



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO Y RELACIÓN DE LOS PARÁMETROS
FISICOQUÍMICOS DE BEBIDA CARBONATADA EN PLANTA EMBOTELLADORA DE
BEBIDAS**

Anna Isabel López Cordón

Asesorado por Inga. María Alejandra Estrada Santizo

Guatemala, octubre de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO Y RELACIÓN DE LOS PARÁMETROS
FISICOQUÍMICOS DE BEBIDA CARBONATADA EN PLANTA EMBOTELLADORA DE
BEBIDAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ANNA ISABEL LÓPEZ CORDÓN

ASESORADO POR LA INGA. MARÍA ALEJANDRA ESTRADA SANTIZO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Adolfo Narciso Gramajo Antonio
EXAMINADOR	Ing. Gerardo Ordoñez
EXAMINADORA	Inga. Ana Gloria Montes Peña
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO Y RELACIÓN DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE BEBIDA CARBONATADA EN PLANTA EMBOTELLADORA DE BEBIDAS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha febrero de 2020.



Anna Isabel López Cordón

Ing. Williams Álvarez
Director de Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
U.S.A.C
Presente

Estimado Ingeniero Williams Álvarez:

Por este medio, hago constar que yo, la Ingeniera María Alejandra Estrada Santizo, con colegiado número dos mil setenta y cinco (2275), doy como visto bueno el desarrollo del trabajo de investigación final de graduación del alumno Anna Isabel López Cordón, identificado con CUI 2973549570101, alumno a quien he podido apoyar como asesor de su protocolo de tesis.

Dando por concluido el desarrollo de la misma investigación y planteando las soluciones inmediatas y efectivas para el beneficio de la institución donde se desarrolló la misma.

Doy por concluido de forma eficiente ante mi persona el desarrollo de su trabajo de investigación, como tema: "DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO Y RELACIÓN DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE BEBIDA CARBONATADA EN PLANTA EMBOTELLADORA DE BEBIDAS".

Línea de investigación: Informe final

Área: Química

Aprovecho la oportunidad para expresarle mi consideración.

Atentamente.

INGA. MARIA ALEJANDRA ESTRADA SANTIZO
COLEGIADO No. 2,275



Inga. María Alejandra Estrada Santizo

Colegiado 2275



Guatemala, 25 de mayo de 2022.
Ref. EIQ.TG-IF.013.2022.

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el registro de evaluación, correlativo **082-2019**, le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL

Solicitado por el estudiante universitario: **Anna Isabel López Córdón**.
Identificado con número de carné: **2973549570101**.
Identificado con registro académico: **201403857**.
Previo a optar al título de la carrera: **Ingeniería Química**.
En la modalidad: **Informe Final, Seminario de Investigación**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

**DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO Y RELACIÓN DE LOS
PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DE BEBIDA CARBONATADA EN PLANTA
EMBOTELLADORA DE BEBIDAS**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por:

María Alejandra Estrada Santizo, profesional de la Ingeniería Química

Habiendo encontrado el referido trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Víctor Manuel Monzón Valdez
profesional de la Ingeniería Química
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación




Escaneado con CamScanner

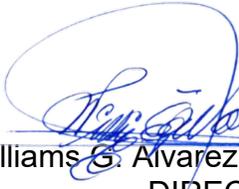
C.c.: archivo



LNG.DIRECTOR.154.EIQ.2022

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador de Área y aprobación del área de lingüística del trabajo de graduación titulado: **DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO Y RELACIÓN DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE BEBIDA CARBONATADA EN PLANTA EMBOTELLADORA DE BEBIDAS**, presentado por: **Anna Isabel López Cordón**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería.

“Id y Enseñad a Todos”


Ing. Williams G. Alvarez M.Sc., M.U.I.E.
DIRECCIÓN
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, julio de 2022.

LNG.DECANATO.OI.523.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO Y RELACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DE BEBIDA CARBONATADA EN PLANTA EMBOTELLADORA DE BEBIDAS**, presentado por: **Anna Isabel López Cerdón**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana



Guatemala, octubre de 2022

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Que en todo momento está conmigo, guiándome y ayudándome a aprender de mis errores, levantarme y seguir intentando.

Mi Madre

Rosanda López, porque me enseñaste a valerme por mí misma y a esforzarme por alcanzar mis metas. Tu esfuerzo y dedicación han sido mi ejemplo.

Mi Tío

Nery López, por tener un interés tan genuino en mí. Aprecio mucho el esfuerzo que hiciste por ayudarme a salir adelante con este trabajo de graduación.

Mis amigos

Maribel Sandoval, Melannie Chávez, Fernando Alvarado, Gerardo Baldizon, Javier Ayala, Juan Pablo Reyes, gracias por las experiencias y las risas a lo largo de la carrera. Vivimos muchos buenos y malos momentos, gracias por su apoyo incondicional.

Mi asesora

Alejandra Estrada, gracias por tu apoyo y tu guía en este proceso. Eres un ejemplo de profesionalismo y ética.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTADO DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
HIPÓTESIS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. MARCO CONCEPTUAL.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Justificación.....	2
1.3. Determinación del problema.....	3
1.3.1. Definición.....	3
1.3.2. Delimitación.....	4
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Bebidas Carbonatadas.....	5
2.1.1. Historia de las bebidas carbonatadas.....	6
2.1.2. Bebidas no carbonatadas.....	7
2.1.3. Normativa de bebidas carbonatadas y no carbonatadas.....	8
2.2. Proceso de fabricación.....	8
2.2.1. Elaboración de jarabe terminado.....	9
2.2.2. Carbonatación.....	9
2.2.3. Lavado de botellas y envasado.....	9

2.2.4.	Análisis de contaminantes.....	10
2.2.5.	Materias primas.....	10
2.2.6.	Aseguramiento de calidad del producto	11
2.2.7.	Edulcorantes	11
2.2.8.	Buenas prácticas de manejo de alimentos	11
2.2.9.	Medidas higiénicas para manipulación de alimentos.....	12
2.3.	Aseguramiento de calidad de las bebidas.....	14
2.3.1.	Descripción.....	14
2.3.2.	Análisis de grados Brix.....	15
2.3.3.	Titulación ácido-base	16
2.3.4.	Determinación acidez titulable.....	17
2.3.5.	Determinación de pH.....	18
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	21
3.1.	Variables	21
3.2.	Delimitación de campo de estudio	22
3.3.	Recursos humanos disponibles	22
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	22
3.4.1.	Materiales y suministros.....	23
3.4.2.	Mobiliario y equipo	23
3.5.	Técnica cuantativa	24
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	25
3.6.1.	Preparación Bebida Patrón	25
3.6.2.	Desgasificación de Bebidas	25
3.6.3.	Análisis Grados Brix por Refractómetro	26
3.6.4.	Análisis de Acidez Titulable.....	26
3.7.	Recolección y ordenamiento de la información.....	27
3.8.	Análisis estadístico.....	28

3.8.1.	Diseño experimental	29
3.8.2.	Medidas de variación	29
3.8.2.1.	Desviación estándar	29
3.8.2.2.	Varianza	29
3.8.2.3.	Análisis de varianza de un factor	30
3.9.	Plan de análisis de los resultados	30
3.9.1.	Métodos y modelos para datos según tipo de variable	30
3.9.1.1.	Distribución F de Fisher	31
3.9.1.2.	Coefficiente de Pearson	31
3.9.1.3.	Programas a utilizar para análisis de datos	31
4.	RESULTADOS	33
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	37
	CONCLUSIONES	41
	RECOMENDACIONES	43
	BIBLIOGRAFÍA.....	45
	APÉNDICES	51

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Relación entre acidez titulable y los grados brix para bebida carbonatada 33
2. Relación entre el ph inicial y los grados brix de bebida carbonatada ... 34
3. Relación entre la acidez titulable y el ph inicial para bebida carbonatada 35

TABLAS

- I. Definición operacional de las variables para el análisis de parámetros fisicoquímicos de bebidas carbonatadas y no carbonatadas 22
- II. Nombre de reactivos a utilizar 23
- III. Nombre del equipo, cristalería y accesorios a utilizar 23
- IV. Datos para la caracterización de los parámetros fisicoquímicos analizados en bebidas carbonatadas 27
- V. Análisis de correlación lineal entre las relaciones establecidas 35

LISTADO DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
r	Coeficiente de Pearson
σ	Desviación estándar de la media
°Bx	Grados Brix (concentración de sólidos solubles)
°C	Grados Celsius
N	Normalidad (nEQ/L)
n	Número de elementos de una muestra
%	Porcentaje
S	Varianza

GLOSARIO

Aditivo	Cualquier sustancia que no se consumió normalmente como alimento por sí mismo ni se usa normalmente como ingrediente típico en alimentos, aunque tenga o no valor nutritivo.
Análisis	Estudio, mediante técnicas informáticas, de los límites, características, y posibles soluciones de un problema al que se aplica un tratamiento por ordenar.
Calidad	Adecuación de un producto o servicio a las características especificadas.
Concentración	Magnitud que expresa la cantidad de una sustancia por unidad de volumen.
Conservante	Productos que evitan el desarrollo de microorganismos, prolongando la vida útil de las materias primas y alimentos elaborados.
Dióxido de carbono	Gas más pesado que el aire, formado por la combinación de un átomo de carbono y dos de oxígeno, que se produce en las combustiones y que es uno de los principales causantes del efecto invernadero.

Fisicoquímico	Es la parte de las ciencias naturales que estudia los fenómenos comunes a la física y a la química.
Formulación	Acción y efecto de formular y representar mediante símbolos químicos la composición de una sustancia o bien de las sustancias que intervienen en una reacción.
Hidrolización	Proceso utilizado en la industria alimentaria con la finalidad de subdividir algunas de las moléculas que componen los alimentos. Una vez que el alimento a procesar experimenta la hidrolización, es llamado alimento hidrolizado.
Inocuidad	Un alimento se considera inocuo cuando se han controlado y reducido los riesgos de contaminación física, química y biológica con el objetivo de no causar ningún daño al consumidor.
Insumo	Conjunto de elementos que toman parte en la producción de otros bienes.
Jarabe	Bebida que se hace cociendo azúcar en agua hasta que se espesa, añadiéndole zumos refrescantes o sustancias medicinales.
Materia Prima	Materia que una industria o fabricación necesita para transformarla en un producto.

Parámetro	Dato o factor que se toma como necesario para analizar o valorar una situación.
pH	Índice que expresa el grado de acidez o alcalinidad de una disolución.
Proceso	Conjunto de fases sucesivas de un fenómeno natural o de una operación artificial.
Temperatura	Es la magnitud física que expresa el grado o nivel de calor de los cuerpos o del ambiente.

RESUMEN

La propuesta de investigación tuvo como objetivo determinar el comportamiento y la relación que existe entre los parámetros fisicoquímicos de una bebida carbonatada propuesta por la empresa embotelladora de bebidas. Con lo cual se generó gráficamente un método estadístico para facilitar la comparación de resultados y solución de problemas, y así evaluar la necesidad de implementar cambios en los procesos.

Para ello se acompañó cinco formulaciones del jarabe a utilizar para la preparación de la bebida propuesta, corroborando la correcta secuencia del procedimiento establecido por la empresa. Al finalizar el acompañamiento se tomó una muestra de jarabe, con la cual se prepararon seis muestras diferentes, variando sus grados Brix dentro del rango de aceptabilidad, con un refractómetro, y midiendo su pH y su acidez titulable a cada variación, con un titulador.

Con el estudio se obtuvo la correlación y regresión entre variables. Se determinó que a medida que la acidez titulable aumenta, los grados Brix también tienden a aumentar; se determinó que la relación entre el pH inicial y los grados Brix no es significativa; y se determinó que no hay relación directa entre la acidez titulable y el pH inicial; para la bebida carbonatada.

Con base en los análisis estadísticos, se determinó que existe correlación lineal entre la acidez titulable y la concentración de sólidos solubles, así mismo se determinó que no existe correlación lineal entre el pH inicial y la concentración de sólidos solubles, ni entre el pH inicial y la acidez titulable, con un nivel de confianza del 95 %. Prediciendo posibles comportamientos al realizar

variaciones, se facilita la toma de decisiones y así garantiza la continuidad del proceso sin ningún inconveniente que pueda provocar pérdidas mayores a la empresa.

OBJETIVOS

General

Determinar el comportamiento de la acidez titulable y el pH inicial para bebida carbonatada en función de la concentración de sólidos solubles (°Brix), en planta embotelladora de bebidas, con procedimiento estandarizado.

Específicos

1. Establecer la relación entre acidez titulable y los grados Brix para bebida carbonatada.
2. Determinar la relación entre el pH inicial y los grados Brix de bebida carbonatada.
3. Establecer la relación entre la acidez titulable y el pH inicial para bebida carbonatada.
4. Correlacionar cada una de las relaciones encontradas por medio del coeficiente de Pearson

HIPÓTESIS

Hipótesis de la investigación

Los parámetros fisicoquímicos, acidez titulable y pH inicial, de la bebida carbonatada, se ven influenciados por la concentración de sólidos solubles (°Brix).

Hipótesis estadística

Hipótesis nula:

- $H_{n,1}$: No existe una diferencia significativa en el comportamiento de la acidez titulable en función de la concentración de sólidos solubles (°Brix). $F \leq F_{crítica}$
- $H_{n,2}$: No existe una diferencia significativa en el comportamiento del pH inicial en función de la concentración de sólidos solubles (°Brix). $F \leq F_{crítica}$
- $H_{n,3}$: No existe una diferencia significativa en el comportamiento de la acidez titulable en función del pH inicial. $F \leq F_{crítica}$
- $H_{n,4}$: No existe correlación lineal entre la acidez titulable y la concentración de sólidos solubles (°Brix). $r \leq r_{crítica}$
- $H_{n,5}$: No existe correlación lineal entre el pH inicial y la concentración de sólidos solubles (°Brix). $r \leq r_{crítica}$
- $H_{n,6}$: No existe correlación lineal entre la acidez titulable y el pH inicial. $r \leq r_{crítica}$

Hipótesis alternativa:

- $H_{a,1}$: Existe una diferencia significativa en el comportamiento de la acidez titulable en función de la concentración de sólidos solubles (°Brix). $F > F_{crítica}$
- $H_{a,2}$: Existe una diferencia significativa en el comportamiento del pH inicial en función de la concentración de sólidos solubles (°Brix). $F > F_{crítica}$
- $H_{a,3}$: Existe una diferencia significativa en el comportamiento de la acidez titulable en función del pH inicial. $F > F_{crítica}$
- $H_{a,4}$: Existe correlación lineal entre la acidez titulable y la concentración de sólidos solubles (°Brix). $r > r_{crítica}$
- $H_{a,5}$: Existe correlación lineal entre el pH inicial y la concentración de sólidos solubles (°Brix). $r > r_{crítica}$
- $H_{a,6}$: Existe correlación lineal entre la acidez titulable y el pH inicial. $r > r_{crítica}$

INTRODUCCIÓN

Tanto los hábitos alimenticios de la sociedad guatemalteca, como los productos ofrecidos por la industria alimentaria han ido cambiando a través del tiempo en función de las tecnologías innovadoras de procesamiento. La evaluación de los parámetros fisicoquímicos es un método fundamental para garantizar la calidad de los productos alimenticios, como lo son en este caso las bebidas carbonatadas como no carbonatadas. La manera más sencilla de explicar, controlar y predecir el comportamiento de los procesos, entre estas variables, es por medio de la correlación entre los mismos.¹

Los análisis fisicoquímicos son esenciales para velar por la calidad de los productos, más en el caso de las bebidas carbonatadas y no carbonatadas las cuales son productos alimenticios. Según estudios, el consumo desmedido de estos productos causa enfermedades en niños y jóvenes, siendo los consumidores principales. Por ello, una de las medidas que están tomando las embotelladoras de bebidas es la disminución de azúcares y aditivos, por medio de estudios fisicoquímicos.

Actualmente existe mucha exigencia por parte de los consumidores de productos alimenticios masivos, como es el caso, por lo cual las empresas embotelladoras de bebidas buscan poco a poco incrementar sus portafolios introduciendo productos innovadores y agradables para los clientes. Para ello es importante controlar la calidad de estos productos, con lo cual se ve la necesidad de implementar métodos que faciliten el análisis y la toma de decisiones.

¹ GEA, María. *Investigación Didáctica en correlación y regresión*. <https://www.ugr.es/~batanero/documentos/Investigacion.pdf>. Consulta: 17 de enero de 2019.

La presente propuesta de investigación tiene como objetivo el determinar la relación que existe entre los parámetros fisicoquímicos de las bebidas propuestas, y así poder predecir los comportamientos al realizar variaciones en las fórmulas, y adicionalmente tomar decisiones pertinentes para garantizar la continuidad de los procesos, y evitar inconvenientes que generen pérdidas, siempre garantizando la calidad del producto.

1. MARCO CONCEPTUAL

1.1. Antecedentes

Debido a la amplia demanda en el mercado de bebidas carbonatadas y no carbonatadas, y a las nuevas exigencias de los consumidores, profesionales del área de ingeniería han dedicado tiempo a investigar, desarrollar y mejorar los análisis fisicoquímicos a las propiedades de las diferentes bebidas, para asegurar la calidad y la competitividad en el mercado.

Se ha mencionado acerca de los tipos de análisis fisicoquímicos fundamentales que son indispensables para garantizar la calidad de las bebidas carbonatadas. Para garantizar esto es necesario la implementación de un laboratorio de análisis fisicoquímicos dentro de empresas dedicadas a la fabricación de bebidas. En la investigación: *Descripción de análisis en aseguramiento de calidad para bebidas carbonatadas*. Se planteaba como problemática la implementación de un laboratorio con las características mencionadas, como un estudio de prefactibilidad. Uno de los aspectos principales que tomó en cuenta fue el estudio financiero del proyecto, ya que con base a una relación costo/beneficio, se podrían tomar decisiones en cuanto a implementar o no el proyecto. Y también menciona las normas que rigen implementar un proyecto de esta magnitud.²

² MALDONADO, Eddie. *Descripción de análisis en aseguramiento de calidad para bebidas carbonatadas*. <https://studylib.es/doc/7663056/ingenier%C3%ADa-en-alimentos-tesis---biblioteca-central>. Consulta: 17 de enero de 2019.

Existen diversos requisitos fisicoquímicos para las bebidas y las materias primas empleadas en el proceso de producción de las mismas. En el trabajo de investigación: *Requisitos de Parámetros Fisicoquímicos*. Se tenía como principal objetivo realizar una determinación de parámetros fisicoquímicos en las bebidas carbonadas que eran expendidas de las máquinas en un centro comercial. Se buscaba verificar las condiciones sanitarias y ambientales en las que se encontraban los equipos, analizar la presencia de microorganismos de diferentes tipos y comparar sus resultados con base a la Norma Técnica Obligatoria (NTON 03 030-00), específica para bebidas carbonatadas.³

El proceso de carbonatación de las bebidas, la aplicación que el mismo tiene para este producto, los principales ingredientes empleados dentro del proceso productivo son de los principales temas que se mencionan en la investigación: *Elaboración de una bebida carbonatada de algarrobina*. Adicionalmente, se muestran los parámetros fisicoquímicos exigidos dentro de la norma NTP 214.001, de los análisis necesarios para las bebidas carbonatadas. Fue un proceso muy completo ya que involucró pruebas sensoriales del producto final, con lo cual pudo concluir con base a las opiniones de los consumidores finales.⁴

1.2. Justificación

El motivo principal de llevar a cabo el estudio es determinar el comportamiento y relación de los parámetros fisicoquímicos para una bebida carbonatada. Esto tiene como fin, la contribución a la verificación de la correcta formulación de las diferentes bebidas y reducir las variantes que se presentan al

³BLANCO, Víctor. *Requisitos de Parámetros Fisicoquímicos*. <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/4716/1/16103387.pdf>. Consulta: 14 de abril de 2021.

⁴MARTICORENA, Luis. *Elaboración de una bebida carbonatada de algarrobina*. <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/2742>. Consulta: 14 de abril de 2021.

realizar los análisis en el laboratorio de aseguramiento de calidad, y en líneas de producción, y de esta manera asegurar la calidad de los productos.

El encontrar una relación entre parámetros fisicoquímicos se justifica en la mejora de los parámetros de liberación de las bebidas, y así contribuir a la calidad del mismo. Su importancia radica en la formulación del jarabe y manipulación de materia prima, debido a que todos sus parámetros se controlan mediante los análisis de los mismos, con los cuales se puede determinar fácilmente si el proceso se realizó de manera adecuada.

Además, la bebida propuesta para el proyecto es de mucha importancia para la producción. Según el Codex Alimentarius⁵ al ser un producto consumible, por lo general es perecedero, se requiere la incorporación de aditivos en su fórmula para su preservación, lo cual genera problemas en sus parámetros.

1.3. Determinación del problema

A continuación, se define la secuencia para la definición y delimitación del problema a solucionar.

1.3.1. Definición

El problema por solucionar es que los parámetros establecidos para cumplir con la calidad de la bebida carbonatada están representando variaciones en ciertos límites, lo cual genera diferencia de datos entre los análisis realizados en

⁵ Organización Mundial de la Salud. CODEX ALIMENTARIUS. http://www.fao.org/gsfaonline/docs/CXS_192s.pdf. Consulta: 14 de abril de 2021.

líneas de producción y los auditores encargados de asegurar la calidad del producto, y esto genera atrasos para la liberación del producto.

1.3.2. Delimitación

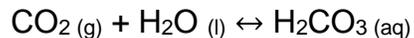
El problema se delimita a los parámetros fisicoquímicos de concentración de sólidos solubles ($^{\circ}\text{Bx}$), la acidez titulable y el pH de la bebida propuesta. Por ende, quien resultará beneficiado directamente es la embotelladora de bebidas, ya que obtendrán relaciones que permitan realizar ajustes en las diferentes formulaciones, e incluso en sus parámetros establecidos para garantizar la calidad de sus productos.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Bebidas Carbonatadas

Las bebidas carbonatadas, son bebidas que contienen dióxido de carbono (CO₂). Estas bebidas tienen a ser 90 % agua en su composición y hasta 99 % si son dietéticas.

Cuando el dióxido de carbono se mezcla con agua, forma ácido carbónico:



La presencia de dióxido de carbono es la que genera el hormigueo en la lengua. La cantidad máxima de dióxido de carbono que puede entrar al agua es de 8g/L a 20 °C⁶, el exceso de dióxido de carbono generalmente solo permanecerá en el agua cuando el agua esté bajo presión. Una vez que se libera la presión (es decir, se restablece la presión atmosférica normal), el dióxido de carbono comenzará a escapar. Una vez que se abre una botella o lata de una bebida carbonatada, esta irá perdiendo su carbonatación.

Las bebidas carbonatadas son esencialmente las bebidas que más se consumen a nivel mundial, principalmente por la población joven. Entre sus principales características se puede mencionar que son bebidas saborizadas, con cierto contenido de dióxido de carbono, nitrógeno y sin contenido de alcohol.

⁶ STEEN, David; ASHURST, Philip. *Carbonated Soft Drinks: Formulation and Manufacture*. p. 125.

De alguna manera estas bebidas representan problemas importantes para la salud, siendo el azúcar uno de los ingredientes que más afecta.⁷

2.1.1. Historia de las bebidas carbonatadas

En la década de 1840, se le comenzó a agregar saborizantes al agua carbonatada. A principios de la década de 1900, las bebidas carbonatadas se habían convertido en parte de las opciones de bebidas de un consumidor occidental promedio.

Originalmente, las bebidas carbonatadas se consideraban saludables o una forma de distribuir brebajes o destilaciones saludables de una manera que los hiciera agradables y convenientes para beber. Las bebidas carbonatadas se comercializaron como una ayuda digestiva ya en la década de 1950. Luego, llegaron a ser vistos como comida chatarra, ya que el término esencialmente significaba refresco.

En 2007, partes de la industria de las bebidas carbonatadas comenzaron a renombrarse como bebidas energéticas, y las bebidas naturales como el agua, los jugos y varios téis han sido carbonatados.

En la actualidad se cuenta con una alta capacidad de evolución y adaptación por parte de las empresas embotelladoras de bebidas carbonatadas, debido a que los niveles de producción alcanzan sin complicaciones la demanda de los consumidores y les es más fácil adaptarse a los cambios que se exigen con las nuevas tendencias.

⁷ MALDONADO, Eddie. *Descripción de análisis en aseguramiento de calidad para bebidas carbonatadas*. <https://studylib.es/doc/7663056/ingenier%C3%ADa-en-alimentos-tesis---biblioteca-central>. Consulta: 17 de enero de 2019.

Un aspecto importante que manejan las empresas de bebidas es la innovación y el dinamismo, ya que con base a sus departamentos de investigación y desarrollo han logrado crear nuevos productos de manera eficiente para el agrado a los consumidores. Cabe mencionar que la variedad es tan grande a nivel mundial a tal punto que, aunque nos encontremos en lugares remotos podemos encontrar un amplio portafolio de bebidas.⁸

2.1.2. Bebidas no carbonatadas

Las bebidas no carbonatadas representan un segmento importante del mercado de refrescos, pero presentan algunos problemas tecnológicos especiales tanto para el desarrollador como para el fabricante del producto. Los principales grupos de bebidas no carbonatadas son las bebidas diluibles, las bebidas preenvasadas listas para tomar (RTD, por sus siglas en inglés), los zumos de frutas y los néctares.

Hay algunos refrescos, de los cuales las bebidas con sabor a cola son las más destacadas, que no se basan principalmente en sabores de frutas. Muchos productos de RTD no carbonatados que no son zumos de frutas o néctares puros se envasan en envases de plástico preformados o de relleno, sellado, aunque un número cada vez mayor se envasan en botellas de PET.

Los jugos y néctares de frutas son altamente susceptibles a la fermentación y otras formas de deterioro microbiano y, con pocas excepciones, es esencial que se emplee alguna forma de pasteurización cuando se empaquetan estos productos. El llenado en caliente proporciona un medio

⁸ SÁNCHEZ, Genoveva. *Historia de los Refrescos*. <http://www.refrescantes.es/historia/>. Consulta: 14 de abril de 2021.

adicional para garantizar la integridad microbiana de los zumos y néctares de frutas.⁹

2.1.3. Normativa de bebidas carbonatadas y no carbonatadas

En Guatemala de acuerdo con el Reglamento Técnico Centroamericano (RTCA), en correspondencia con la producción de zumos, bebidas procesadas y néctares de frutas¹⁰, en el cual se habla sobre los factores esenciales de composición y calidad de estos productos. Dentro del aspecto de la composición podemos encontrar los ingredientes básicos empleados, aditivos alimentarios como antioxidantes y edulcorantes. En cuanto a las características de calidad se mencionan parámetros de pH, elementos histológicos, preservantes y colorantes. Y en cuanto a criterios microbiológicos el análisis de diferentes tipos de mohos y coliformes, además de aspectos relacionados a los contaminantes. Finalmente se mencionan los aspectos de etiquetado, envasado y métodos de análisis de los productos finales.

2.2. Proceso de fabricación

El proceso de fabricación de bebidas carbonatadas consta de diversos procesos de transformación de materias primas, procesos de control, estándares de calidad, entre otros, para alcanzar el producto terminado. A continuación, se describen las secuencias que llevan a producto final.

⁹ ASTIASARÁN, Iciar; MARTÍNEZ J. Alfredo. *Alimentos: composición y propiedades*. p.115.

¹⁰ Reglamento Técnico Centroamericano. *Alimentos y Bebidas Procesados. Néctares de Frutas. Especificaciones. RTCA 67.04.48:08*. p. 1.

2.2.1. Elaboración de jarabe terminado

El proceso inicia en esta parte, y consiste en mezclar hasta el punto de homogenización todos los ingredientes para la elaboración a excepción del agua carbonatada. El ingrediente principal es el jarabe simple, el cual es una mezcla certificada de agua con azúcar. Este proceso se lleva a cabo en tanques mezcladores y de almacenamiento que por lo general está en un área apartada de la planta de producción por riegos y otros aspectos de inocuidad.

El agente edulcorante que se emplea en estas bebidas es el azúcar de caña, previamente tratada y clasificada para este tipo de procesos. Otros ingredientes que se añaden en este proceso son los saborizantes, colorantes, acidificantes y preservantes.¹¹

2.2.2. Carbonatación

Este proceso se lleva a cabo a temperaturas aproximadas a los 4 °C, en el cual el agua disuelve un volumen 1 a 1 de dióxido de carbono, el cual es medido a presión atmosférica con relaciones volumétricas. Un factor importante en este proceso es la solubilidad, la cual se encuentra directamente relacionada con la presión y se reduce con aumentos de temperatura.¹²

2.2.3. Lavado de botellas y envasado

¹¹ SÁNCHEZ, Flor. *La importancia de la planeación en la auditoría fiscal de una industria de bebidas gaseosas*. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/03/03_3016.pdf. Consulta: 14 de abril de 2021.

¹² STEEN, David; ASHURST, Philip. *Carbonated Soft Drinks: Formulation and Manufacture*. p.125.

Inicialmente en el proceso de lavado de botellas también se procede a realizar una esterilización por medio de una solución alcalina caliente y un enjuague con agua potable. Esta solución alcalina está compuesta por soda cáustica como germicida, carbonato de sodio, fosfato trisódico y metasilicato sódico. En cuanto al embotellamiento incluye tres diferentes etapas en las cuales incluye el llenado, el taponamiento de las botellas y la medición de las cantidades exactas de jarabe y agua carbonatada, luego del taponamiento es necesario un proceso de mezclado, aunque no siempre es realizado el proceso. Los equipos llenadores se clasifican de alta y baja presión.¹³

2.2.4. Análisis de contaminantes

Dentro del proceso de fabricación de las bebidas existe mucha exposición a los contaminantes. Uno de los mayores que se encuentran son los metales ya que producen efectos notables en el sabor de las bebidas. Otros contaminantes se detectan por medio de olores extraños que proceden de la atmósfera o por falta de limpieza en la planta de producción que a veces es complicada de controlar por la ubicación de la misma en zonas industriales donde el aire se impregna de olores desagradables.

2.2.5. Materias primas

Según el Reglamento Técnico Centroamericano que aplica en Guatemala en correspondencia con la producción de zumos, bebidas procesadas y néctares de frutas¹⁴ son los ingredientes y aditivos empleados para la preparación de las bebidas con base a los requisitos establecidos en las disposiciones sanitarias mostradas en el Codex Alimentarius.

¹³ Reglamento Técnico Centroamericano. *Alimentos y Bebidas Procesados. Néctares de Frutas. Especificaciones. RTCA 67.04.48:08.* p. 3.

¹⁴ ASTIASARÁN, Icíar; MARTÍNEZ J. Alfredo. *Alimentos: composición y propiedades.* p. 110.

2.2.6. Aseguramiento de calidad del producto

Dentro de este proceso se realizan diversos análisis entre los cuales se encuentra el de densidad de jarabe que se expresa en grados Baumé y de la bebida terminada que se expresa en grados Brix, los cuales equivalen al porcentaje de sólidos disueltos. Para esos análisis se realiza una desgasificación y por medio de un refractómetro y un densímetro se realizan estos análisis. Otros análisis que se emplean son el de carbonatación por la presión de gas y temperatura. Finalmente es importante el análisis de inocuidad por medio de aspectos microbiológicos para completar el proceso.¹⁵

2.2.7. Edulcorantes

Se conocen como sustancias químicas cuya función es modificar el sabor y el pH de los productos.

- Ácido fosfórico: en cantidades no mayores a 700 mg/kg de producto terminado.
- Ácido Cítrico, láctico y málico en cantidades no mayores a 500 mg/kg de producto terminado.

2.2.8. Buenas prácticas de manejo de alimentos

Es importante mencionar que un manipulador de alimentos es toda persona que, por su actividad laboral, tiene contacto directo con los alimentos y el proceso que llevan a cabo. Algunas de las partes del proceso en donde se ven

¹⁵ Reglamento Técnico Centroamericano. *Alimentos y Bebidas Procesados. Néctares de Frutas. Especificaciones. RTCA 67.04.48:08.* p. 4.

involucrados es la transformación, elaboración, envasado, almacenamiento y distribución.¹⁶

Una de las principales funciones que un manipulador de alimentos tiene es velar por la higiene de los mismos durante todas estas etapas. Las dos formas por las cuales se pueden contaminar los alimentos es por medio de transmisión directa y transmisión indirecta. La transmisión directa se produce cuando los manipuladores portan los microorganismos y se los transfieren a los alimentos por medio de secreciones de boca y nariz, piel, heridas o por las manos después de haber hecho uso inadecuado de los servicios sanitarios. En cuanto a la transmisión indirecta esta se produce en los alimentos por medio de otros alimentos crudos, basura o a través de la ropa de trabajo si no está limpia.¹⁷

2.2.9. Medidas higiénicas para manipulación de alimentos

Para evitar estas contaminaciones existen medidas higiénicas que se tienen que considerar con base a dos pilares, el primero es la formación de higiene alimentaria y cumplir las normas de higiene con base a actitudes, hábitos y comportamiento. En el primer pilar se pretende que las empresas del sector alimentario deben garantizar, mediante las capacitaciones continuas que sus trabajadores desarrollen las correctas prácticas de manipulación, por lo general estas capacitaciones se imparten dentro de las instalaciones con autorización de un ente sanitario. En cuanto al segundo pilar se busca controlar la continuidad de este proceso tomando en cuenta que las manos son el transmisor principal de contaminación por lo cual se busca que los colaboradores se laven las manos

¹⁶ MALDONADO, Eddie. *Descripción de análisis en aseguramiento de calidad para bebidas carbonatadas*. <https://studylib.es/doc/7663056/ingenier%C3%ADa-en-alimentos-tesis---biblioteca-central>. Consulta: 17 de enero de 2019.

¹⁷ SÁNCHEZ, Flor. *La importancia de la planeación en la auditoría fiscal de una industria de bebidas gaseosas*. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/03/03_3016.pdf. Consulta: 14 de abril de 2021.

con frecuencias, luego de cualquier actividad en donde pueda existir, aunque sea una mínima contaminación.¹⁸

Entre estas normas de higiene se prohíbe fumar, comer ni masticar chicle mientras se manipulan alimentos, ni estornudar o toser sobre alimentos. Tampoco se tienen que portar perfumes, relojes o cualquier tipo de joyería para no contaminar los alimentos. En el momento de existir heridas se recomienda un proceso de desinfección y vendaje adecuado para no contaminar. Es obligación de estas organizaciones hacerle ver a los visitantes que no se pueden encontrar en áreas no autorizadas y menos sin el equipo de protección adecuado para evitar la contaminación cruzada.

En el caso de padecer enfermedades susceptibles de contaminar o ser transmitidas se tiene que informar a los supervisores para poder evaluar riesgos y establecer las pautas que se seguirán al respecto. Finalmente, en cuanto a la vestimenta de las personas tiene que estar limpia y de uso exclusivo, portando la respectiva cubrecabezas y calzado adecuado. Se debe tener peculiar cuidado con la higiene de uñas, nariz, boca y pelo. La indumentaria normalmente es de color blanca y se tiene que cambiar en cada jornada de trabajo, es recomendable que no cuente con bolsillos. En cuanto al calzado es importante resaltar que debe ser de fácil limpieza y desinfección con suela antideslizante para evitar accidentes. Algunas veces es indispensable el uso de mascarillas y guantes higiénicos. Y es indispensable conocer y cumplir a cabalidad las instrucciones de trabajo establecidas por la organización.

¹⁸BLANCO, Víctor. *Requisitos de Parámetros Físicoquímicos*. <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/4716/1/16103387.pdf>. Consulta: 14 de abril de 2021.

2.3. Aseguramiento de calidad de las bebidas

El aseguramiento de la calidad en una industria de alimentos es el sistema de control que involucra el control de los procesos a lo largo de todas las etapas de producción, desde la generación de las materias primas y la recepción en la planta elaboradora hasta el envasado y distribución de los productos terminados.

2.3.1. Descripción

Dentro del proceso de fabricación de bebidas es importante un control de los parámetros que indican la calidad de los productos. Los respectivos análisis se llevan a cabo por un departamento dentro de la misma planta de producción por el personal calificado para los mismos. Además de ello es importante verificar estos análisis con pruebas paralelas de parte del personal de producción para garantizar que las mediciones se han llevado a cabo de manera adecuada.¹⁹

Dentro de los análisis comúnmente empleados dentro del departamento de calidad se encuentran: la determinación del contenido de sacarosa del producto terminado, el cual se lleva a cabo mediante análisis de grados Brix, por medio de titulaciones ácido base se determina la acidez titulable de las bebidas, para algunos tipos de bebidas específicos se determina la alcalinidad y otro estudio importante es el de la determinación del volumen de carbonatación, entre otros.

¹⁹ MALDONADO, Eddie. *Descripción de análisis en aseguramiento de calidad para bebidas carbonatadas*. <https://studylib.es/doc/7663056/ingenier%C3%ADa-en-alimentos-tesis---biblioteca-central>. Consulta: 17 de enero de 2019.

2.3.2. Análisis de grados Brix

El análisis de grados Brix se refiere a la determinación del porcentaje de sólidos solubles, en este caso de las bebidas carbonatadas. Este proceso normalmente se lleva a cabo por medio de un refractómetro o un densímetro. El fundamento principal radica que existe cierta proporción directamente relacionada entre la densidad y el índice de refracción que se muestra. Los refractómetros basan su funcionamiento en la relación existente entre el índice de refracción y el porcentaje de sólidos solubles, estas mediciones se hacen por medio de un prisma refractométrico.²⁰

Para determinar el contenido de azúcar se emplean las unidades de medición de CTSS, las cuales son los grados Brix que se denominan (°Bx) y el índice de refracción. La muestra que se añade en un refractómetro tiene que ser significativa de acuerdo con el tamaño del prisma del mismo, ya que es importante que lo cubra por completo y poder así obtener una medición correcta. Un aspecto importante para resaltar es que a los refractómetros se les hagan ciertas calibraciones por medio de entidades calificadas y verificaciones constantes por el personal encargado de los equipos por medio de patrones certificados para corroborar los resultados.

La escala de medición que manejan estos equipos normalmente se muestra en términos de porcentaje de concentración de sólidos solubles previamente mencionados. Entre los sólidos disueltos se pueden encontrar sacarosa como el componente principal, sales, proteínas y ácidos. Regularmente la calibración que se le realiza a los equipos es con base en la cantidad de gramos de sacarosa contenidos en 100 g de la muestra en cuestión.

²⁰ Departamento de Alimentos y Biotecnología. *Fundamentos y técnicas de análisis de alimentos*. p. 27.

Como se mencionó con anticipación este análisis se puede realizar tanto con refractómetros como densímetros. En algunos casos se obtienen resultados más exactos empleando un densímetro debido a que estos equipos basan sus resultados midiendo la densidad y la temperatura de la solución a analizar a diferencia de un refractómetro en el cual solo se lleva la solución a la temperatura de medición. La temperatura de medición utilizada comúnmente es de 20 °C.²¹

2.3.3. Titulación ácido-base

Este proceso se conoce como una valoración que es ampliamente utilizado en la química analítica. Los principales componentes químicos presentes en estas reacciones son los ácidos, bases, agentes oxidantes, reductores, iones metálicos y proteínas. Este proceso se basa en la reacción entre un analito y un reactivo estándar que se conoce como titulante.²²

En una valoración se determina el volumen o la masa de titulante necesario para reaccionar completamente con el analito. En cualquier valoración, el punto de equivalencia química, llamado punto final cuando se determina experimentalmente, se hace evidente por el cambio de color de un indicador o por el cambio en una respuesta instrumental.

Una de las reacciones más importantes dentro de las titulaciones son las de neutralización, las cuales involucran tanto a los ácidos como a las bases. Como se mencionó con anterioridad se cuenta con un analito y una disolución de ácido o base que se utiliza de referencia. Para la determinación del punto final se

²¹ Departamento de Alimentos y Biotecnología. *Fundamentos y técnicas de análisis de alimentos*. p. 27.

²² SKOOG, Douglas; WEST, Donald; HOLLER, James; CROUCH, Stanley. *Fundamentos de Química Analítica*. p.113.

emplea un indicador de pH, normalmente los potenciómetros o medidores de conductancia y los indicadores con los que se detecta el punto final.

2.3.4. Determinación acidez titulable

Este análisis sirve para medir la cantidad de álcali que generalmente son ml de NaOH 0,1 N, necesarios para neutralizar los ácidos libres de 1 gramo de muestra. Algunas de las formas de expresarla son en porcentaje de ácido cítrico o gramos de ácido cítrico por litro de solución. En cuanto a los fundamentos teóricos en este tipo de titulaciones, se emplea un ácido débil que en estos casos es el ácido cítrico y una base fuerte como es el hidróxido de sodio, esto es para que reaccione completamente con el analito.²³

Para este proceso se requiere de un potenciómetro para poder medir el pH final luego del análisis. Normalmente se busca que este pH final sea mayor a 7. Los métodos comúnmente empleados son a un pH final de 8,3 para bebidas no carbonatadas y 8,75 para bebidas carbonatadas. Este pH depende principalmente de la ionización del ácido, ya que en medida en que el anión del ácido se hidroliza, en esa medida aumenta el pH. Cabe mencionar que el pH incrementa de manera más drástica en las etapas iniciales del análisis y menos drástico en la proximidad del punto de equivalencia.²⁴

En esta norma contiene especificaciones para las bebidas carbonatadas, entre las cuales la más importante es el máximo permisible de acidez es de 0.5 expresado en gramos de ácido cítrico anhidro por cada 100 mL de muestra. La

²³ COGUANOR NGO 34 154. *Bebidas Gaseosas. Aguas Gaseosas con y sin sabor. Especificaciones.* p. 7.

²⁴ Departamento de Alimentos y Biotecnología. *Fundamentos y técnicas de análisis de alimentos.* p. 30.

mayor cantidad de especificaciones son remitidas a otra norma importante fuera de las normas COGUANOR y es la norma ICAITI 34003 h14.²⁵

2.3.5. Determinación de pH

El parámetro de pH o potencial de Hidrógeno es útil para medir la acidez o alcalinidad de una sustancia, que en su mayoría de veces es líquida. Se define como el exponente positivo de la concentración de los iones de Hidrógeno. Los valores que puede tomar el pH se encuentran entre 0 y 14, un pH de 7 a 25 °C es neutro. Cuando se dice que una muestra es ácida esta se encuentra en un pH entre 0 y 7 y básica entre 7 y 14. Entre más alejada se encuentre de 7 el valor, más ácida o básica es la sustancia a una temperatura de 25 °C.²⁶

Para las bebidas carbonatadas es importante medir este parámetro ya que como se mencionó anteriormente estas son ácidas por los componentes con los que cuentan. Dependiendo de cada bebida el pH se puede encontrar entre 2,5 y 4,5.

Los componentes ácidos con los que cuentan estas bebidas normalmente son el ácido carbónico que funciona como buffer, ácido fosfórico que es un acidulante muy económico, ácido málico el cual mejora sabor de los edulcorantes artificiales, ácido tartárico que es un acidificante y conservante natural y el ácido cítrico que es muy fácil de obtener de productos cítricos.²⁷

²⁵ COGUANOR NGO 34 154. *Bebidas Gaseosas. Aguas Gaseosas con y sin sabor. Especificaciones.* p. 7.

²⁶ BARRIOS, Denisse. *Análisis de pH de las bebidas.* <https://quimicageneralylaboratorio.wordpress.com/2015/11/27/ph-en-las-bebidas/>. Consulta: 14 de abril de 2021.

²⁷ STEEN, David; ASHURST, Philip. *Carbonated Soft Drinks: Formulation and Manufacture.* p. 59.

El proceso experimental para análisis de pH de una disolución normalmente se realiza por medio de un pH-metro. Este equipo funciona por medio de una sonda de medida, normalmente es un electrodo combinado, el cual se conecta a un potenciómetro que está calibrado en unidades de pH. Este mide el diferencial de potencial existente entre la disolución interior de la referencia y la concentración de protones exterior, por lo cual a través de una calibración interna se convierte en una lectura de pH. Como se mencionó anteriormente muchas empresas dentro de la industria de las bebidas han innovado con procesos de automatización, por lo cual al igual que el análisis de acidez titulable el análisis de pH se mide de la misma forma, inclusive con el mismo equipo.²⁸

²⁸ROMERO, Xiomara. *Análisis de Acidez y pH*. http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/16739/acidez_ph.pdf?sequence=1&isAlloved=y. Consulta: 23 de mayo de 2019.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

Se definieron las variables independientes y dependientes que se mantuvieron constantes durante el desarrollo de la investigación.

3.1.1. Independiente

La siguiente variable independiente es aquella que sus valores no se van a ver alterados por el resto de las variables en el experimento:

- Concentración de sólidos solubles de las bebidas patrón (%m/m).

3.1.2. Dependientes

Las siguientes variables dependientes son aquellas cuyo comportamiento se ve afectado por la variable independiente:

- Concentración de sólidos solubles (°Brix).
- Acidez titulable.
- pH.

Tabla I. **Definición operacional de las variables para el análisis de parámetros fisicoquímicos de bebidas carbonatadas y no carbonatadas**

No.	Variable	Unidad	Constante	Variable
1	Concentración de solidos solubles	°Bx		X
2	Acidez titulable	mL		X
3	pH			X

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

3.2. Delimitación de campo de estudio

- **ÁREA:** Fisicoquímica
- **INDUSTRIA:** Alimentaria
- **PROCESO:** Determinación de la relación de parámetros fisicoquímicos de bebida carbonatada y no carbonatada.
- **Condiciones:** Realizar la caracterización de la relación entre la concentración de solidos solubles (°Brix), la acidez titulabe y pH inicial.

3.3. Recursos humanos disponibles

- **Investigador:** Anna Isabel López Cordón
- **Asesora:** Inga. Qca. María Alejandra Estrada Santizo

3.4. Recursos materiales disponibles

Según la metodología experimental propuesta, se requirió de los siguientes equipos y materiales.

3.4.1. Materiales y suministros

A continuación, se describen todos los materiales y suministros que se utilizaron para la elaboración de la fase experimental.

Tabla II. **Nombre de reactivos a utilizar**

Reactivos
Agua destilada
Cloruro de potasio
Metanol
Agua tratada
Citrato de potasio
Hidróxido de sodio

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

3.4.2. Mobiliario y equipo

A continuación, se describe el mobiliario y equipo que se utilizaron para la elaboración de la fase experimental.

Tabla III. **Nombre del equipo, cristalería y accesorios a utilizar**

Equipo
Agitador magnético Nuova
Soporte Universal con pinza

Continuación de la tabla III.

Titulador automático Si Analytics
Electrodo
Balanza analítica Sartotius
Refractómetro Anton Paar
Desgasificador Siemens
Cristalería
Matraz aforado (2oz, 10oz, 12oz, 25mL, 100mL)
Beacker 200mL
Probeta 5mL
Recipiente metálico 1000mL
Accesorios
Vial UPLC
Pipeta plástica
Jeringa
Magnetos
Filtro para vial
Papel Parafilm

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

3.5. Técnica cuantitativa

La investigación fue de carácter cuantitativo por medio de la medición de los parámetros fisicoquímicos de la bebida carbonatada, a través del uso de un refractómetro y titulador.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

A continuación, se describen los procedimientos empleados para la recolección y ordenamiento de la información para la realización de la fase experimental.

3.6.1. Preparación Bebida Patrón

- Tomar una muestra de jarabe al terminar la formulación del mismo.
- Enjuagar el balón de 2 oz con jarabe terminado y luego aforarlo con el mismo producto.
- Tomar el balón de 10 o 12 oz en donde se prepara la bebida y se enjuaga 3 veces con agua tratada.
- Añadir el jarabe terminado que se tiene en el balón de 2 oz en el balón.
- Aforar el balón para preparar la bebida patrón.
- Colocar un magneto en el balón de la bebida patrón para homogenizar la mezcla por 10 minutos, mínimo, para que se logren las propiedades requeridas.
- Colocar el contenido de la bebida patrón preparada para luego desgasificarla.

3.6.2. Desgasificación de Bebidas

- Tomar una muestra de jarabe al terminar la formulación del mismo.
- Estabilizar la temperatura de la muestra entre 20 y 25 °C para evitar variaciones en los parámetros fisicoquímicos.
- Tomar una muestra de 200-300 mL, cantidad suficiente para poder realizar posteriormente todos los respectivos análisis.

- Verificar que el extractor de aire no tenga residuos de agua, de lo contrario se pueden alterar propiedades de la bebida patrón y tener variaciones en las mediciones de los parámetros.
- Colocar adecuadamente el difusor dentro de la bebida para obtener una desgasificación uniforme.
- Extraer el difusor del recipiente con la muestra con cuidado de no ensuciar el área de trabajo.

3.6.3. Análisis Grados Brix por Refractómetro

- Corroborar la correcta limpieza del prisma para evitar la contaminación cruzada y obtener datos erróneos.
- Al colocar la muestra, asegurarse de cubrir toda la superficie del prisma sin excesos.
- Esperar a que inicie el proceso en lo que el equipo llega a las condiciones adecuadas para realizar el análisis.
- Anotar el dato obtenido de grados Brix.
- Enjuagar con agua destilada el equipo, y secar con kimwipes, especial para no dañar el equipo.

3.6.4. Análisis de Acidez Titulable

- El titulador automático está programado para hacer el análisis con 100 mL de muestra en un beacker de 250 mL.
- Mantener una agitación constante para homogenizar la muestra, y realizar la lectura de pH.
- Dejar que el pH se estabilice por 1 minuto.
- El valor establecido para la titulación es de pH de 8,75 para bebidas carbonatas.

- Anotar el volumen gastado en la titulación.
- Al finalizar lavar el electrodo con agua destilada y almacenar en una solución estándar.

3.7. Recolección y ordenamiento de la información

En la siguiente se presentan los datos recopilados de la fase experimental utilizados para generar las gráficas necesarias para el cumplimiento de los objetivos planteados.

Tabla IV. **Datos para la caracterización de los parámetros fisicoquímicos analizados en bebidas carbonatadas**

Fecha	Repetición	Brix Refractómetro (°B)	Acidez Titulable (mL)	pH inicial
23-abr	1	11,910	19,703	2,890
		11,960	19,893	2,899
		12,000	20,243	2,921
		12,080	20,317	2,893
		12,110	20,130	2,562
		12,200	20,255	2,860
19-may	2	11,940	20,098	2,812
		11,980	20,273	2,796
		12,000	20,285	2,790
		12,070	20,285	2,820
		12,120	20,438	3,048
		12,160	20,500	2,803

Continuación de la tabla IV.

18-jun	3	11,930	19,970	2,842
		11,990	20,058	2,990
		12,050	20,350	2,970
		12,090	20,190	2,990
		12,130	20,387	3,010
		12,150	20,406	2,790
22-jul	4	11,940	20,440	2,841
		11,970	20,151	2,860
		12,020	20,008	2,908
		12,050	20,030	3,060
		12,090	20,132	2,839
		12,120	20,309	3,052
25-ago	5	11,940	19,857	2,794
		11,970	20,260	2,870
		12,060	20,350	2,851
		12,080	20,038	2,790
		12,110	20,391	2,976
		12,160	20,467	2,819

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

3.8. Análisis estadístico

A continuación, se describen los métodos para el análisis estadístico de los datos obtenidos en la fase experimental.

3.8.1. Diseño experimental

El diseño del experimento presenta 30 muestras del sabor a estudiar, correspondiente a la bebida carbonatada propuesta, para la cual se realizaron 5 repeticiones, de las cuales se tomaron 6 muestras por repetición. Esto da como resultado las 30 unidades experimentales para cada análisis que permita repetitividad.

3.8.2. Medidas de variación

A continuación, se describen las medidas de variación empleadas para medir la dispersión de los datos, es decir, nos dicen qué tan parecidos o que tan diferentes son entre sí los valores observados.

3.8.2.1. Desviación estándar

La desviación estándar de un conjunto de valores muestrales, denotada con s , es la medida de variación de los valores con respecto a la media. Es un tipo de desviación promedio de los valores con respecto a la media.

3.8.2.2. Varianza

La varianza de un conjunto de valores es una medida de variación igual al cuadrado de la desviación estándar. La varianza muestral s^2 es un estimador insesgado de la varianza poblacional σ^2 , lo que significa que los valores de s^2 tienden a igualar el valor de σ^2 en lugar de tender, de manera sistemática, a sobrestimar o subestimar σ^2 .

3.8.2.3. Análisis de varianza de un factor

Este análisis se empleó para determinar si existe variación significativa sobre una variable respuesta debido a un factor diferenciador de los grupos muestrales de datos.

Para ello se realizó el cálculo de dos tipos de variación: La variación entre grupos debido a un factor y la variación dentro de los grupos debido a dicho factor. Esto da como resultado la suma de cuadrados entre grupos (SCE), y la suma de cuadrados dentro de los grupos (SCD), respectivamente.

Posterior a ello, según los grados de libertad de cada variación calculada, se realizó una prueba para la F de Fisher, calculando un valor F con las sumas de cuadrados y comparándolo con un valor de distribución F crítico o tabulado en función del número de datos, de los grados de libertad y del nivel de confiabilidad. Si el valor obtenido para F resultaba mayor al tabulado, entonces se rechaza la hipótesis nula porque sí existe una variación significativa de los datos debido al factor.

3.9. Plan de análisis de los resultados

A continuación, se describe el plan que se empleó para el análisis de los resultados obtenidos en la fase experimental.

3.9.1. Métodos y modelos para datos según tipo de variable

Se utilizaron diferentes métodos y modelos para el análisis de datos con base al tipo de variable que se analizó.

3.9.1.1. Distribución F de Fisher²⁹

Para dos poblaciones distribuidas normalmente con varianzas iguales (es decir, $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$), la distribución muestral del estadístico de prueba $F = \frac{s_1^2}{s_2^2}$ es la distribución F.

- La distribución F no es simétrica.
- Los valores de la distribución F no pueden ser negativos.
- La forma exacta de la distribución F depende de dos diferentes grados de libertad.

3.9.1.2. Coeficiente de Pearson

El coeficiente de correlación lineal r mide la fuerza de la relación lineal entre los valores cuantitativos pareados x y y en una muestra.

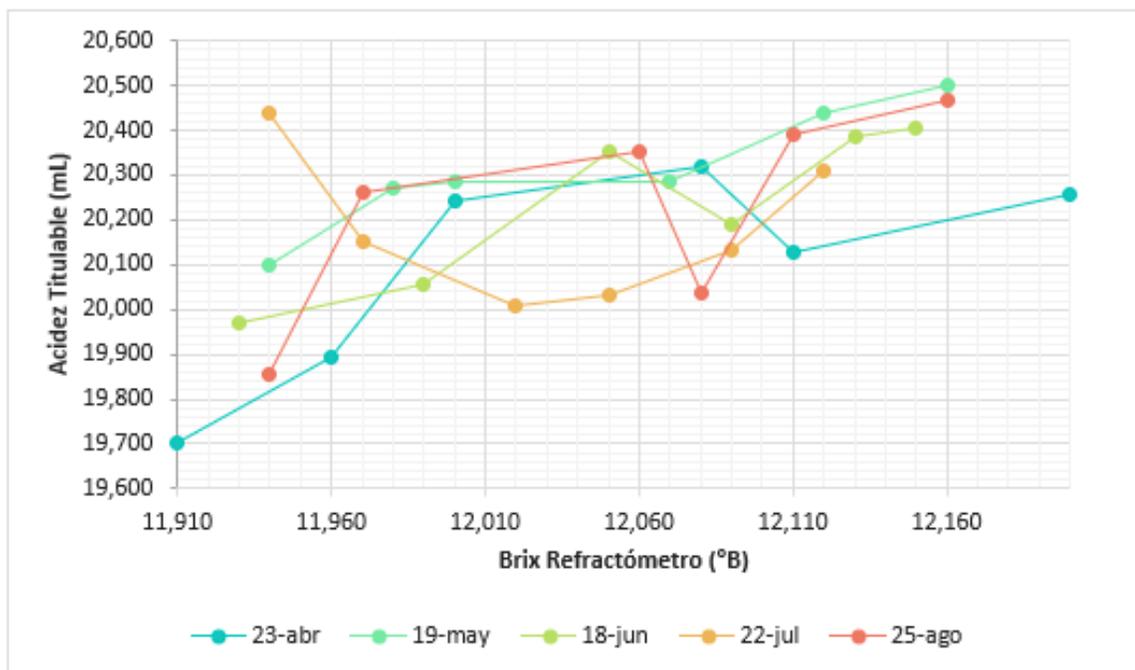
3.9.1.3. Programas a utilizar para análisis de datos

Para la manipulación estadística de datos se empleó Microsoft Excel Professional 2016 y Minitab, por la facilidad de uso y su conveniente herramienta para análisis estadístico de datos.

²⁹ TRIOLA, Mario. *Estadística*. p. 497.

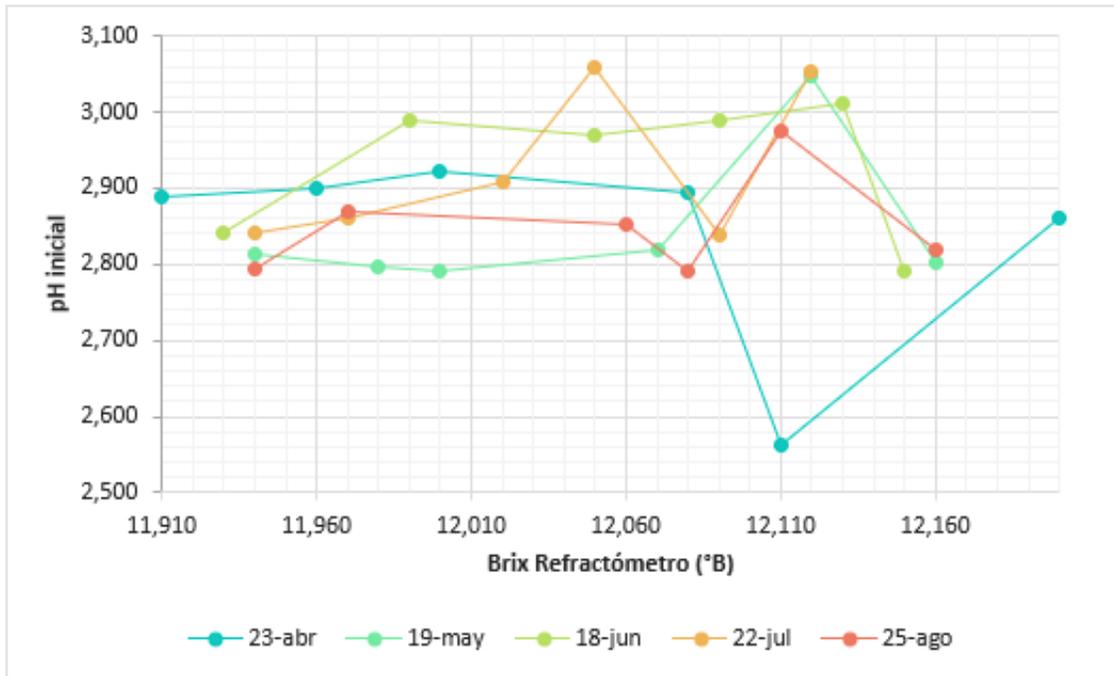
4. RESULTADOS

Figura 1. Relación entre acidez titulable y los grados Brix para bebida carbonatada



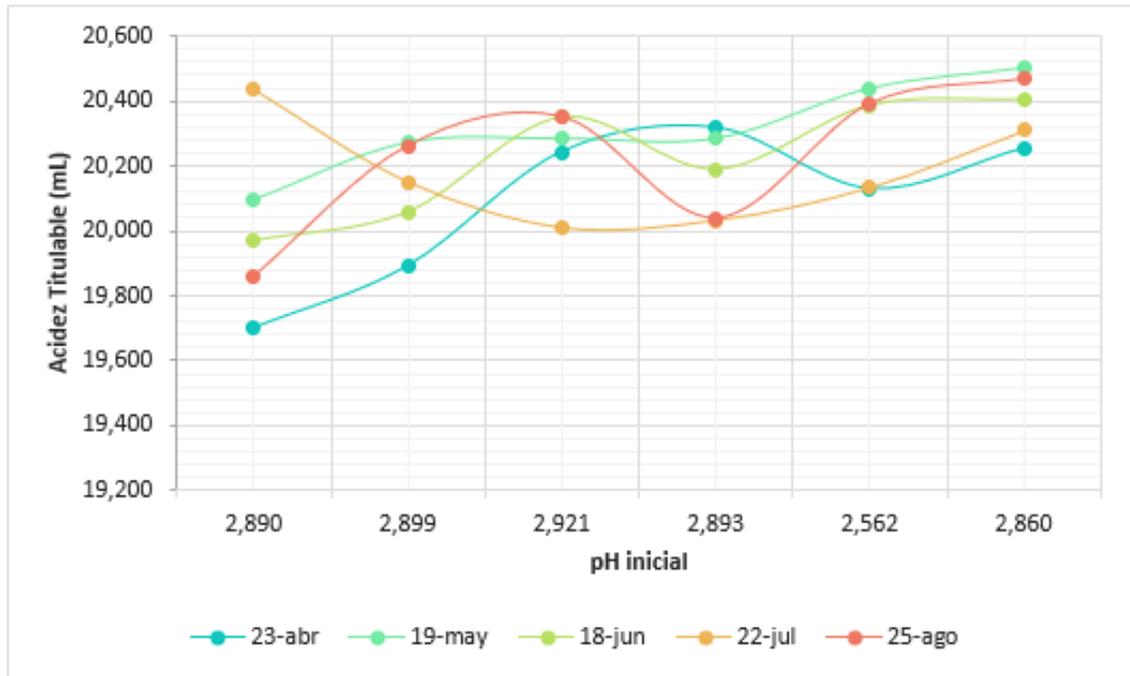
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 2. **Relación entre el pH inicial y los grados Brix de bebida carbonatada**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 3. **Relación entre la acidez titulable y el pH inicial para bebida carbonatada**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla V. **Análisis de correlación lineal entre las relaciones establecidas**

Variable de control	Variable de medición	r	r _{crítico} ³⁰
°Brix	Acidez titulable	0,9269	0,811
°Brix	pH inicial	0,3958	0,811
pH inicial	Acidez titulable	0,3247	0,811

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel

³⁰ TRIOLA, Mario. *Estadística*. p. 760.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Se tenía como objetivo determinar la correlación entre los parámetros fisicoquímicos para bebida carbonata. El uso del refractómetro para la medición de la concentración de sólidos solubles, y el titulador automático para la obtención del pH inicial y la acidez titulable permitió la construcción de gráficas para determinar la relación que existe entre las variables de estudio.

Al analizar los grados Brix en relación con la acidez titulable, a medida que los valores de sólidos solubles aumentan la acidez titulable tiende a aumentar. Esto se puede observar en la figura 1, donde la tendencia se ve irregular. Esto se debe a que a medida que pasaba el tiempo al momento de preparar las muestras de bebida patrón, el control para mantener los grados brix en un rango establecido para el estudio (11,9-12,2) se complicaba, ya que se daba el fenómeno de inversión del azúcar. Esto es la disgregación por hidrólisis de la sacarosa en glucosa y fructosa, aumentando la concentración de sólidos solubles. Este fenómeno se ve favorecido por la acidez de la bebida, la cual se ve directamente afectada por la adición de acidulantes al momento de preparar el jarabe terminado.

Cabe mencionar que, para preparar las diferentes muestras para realizar los análisis, se realizaba una variación del agua a adicionar al jarabe terminado variando así los sólidos solubles en la bebida, esto al mismo tiempo afectaba directamente a la acidez, que al momento de agregar más agua también disminuía la acidez de la muestra, obteniendo el comportamiento observado, donde los grados Brix son directamente proporcionales a la acidez.

Por lo cual, al momento de analizar las diferentes muestras preparadas utilizando el jarabe terminado, se ve un aumento de la acidez titulable. Esto es significativo para la formulación de los jarabes terminados, ya que si se requiere elaborar una bebida con alto contenido de azúcar la inversión de la misma favorece de manera operacional, ya que utilizando menores cantidades de azúcar se puede potenciar su concentración de sólidos solubles incrementando el tiempo de reposo del jarabe.

Al observar la tabla VI, se obtuvo un valor de 0,9269 para el coeficiente de Pearson de la acidez titulable en relación con los grados Brix, indicando una alta relación entre ambas variables. Se observa que el valor es mayor al coeficiente de Pearson crítico con un nivel de confianza del 95 %, lo cual indica que existe correlación lineal entre la acidez titulable y la concentración de sólidos solubles.

Al observar la figura 2, no se ve un aumento significativo del pH inicial con relación a la concentración de sólidos solubles. Más se puede apreciar una fluctuación a incrementar, esto se debe a que, a mayor concentración de azúcar, el pH no es tan bajo, pues el azúcar disminuye la acidez del mismo.

El pH lo proporciona a la bebida todos aquellos iones libres que se encuentran en la muestra por hidrólisis ácida de los ácidos que contiene la misma. Una cuestión muy importante, es que estos análisis se realizan para poder realizar la liberación de jarabe terminado para comenzar con la producción de la bebida en cuestión, por lo tanto, la toma de muestra para efectos de este estudio se realizaba justo al inicio de producción, para asegurarnos que todos los parámetros estuviesen en orden y obtener los mejores resultados.

Por tanto, la medición y preparación de las muestras se realizaba lo más cercano a la toma de muestra patrón, a temperaturas mayores a 25 °C, los

sensores para la medición de pH son sensibles y normalmente están diseñados para trabajar a 20 °C,³¹ incluso los que tienen compensación de temperatura; al hacer la medición de grados Brix, se realiza simultáneamente la medición del pH inicial, y sabiendo que con el paso del tiempo se da la inversión del azúcar aumentando así los grados Brix, no se daba el tiempo para que la temperatura se estabilizara al ambiente para poder obtener los valores más certeros de grados Brix. Tomando en cuenta lo anterior, se obtienen las fluctuaciones en la figura dos, demostrando que no hay relación significativa entre los grados Brix y el pH inicial.

Al observar la tabla VI, se obtuvo un valor de 0,3958 para el coeficiente de Pearson del pH inicial en relación con los grados Brix, lo cual indica una baja relación entre ambas variables. Se observa que el valor es menor al coeficiente de Pearson crítico con un nivel de confianza del 95 %, lo cual indica que no existe correlación lineal entre el pH inicial y la concentración de sólidos solubles.

Al analizar los valores de pH inicial en relación con la acidez titulable, a medida que los valores pH inicial aumentan no se ve relación significativa en el comportamiento de la acidez titulable. Esto se puede observar en la figura 3, donde la tendencia se ve irregular, esto se debe a que, si bien estos están estrechamente relacionados, son completamente diferentes. El pH es una medida de la concentración de protones libres en una solución, los cuales se disocian de los ácidos, por otro lado, la acidez titulable es una medida de acidez total como valor aproximado, siendo una suma de protones libres y ácidos no disociados en una solución. El pH y la acidez por titulación son dos medidas no estrictamente asociadas.

³¹ SETTI, Juan. *Diferencia entre Acidez y pH Como medir el pH*. <http://www.cervezadeargentina.com.ar/articulos/diferenciaentre-acidezypH.html>. Consulta: 17 de abril de 2021.

El pH al ser una medida de la acidez actual de la bebida carbonatada, y la acidez titulable al ser una medida como valor aproximado, a un mismo pH, dos muestras de la misma bebida carbonatada pueden presentar valores de acidez diferentes. Inversamente bebidas carbonatadas con una misma acidez pueden tener pH diferente. Como se detalló anteriormente, pH y acidez no miden lo mismo. Lo cual se corrobora a través del valor bajo del coeficiente de correlación entre ambas variables obtenido, así como no se observa tendencia en la figura 3.

Al observar la tabla VI, se obtuvo un valor de 0,3247 para el coeficiente de Pearson del pH inicial en relación con la acidez titulable, lo cual indica una baja relación entre ambas variables. Se observa que el valor es menor al coeficiente de Pearson crítico con un nivel de confianza del 95 %, lo cual indica que no existe correlación lineal entre el pH inicial y la acidez titulable.

CONCLUSIONES

1. Se determinó que a medida que los grados Brix aumentan, la acidez titulable también tiende a aumentar para la bebida carbonatada, siendo directamente proporcionales.
2. Se comprobó que no existe relación entre el pH inicial y los grados Brix.
3. Se determinó que no hay relación directa entre la acidez titulable y el pH inicial para bebida carbonatada.
4. Se obtuvo un coeficiente de Pearson de 0,9269 entre la acidez titulable y la concentración de sólidos solubles, así mismo se determinó un valor de 0,3958 entre el pH inicial y la concentración de sólidos solubles, y 0,3247 entre el pH inicial y la acidez titulable, con un nivel de confianza del 95 %.

RECOMENDACIONES

1. Verificar que en el proceso de toma de muestra de jarabe se emplee un recipiente adecuado con su respectiva protección para que no exista contaminación de la muestra en la trayectoria, lo cual derivaría en problemas con los mismos parámetros fisicoquímicos.
2. Realizar el análisis de parámetros fisicoquímicos inmediatamente luego de tomar las muestras, adicionalmente evitar el almacenamiento en refrigeración por más de 1 hora ya que los parámetros fisicoquímicos se pueden ver alterados y la prueba se vuelve no representativa.
3. Verificar que el contenido de los recipientes de ingredientes sea vertido completamente dentro del tanque de preparación para la preparación de jarabe terminado de las bebidas, de lo contrario pueden verse alterados los parámetros fisicoquímicos del mismo, requiriendo ajustes y costos extra.
4. Realizar una comparación de resultados con un densímetro cada cierto tiempo para la medición de grados Brix es importante, para asegurar que se estén obteniendo lecturas correctas y con menor margen de error.

BIBLIOGRAFÍA

1. ASTIASARÁN, Iciar; MARTÍNEZ J. Alfredo. *Alimentos: composición y propiedades*. 2a ed. Madrid, España: McGraw-Hill Interamericana de España, S.A.U. 2000. 364 p.
2. BARRIOS, Denisse. *Análisis de pH de las bebidas*. [en línea]. <<https://quimicagenerallaboratorio.wordpress.com/2015/11/27/ph-en-las-bebidas/>>. [Consulta: abril de 2021].
3. BLANCO, Víctor. *Requisitos de Parámetros Físicoquímicos*. [en línea]. <<http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/4716/1/16103387.pdf>>. [Consulta: abril de 2021].
4. CANO, Eduardo. *Norma Técnica Colombiana Bebidas Gaseosas*. [en línea]. <<https://es.scribd.com/document/373214306/NTC-2740-Bebidas-Gaseosas>>. [Consulta: abril de 2021].
5. CARBAJALES, Manuel. *Comportamiento del dióxido de carbono en bebidas carbonatadas durante el período de vida útil del producto*. [en línea]. <<http://159.90.80.55/tesis/000171127.pdf>>. [Consulta: 12 de enero de 2019].
6. CHANG, Raymond. *Química General para Bachillerato*. 4a ed. México: McGraw-Hill Interamericana. 2008. 731 p.

7. COGUANOR NGO 34 000. *Norma Centroamericana ICAITI 34 000*. [en línea]. <https://www.mineco.gob.gt/sites/default/files/Inversion%20y%20Competencia/catalogo_coguanor_2017.pdf>. [Consulta: mayo de 2019].
8. COGUANOR NGO 34 003. *Productos elaborados a partir de frutas y hortalizas. Determinación de sólidos solubles*. Guatemala: 1982. 2 p.
9. COGUANOR NGO 34 154. *Bebidas Gaseosas. Aguas Gaseosas con y sin sabor. Especificaciones*. Guatemala: 1985. 8 p.
10. COGUANOR NGO 34 155. *Bebidas Carbonatadas. Determinación del volumen de dióxido de carbono (anhídrido carbónico)*. Guatemala: 1986. 6 p.
11. Departamento de Alimentos y Biotecnología. *Fundamentos y técnicas de análisis de alimentos*. México: Universidad Nacional de México, Facultad de Química. 2008. 56 p.
12. GEA, María. *Investigación Didáctica en correlación y regresión*. [en línea]. <<https://www.ugr.es/~batanero/documentos/Investigacion.pdf>>. [Consulta: enero de 2019].
13. GUEVARA, Américo. *Propiedades analizadas en el dióxido de carbono*. [en línea]. <<http://www.lamolina.edu.pe/postgrado/pmdas/cursos/dpactl/lecturas/SeparataBebidas%20carbonatadas.pdf>>. [Consulta: enero de 2019].

14. JIMÉNEZ, Alexander. *Historia de las Bebidas Carbonatadas*. [en línea]. <<http://es.scribd.com/doc/52456457/la-historia-delas-bebidas-carbonatadas>>. [Consulta: abril de 2021].
15. LEVAN, Douglas M. *Perry's Chemical Engineers Handbook*. 8a ed. EE.UU.: McGraw-Hill. 2008. 70 p.
16. MALDONADO, Eddie. *Descripción de análisis en aseguramiento de calidad para bebidas carbonatadas*. [en línea]. <<https://studylib.es/doc/7663056/ingenier%C3%ADa-en-alimentos-tesis---biblioteca-central>>. [Consulta: 17 de enero de 2019].
17. MARRERO, ATTENERI. *Manual de Formación Básica para manipuladores de alimentos*. [en línea]. <<http://www.controlcanario.com/archivos/MANUAL%20ALUMNO%20CARNET%20MANIPULADOR.pdf>>. [Consulta: febrero de 2019].
18. Organización Mundial de la Salud. *CODEX ALIMENTARIUS*. [en línea]. <http://www.fao.org/gsfaonline/docs/CXS_192s.pdf>. [Consulta: 14 de abril de 2021].
19. Real Academia Española. *Hidrolizar*. [en línea]. <<https://dle.rae.es/hidrolizar?m=form>>. [Consulta: enero de 2019].
20. Reglamento Técnico Centroamericano. *Alimentos y Bebidas Procesados. Néctares de Frutas. Especificaciones. RTCA 67.04.48:08*. Centro America: 2008. 14 p.

21. _____. *Alimentos y Bebidas. Aditivos Alimentarios. RTCA 67.04.54:10*. Centro América: 2010. 410 p.

22. RODRÍGUEZ, Estefanía. *Determinación de pH y contenido de azúcares de Bebidas no Alcohólicas*. [en línea]. <https://www.usfq.edu.ec/publicaciones/odontoinvestigacion/Documents/odontoinvestigacion_n005/oi_005_002.pdf>. [Consulta: 11 de enero de 2019].

23. ROMERO, Xiomara. *Análisis de Acidez y pH*. [en línea]. <http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/16739/acidez_ph.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Consulta: mayo de 2019].

24. SÁNCHEZ, Flor. *La importancia de la planeación en la auditoría fiscal de una industria de bebidas gaseosas*. [en línea]. <http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/03/03_3016.pdf>. [Consulta: enero de 2019].

25. SÁNCHEZ, Genoveva. *Historia de los Refrescos*. [en línea]. <<http://www.refrescantes.es/historia/>>. [Consulta: abril de 2021].

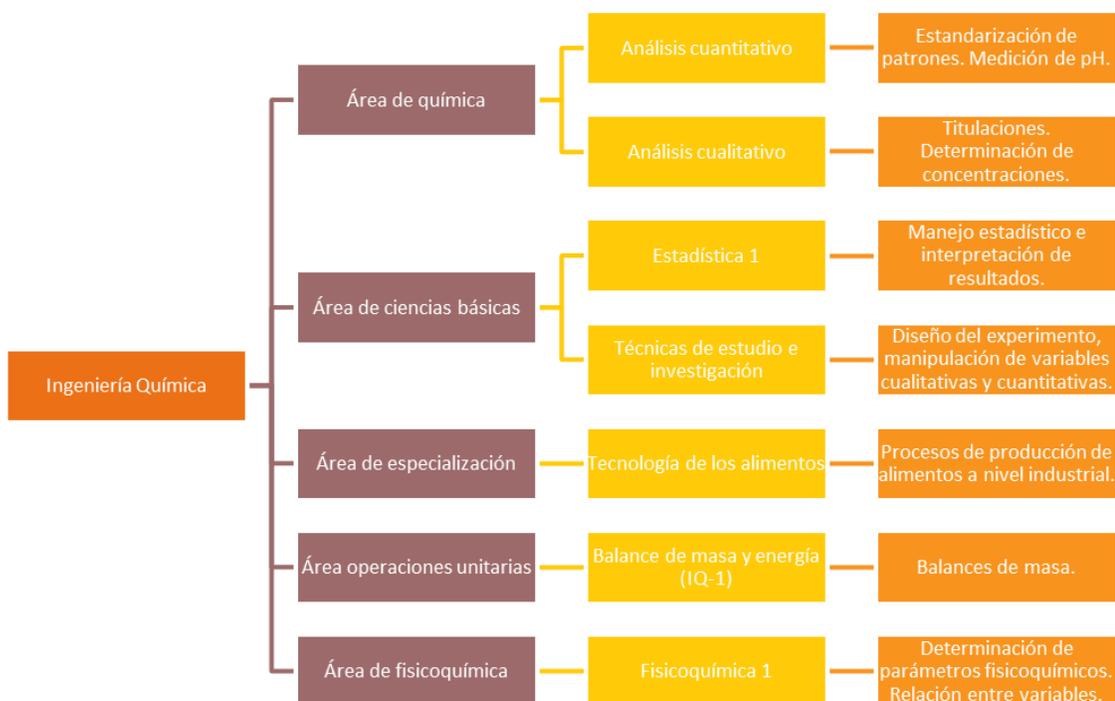
26. SKOOG, Douglas WEST, Donald; HOLLER, James; Crouch, Stanley. *Fundamentos de Química Analítica*. 8a ed. México: Thomson Learning. 2007. 1 072 p.

27. STEEN, David P.; ASHURST, Philip R. *Carbonated Soft Drinks: Formulation and Manufacture*. 1a ed. Oxford: UK. Blackwell Publishing Ltd. 2006. 348 p.

28. TRIOLA, Mario F. *Estadística*. 11a ed. México: Pearson Educación. 2013. 888 p.
29. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. *Alcalinidad*. [en línea]. <http://gemini.udistrital.edu.co/comunidad/grupos/fluoreciencia/capitulos_fluoreciencia/calaguas_cap10.pdf>. [Consulta: abril de 2021].
30. VAN NESS, H. C.; SMITH, M. J.; ABBOTT, M. M. *Introducción a la termodinámica en ingeniería Química*. 7a ed. México: McGraw-Hill/Interamericana editores S.A de C.V. 2007. 837 p.
31. VARGAS, Antonio. *Estadística Descriptiva e Inferencial*. [en línea]. <<https://books.google.com.gt/books?id=RbaCwpwqjsc&pg=pa194&dq=correlacion+lineal&hl=es419&sa=x&ved=0ahukewjekgvsp3gahvqgk0khbamcvuq6aeipdae#v=onepage&q=correlacion%20lineal&f=false>>. [Consulta: mayo de 2019].
32. VERDOY, Pablo. *Manual de control estadístico de calidad: teoría y aplicaciones*. [en línea]. <<https://books.google.com.gt/books?id=kwwgtizxlkuc&pg=pa202&dq=graficos+de+control+dispersion&hl=es419&sa=x&ved=0ahukewip6r37rf3gahxcv98khzfpbmaq6aeiltab#v=onepage&q=graficos%20de%20control%20dispersion&f=false>>. [Consulta: enero de 2019].

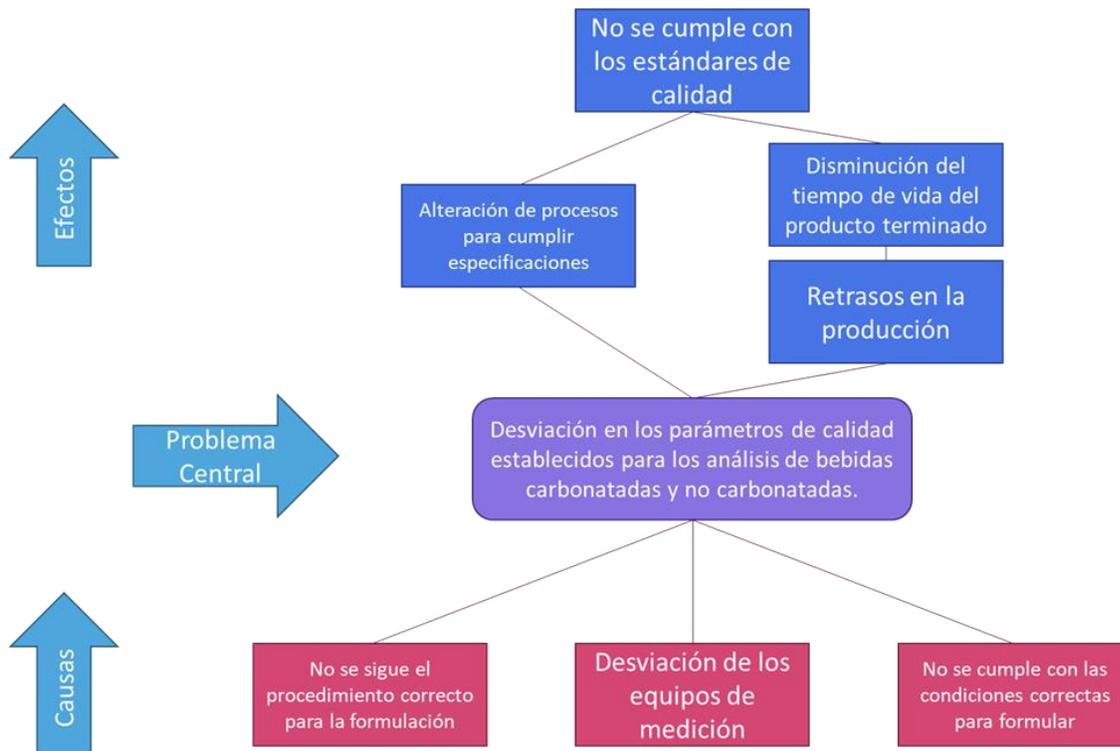
APÉNDICES

Apéndice 1. Mapa de requisitos académicos



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Apéndice 2. Diagrama árbol de problemas



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.