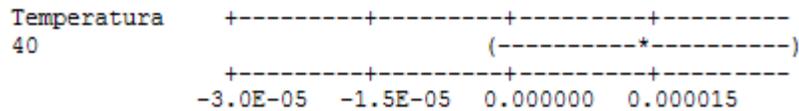
Jarabe concentrado de mandarina, Temperatura = 5°C:

Temperatura	Menor	Central	Superior
23	-1.87406E-05	-2.06646E-06	0.000014608
40	-5.56545E-06	0.000011109	0.000027783



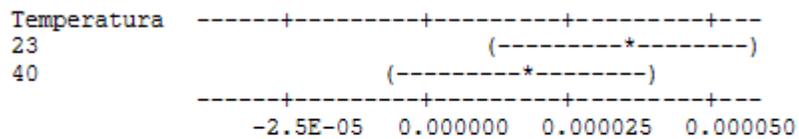
Jarabe concentrado de mandarina, Temperatura = 23°C:

Temperatura	Menor	Central	Superior
40	-3.49899E-06	0.000013175	0.000029849



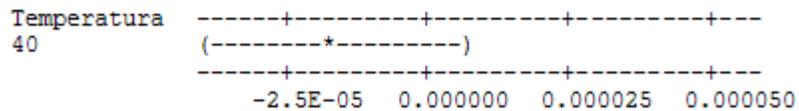
Jarabe concentrado de tamarindo, Temperatura = 5°C:

Temperatura	Menor	Central	Superior
23	0.000010099	0.000033769	0.000057439
40	-6.34298E-06	0.000017327	0.000040997



Jarabe concentrado de tamarindo, Temperatura = 23°C:

Temperatura	Menor	Central	Superior
40	-4.01117E-05	-1.64419E-05	0.000007228



Bebida carbonatada de mandarina, Temperatura = 5°C:

Temperatura	Menor	Central	Superior
23	-0.00057004	-0.00020095	0.00016814
40	-0.00060247	-0.00023338	0.00013571

Temperatura	+-----+-----+-----+-----+
23	(-----*-----)
40	(-----*-----)
	+-----+-----+-----+-----+
	-0.00060 -0.00030 0.00000 0.00030

Bebida carbonatada de mandarina, Temperatura = 23°C:

Temperatura	Menor	Central	Superior
40	-0.00040152	-0.00003243	0.00033666

Temperatura	+-----+-----+-----+-----+
40	(-----*-----)
	+-----+-----+-----+-----+
	-0.00060 -0.00030 0.00000 0.00030

Bebida carbonatada de tamarindo, Temperatura = 5°C:

Temperatura	Menor	Central	Superior
23	-1.22403E-05	0.000004374	0.000020989
40	0.000026343	0.000042958	0.000059572

Temperatura	-----+-----+-----+-----+
23	(----*----)
40	(----*----)
	-----+-----+-----+-----+
	-3.0E-05 0.000000 0.000030 0.000060

Bebida carbonatada de tamarindo, Temperatura = 23°C:

Temperatura	Menor	Central	Superior
40	0.000021969	0.000038583	0.000055198

Temperatura	-----+-----+-----+-----+
40	(-----*-----)
	-----+-----+-----+-----+
	-3.0E-05 0.000000 0.000030 0.000060