



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**DISEÑO DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN
DE UNA BEBIDA CARBONATADA A BASE DE *Zea mays L.* (MAÍZ
MORADO) PARA LA ASOCIACIÓN DE PRODUCCIÓN
ALIMENTICIA SARIV “ASOPROSARIV”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTOR:

JHON KEVIN TACURI TAYUPANDA

Riobamba – Ecuador

2024



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**DISEÑO DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN
DE UNA BEBIDA CARBONATADA A BASE DE *Zea mays L.* (MAÍZ
MORADO) PARA LA ASOCIACIÓN DE PRODUCCIÓN
ALIMENTICIA SARIV “ASOPROSARIV”**

Trabajo de Integración Curricular:

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTOR: JHON KEVIN TACURI TAYUPANDA

DIRECTORA: ING. CRISTINA ALEJANDRA MUÑOZ SHUGULÍ. PHD

Riobamba – Ecuador

2024

©2024, Jhon Kevin Tacuri Tayupanda

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Jhon Kevin Tacuri Tayupanda declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 22 de mayo de 2024

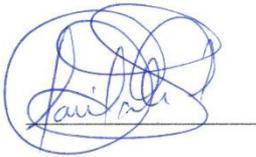
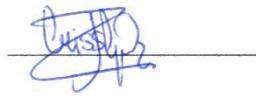


Jhon Kevin Tacuri Tayupanda

C.I: 060507764-3

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN DE UNA BEBIDA CARBONATADA A BASE DE *Zea mays L.* (MAÍZ MORADO) PARA LA ASOCIACIÓN DE PRODUCCIÓN ALIMENTICIA SARIV “ASOPROSARIV”**, realizado por el señor: **JHON KEVIN TACURI TAYUPANDA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Paúl Gustavo Palmay Paredes. PhD PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		22-05-2024
Ing. Cristina Alejandra Muñoz Shugulí. PhD DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		22-05-2024
Ing. Mónica Lilián Andrade Avalos ASESORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		22-05-2024

DEDICATORIA

A mi padre, Mario, por brindarme los recursos necesarios y estar a mi lado apoyándome y aconsejándome siempre, siendo una fuente de inspiración para superarme cada día más en mi camino de vida. A mi madre, Lucia, por construir una mejor persona con su amor, consejos y apoyo incondicional que me brindó para seguir adelante en cada etapa de mi formación profesional y como ser humano. A mis hermanos Danny y Erick por su divertida compañía, su aliento y respaldo han sido fundamentales en mi trayecto. A toda mi familia, que son un pilar fundamental en mi vida, por hacer este logro mío, un logro familiar.

Jhon

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme la oportunidad de vivir plenamente en una familia llena de amor y unión, gracias a Él estoy con muy buena salud y esto me permite obtener un logro que marcará mi vida. A mis padres por todo su apoyo, moral, emocional y económico. Por forjar la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo ustedes, entre los que se incluye este. A mi tutora de tesis, Ing. Cristina Muñoz, quien me ha guiado en el camino profesional, me ha impartido grandes conocimientos y me ha dado la oportunidad de adentrarme más en el mundo de la investigación, un agradecimiento profundo por su paciencia, conocimientos, comprensión y aliento. A mi asesora, Ing. Mónica Andrade por su guía, enseñanzas, y ser un buen ejemplo profesional que me ayudaron en el trayecto de mi trabajo A mis amigos <colegas>: Dylan, Santiago, Joel, Daniela, Juli por la amistad y la motivación en cada semestre de la carrera; hacer el camino mucho más ameno y llevadero. A mis abuelitas, tíos y primos por el apoyo y ánimos. ¡Gracias a la formidable Escuela de Ingeniería Química, de mi querida ESPOCH!; a todos los docentes que fueron parte de mi formación, algunos volviéndose amigos y otros conocidos, pero a todos se los lleva como un buen recuerdo y ejemplo de mi vida.

Jhon

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	2
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Planteamiento del problema	3
1.3 Justificación.....	4
1.4 Objetivos.....	5
<i>1.4.1 Objetivo general</i>	<i>5</i>
<i>1.4.2 Objetivo específico</i>	<i>5</i>

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	6
2.1 Antecedentes de la investigación	6
2.2 Referencias teóricas	7
<i>2.2.1 Carbonatación.....</i>	<i>7</i>
<i>2.2.1.1 Dióxido de carbono</i>	<i>7</i>
<i>2.2.2 Maíz morado</i>	<i>8</i>
<i>2.2.2.1 Variedad genética</i>	<i>8</i>
<i>2.2.2.2 Aspecto taxonómico</i>	<i>9</i>
<i>2.2.2.3 Elementos del maíz morado.....</i>	<i>10</i>
<i>2.2.2.4 Antocianinas</i>	<i>10</i>
<i>2.2.3 Bebidas de consumo humano</i>	<i>12</i>
<i>2.2.4 Bebidas carbonatadas</i>	<i>13</i>

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	15
3.1	Identificación de las condiciones actuales del proceso de producción de la bebida no carbonatada	15
3.2	Técnicas	16
3.2.1	Caracterización fisicoquímica de la materia prima, bebida no carbonatada “Maíztea”	16
3.2.2	Caracterización microbiológica para la materia prima, bebida no carbonatada “Maíztea”	19
3.3	Identificación de las variables, parámetros y las operaciones unitarias necesarias para el proceso de carbonatación	19
3.3.1	Variables del proceso de carbonatación	19
3.3.2	Parámetros para el proceso de carbonatación	20
3.3.2.1	Cantidad de CO₂	20
3.3.2.2	Análisis de discriminación para los parámetros de volúmenes de CO₂	21
3.4	Cálculos de ingeniería de diseño del proceso para la carbonatación de “Maíztea”	22
3.4.1	Balance de masa y energía	22
3.4.1.1	Balance de masa	22
3.4.1.2	Determinación de la demanda de dióxido de carbono por cada lote de Maíztea	22
3.4.1.3	Balance de energía	24
3.5	Proceso de producción	26
3.5.1	Diagrama de flujo después del proceso de carbonatación	27
3.6	Dimensionamiento del equipo	28
3.6.1	Diseño del tanque de carbonatación	28
3.6.1.1	Elección del material de fabricación	28
3.6.1.2	Cálculo del espacio de cabeza y volumen total del tanque	28
3.6.1.3	Cálculo del diámetro y la altura	30
3.6.1.4	Selección del tipo de cabezal	33
3.6.2	Diseño del sistema de absorción de gas carbónico en la bebida	35
3.6.2.1	Regulador de presión de dióxido de carbono	35
3.6.2.2	Sistema de difusión en el tanque de carbonatación	36
3.6.3	Diseño del sistema de enfriamiento	38
3.6.3.1	Elección del sistema de enfriamiento dentro del tanque de carbonatación	38
3.6.3.2	Cálculos para las dimensiones del serpentín	40
3.6.4	Llenado a contrapresión	49

3.7	Requerimientos de tecnología, equipos y maquinarias	51
3.7.1	<i>Materiales necesarios para el área de producción</i>	51
3.7.2	<i>Materiales necesarios para el área de control de calidad</i>	52
3.8	Validación técnica del proceso industrial para la elaboración de la bebida carbonatada a base de maíz morado	52
3.8.1.1	<i>Validación física y química</i>	52
3.8.1.2	<i>Validación microbiológica</i>	54
3.8.1.3	<i>Validación sensorial</i>	55
3.9	Validación económica del proceso industrial para la elaboración de la bebida carbonatada a base de maíz morado	56
3.9.1	<i>Determinación de costos totales</i>	56
3.9.1.1	<i>Cálculo de los costos variables</i>	56
3.9.1.2	<i>Cálculo de los costos fijos</i>	57
3.9.1.3	<i>Precio de venta al público</i>	58
3.9.2	<i>Inversión fija</i>	58
3.9.2.1	<i>Maquinaria, equipos y materiales</i>	58
3.9.3	<i>Presupuesto de ventas</i>	61
3.9.3.1	<i>Proyección de ventas</i>	61
3.9.4	<i>Presupuesto de costos</i>	61
3.9.5	<i>Flujo de caja</i>	62
3.9.6	<i>Cálculos del valor actual neto, tasa de retorno interno y periodo de recuperación</i>	63

CAPÍTULO IV

4.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	66
4.1	Identificación de las condiciones actuales del proceso de producción de la bebida no carbonatada	66
4.2	Caracterización física, químico y microbiológica de la bebida no carbonatada “Maíztea”	67
4.3	Identificación de las variables, parámetros y las operaciones unitarias en el proceso de carbonatación	68
4.3.1	<i>Inyección de volúmenes de CO₂ a la bebida de maíz morado</i>	68
4.3.2	<i>Condiciones óptimas para las variables del proceso</i>	69
4.3.3	<i>Variables del proceso a nivel de industrial</i>	72
4.3.4	<i>Operaciones unitarias del proceso</i>	72
4.4	Diseño del equipo de carbonatación	73

4.5	Validación de la bebida carbonatada a base de maíz morado “Maíztea”	75
4.5.1	Validación técnica	75
4.5.1.1	<i>Validación fisicoquímica del producto</i>	75
4.5.1.2	<i>Validación microbiológica del producto</i>	75
4.5.1.3	<i>Comparación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la bebida no carbonatada y carbonatada</i>	75
4.5.1.4	<i>Validación por análisis sensorial</i>	78
4.5.2	Validación económica	81

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	82
5.1	Conclusiones	82
5.2	Recomendaciones	83

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Especificación del producto para el dióxido de carbono	8
Tabla 2-2: Variedad INIAP 199	9
Tabla 2-3: Clasificación taxonómica.....	9
Tabla 2-4: Orden jerárquico, contenido de antocianinas totales en grano.....	12
Tabla 3-1: Determinación de sólidos solubles, pH, acidez titulable y contenido de antocianinas	17
Tabla 3-2: Determinación de microorganismos coliformes, mohos, levaduras viables, coliformes fecales y E. Coli.....	19
Tabla 3-3: Codificación para las variables del diseño experimental	20
Tabla 3-4: Corridas experimentales correspondientes al diseño $3^2 \times 2$	21
Tabla 3-5: Materia prima e insumos necesarios para elaborar la bebida carbonatada	26
Tabla 3-6: Parámetros para cálculos del serpentín	40
Tabla 3-7: Coeficiente de convección exterior para diferentes serpentines	44
Tabla 3-8: Equipos y materiales necesarios para la elaboración de la bebida carbonatada "Maíztea"	51
Tabla 3-9: Materiales necesarios para el control de calidad de la bebida	52
Tabla 3-10: Sólidos solubles, fracción másica como porcentaje a 20 °C, volúmenes de gas carbónico, acidez titulable, como ácido cítrico a 20 °C, pH y contenido de antocianinas	53
Tabla 3-11: Resumen de los análisis realizados a la bebida carbonatada y no carbonatada "Maíztea"	54
Tabla 3-12: Materia prima directa e insumos.....	56
Tabla 3-13: Costos fijos para la elaboración de la bebida carbonatada "Maíztea"	57
Tabla 3-14: Costos de los equipos para la línea de producción de la bebida carbonatada	59
Tabla 3-15: Costos por mantenimiento de maquinaria.....	60
Tabla 3-16: Costos y gastos de depreciación de la maquinaria, equipos y materiales según el método de línea recta.....	60
Tabla 3-17: Presupuesto de ventas proyectadas en un lapso de 5 años	61
Tabla 3-18: Presupuesto de costos	62
Tabla 3-19: Flujo de caja esperado para la elaboración de la bebida carbonatada "Maíztea" en un período de cinco años	63
Tabla 4-1: Resultados de los análisis físico y químicos de la bebida no carbonatada.....	67
Tabla 4-2: Resultados resumidos de los análisis microbiológicos de la bebida no carbonatada	68

Tabla 4-3 presenta las variables a controlar en el proceso de la bebida carbonatada a base de maíz morado.	72
Tabla 4-4: Variables del proceso	72
Tabla 4-5: Valores de los volúmenes de gas carbónico	69
Tabla 4-6: Valores del pH obtenido luego de la carbonatación	69
Tabla 4-7: Condiciones óptimas de presión y tiempo	71
Tabla 4-8: Operaciones unitarias del proceso y parámetros óptimos de obtención de la bebida carbonatada “Maíztea”	73
Tabla 4-9: Resultados de las dimensiones para el tanque de carbonatación	74
Tabla 4-10: Resultados del análisis físico y químico de la bebida carbonatada.....	75
Tabla 4-11: Resultados de los análisis microbiológicos de la bebida carbonatada	75
Tabla 4-12: Resultados físicos, químicos y microbiológicos de la bebida no carbonatada y carbonatada.....	77
Tabla 4-13: Comparación de los resultados de los análisis microbiológicos de la bebida no carbonatada y bebida carbonatada.....	77
Tabla 4-14: Prueba estadística: Chi-cuadrado para el sabor de las bebidas	79
Tabla 4-15: Comparación por parejas mediante la prueba Friedman para muestras relacionadas	81
Tabla 4-16: Indicadores financieros acerca de la factibilidad económica.....	81

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1: Estructura y color de las antocianinas según su pH.....	11
Ilustración 3-1: Diagrama de flujo del proceso de carbonatación.....	23
Ilustración 3-2: Condiciones de temperatura de entradas y salida en el tanque de carbonatación	24
Ilustración 3-3: Diagrama de flujo del proceso de carbonatación diseñado.....	27
Ilustración 3-4: Tanque de carbonatación tipo batch.....	28
Ilustración 3-5: Dimensiones para el cabezal.....	33
Ilustración 3-6: Tensión máxima admisible en función de la temperatura.....	32
Ilustración 3-7: Reguladores de presión.....	35
Ilustración 3-8: Piedra difusora de carbonatación.....	37
Ilustración 3-9: Tipos de serpentines.....	39
Ilustración 3-10: Comparación de las líneas de flujo secundario para alto y bajo Dean.....	39
Ilustración 3-11: Factor de corrección para intercambiador de calor de flujo cruzado con dos pasos de tubo.....	46
Ilustración 3-12: Presurizado de botellas por el sistema a contrapresión.....	50
Ilustración 4-1: Diagrama de bloques del proceso de la bebida no carbonatada.....	66
Ilustración 4-2: Contorno de superficie para el volumen de carbonatación.....	70
Ilustración 4-3: Contorno de superficie para pH.....	70
Ilustración 4-4: Deseabilidad para las condiciones de las variables: presión y tiempo.....	71
Ilustración 4-5: Diagrama pastel de la preferencia de sabor.....	79
Ilustración 4-6: Evaluación del efecto refrescante.....	80
Ilustración 4-7: Evaluación de la acidez.....	80

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: TABLA DE DENSIDAD RELATIVA CORRESPONDIENTE A LOS SÓLIDOS SOLUBLES EN FRACCIÓN MÁSCA COMO PORCENTAJE DE SACAROSA	1
ANEXO B: VOLUMEN DE GAS CARBÓNICO DISUELTO EN UN VOLUMEN DE BEBIDA A LA TEMPERATURA Y PRESIÓN INDICADA	2
ANEXO C: CÁLCULO DE LOS ANÁLISIS FÍSICOS Y QUÍMICOS DE LA BEBIDA NO CARBONATADA	4
ANEXO D: DISEÑO 3D DEL EQUIPO	6
ANEXO E: FACTOR DE SEGURIDAD DE LOS EQUIPOS	7
ANEXO F: PLANOS DEL TANQUE DE CARBONATACIÓN	8
ANEXO G: LAYAOUT DEL PROCESO DE CARBONATACIÓN.....	10
ANEXO H: ANÁLISIS FÍSICO, QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO	11
ANEXO I: DISEÑO EXPERIMENTAL	12
ANEXO J: PRUEBA SENSORIAL.....	13
ANEXO K: RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DE LA BEBIDA NO CARBONATADA	14
ANEXO L: RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICOS, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DE LA BEBIDA CARBONATADA	15

RESUMEN

La microempresa ASOPROSARIV elabora la bebida “Maíztea” a base de maíz morado, sin embargo, la demanda de los consumidores apunta por una bebida carbonatada, por lo tanto, el objetivo de este proyecto fue diseñar un proceso industrial para la obtención de una bebida carbonatada a base de maíz morado. Se identificó el proceso de elaboración de “Maíztea” y se caracterizó según la NTE INEN 2304:2017. Se realizó un análisis de antocianinas mediante el método diferencial de pH. Se planteó un diseño factorial 3^2 en donde la presión y el tiempo fueron las variables independientes, mientras que los volúmenes de CO_2 y pH se consideraron como variables dependientes. Se diseñó el tanque de carbonatación (100 l nominal) a una presión de operación de 40 psi y un tiempo de 2 horas para obtener 2,5 volúmenes de CO_2 y un pH de 3,71 en el producto; y se realizó un análisis de fuerzas estáticas para asegurar el comportamiento de la estructura del tanque de carbonatación. El proceso se validó a través de pruebas fisicoquímicas, microbiológicas y económicas. La bebida carbonatada cumplió con las normas NTE INEN 1101: 2017. La cantidad de antocianinas disminuyó un 24,33%. El proceso resultó viable económicamente a través del análisis de PVP, PE, VAN y TIR con sus respectivos valores de \$1,15; \$1480,51; \$2323,01; 157%, que permite a ASOPROSARIV obtener beneficios a partir de 1 año y 8 meses con una inversión inicial de \$6900, luego de la implementación del proceso industrial de carbonatación.

Palabras clave: <PROCESOS>, <CARBONATACIÓN>, <BEBIDA>, <MAÍZ>, <PRESIÓN>.

0596-DBRA-UPT-2024



ABSTRACT

The microenterprise ASOPROSARIV produces the drink “Maíztea” based on purple corn, however, consumer demand points to a carbonated drink, therefore, the objective of this project was to design an industrial process for obtaining a carbonated drink based on purple corn. The “Maíztea” production process was identified and characterized according to NTE INEN 2304:2017. Anthocyanin analysis was performed using the differential pH method. A factorial 32 design was proposed where pressure and time were the independent variables, while CO₂ and pH volumes were considered as dependent variables. The carbonation tank (100 l nominal) was designed at an operating pressure of 40 psi and a time of 2 hours to obtain 2.5 volumes of CO₂ and a pH of 3.71 in the product; and a static forces analysis was performed to ensure the behavior of the carbonation tank structure. The process was validated through physicochemical, microbiological and economic tests. The carbonated drink complied with NTE INEN 1101: 2017 standards. The number of anthocyanins decreased by 24.33%. The process was economically viable through the analysis of PVP, PE, NPV and IRR with their respective values of \$1.15; \$1480.51; \$2323.01; 157%, which allows ASOPROSARIV to obtain benefits from 1 year and 8 months with an initial investment of \$6900, after the implementation of the industrial carbonation process.

Key words: <PROCESSES>, <CARBONATION>, <DRINK>, <MAIZE>, <PRESSURE>.



Abg. Ana Gabriela Reinoso. Mgs.

Ced: 1103696132

INTRODUCCIÓN

En Ecuador, la mayoría de las bebidas contienen colorantes, sabores artificiales y alto contenido de azúcares. Debido a su bajo costo y efecto refrescante su consumo va en aumento. Sin embargo, este hábito puede tener efectos negativos y perjudiciales para la salud humana.

Hoy en día el maíz representa el segundo cultivo del mundo, debido a su adaptabilidad a diferentes climas, desde regiones tropicales hasta entornos fríos como la cordillera de los Andes. Puede ser ocupado en diversos productos como materia prima o insumo. Por ejemplo, la chicha, una bebida tradicional elaborada a partir de maíz y otros cereales fermentados con azúcar o panela. Se cree que fue creada por el gobierno de Túpac Yupanqui y por ello era considerada un manjar entre la nobleza incaica.

El maíz morado, es una variedad que se destaca por su composición nutricional. Las antocianinas, presentes en su estructura química otorgan el color característico morado o negro. Investigaciones recientes han demostrado que este compuesto no solo es responsable del color, sino que también posee beneficios antioxidantes y anticancerígenos para la salud humana.

El diseño de procesos industriales es un área dentro de la Ingeniería Química que permite establecer condiciones óptimas para la producción de bienes o servicios. Esto se logra mediante la aplicación de conceptos, teorías y principios de fenómenos físicos, químicos, microbiológicos, económicos entre otros aspectos.

La producción en masa a inicios del siglo pasado permitió establecer líneas de producción, donde se organizaban trabajadores, equipos y tareas relacionadas en la elaboración de un producto, con el objetivo de ahorrar tiempo, reducir costos y aumentar el volumen de producción en las empresas.

La aplicación del diseño industrial en la elaboración de una bebida carbonatada a base de maíz morado permitirá a ASOPROSARIV ampliar su mercado objetivo, teniendo en cuenta las condiciones y parámetros de optimización del proceso a través de cálculos ingenieriles que satisfagan las metas de calidad, rentabilidad y tiempo.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes

Desde tiempos antiguos el maíz morado fue consumido por los incas en forma de chicha morada, la mazamorra, la colada morada y diversas infusiones. En el Ecuador existe un consumo alimenticio elevado de este producto por contar con una región interandina en la geográfica de su país. Para el año 86, la venta de maíz representó una elevada tasa interna de retorno (TIR) para Ecuador, posesionándose como uno de los primeros países en producir maíz (Ortega, 2017, pág 17).

Existen diversos estudios acerca de la utilización del maíz morado, ya sea como harina, alcoholes, pigmento natural, indicador y para la formación de extractos (Gorriti et al., 2009, pág. 18). En Ecuador, el mayor consumo de maíz morado se presenta en la época de la celebración de difuntos, el cual se procesa de forma artesanal para la producción de harina. Sin embargo, la empresa Prodicereal se encuentra en el mercado ecuatoriano comercializando este producto a lo largo del año a un precio de \$ 1,05, ofreciendo descuentos para grandes cadenas de distribución.

Este producto es reconocido por su composición química: fosforo, hierro, vitamina A, tiamina, riboflavina, niacina, ácido ascórbico y su característica cantidad de antocianinas presentes en los granos que le otorga un color morado intenso propio del cereal. Además, exhibe propiedades antioxidantes que contribuyen a la salud ayudando a combatir radicales libres que se forman durante los procesos fisiológicos.

El desarrollo de una bebida carbonatada a partir de este producto no se ha registrado hasta el momento. Cabe destacar que las bebidas carbonatadas formadas por la mezcla de jarabe, agua y gas carbónico fueron elaborados y comercializadas en masa por The Coca-Cola Company, una de las empresas más importante del mundo. Además, se debe considerar que, en Ecuador el sector de la agricultura, acuicultura y pesca contribuyen de manera conjunta una participación del 10% del PIB, gracias a la buena aptitud agraria y el aprovechamiento de recursos naturales para la producción ecuatoriana. En el plan de creación de oportunidades 2021-2025 se resalta el desarrollo de programas enfocados en incrementar la productividad agropecuaria mediante la potenciación de las capacidades endógenas de los pequeños productores a través de acceso a créditos, asistencia técnica, redes productivas relacionadas con agroindustria y economía

popular, en el cual se proyecta incrementar las exportaciones agropecuarias y agroindustriales del 13,35 % al 17,67 % (Consejo Nacional de Planificación, 2021, pág. 55).

1.2 Planteamiento del problema

Ecuador es un país diverso en productos agrícolas como gramíneas ricas en nutrientes y de buena calidad. Dentro de ellos, el maíz morado destaca por sus propiedades beneficiosas como: neutralizante de radicales libres que evita alteraciones en el ADN, además de poseer considerables cantidades de almidón (alrededor del 80%), 10% de azúcares, 11% de proteínas y 2% de minerales y vitaminas como complejo B y ácido ascórbico (Guillen et al., 2014, pág. 515).

La transición nutricional es un cambio multidimensional que preocupa a los países en vías de desarrollo por sus consecuencias en la salud. Sus habitantes prefieren una dieta hipercalórica con exceso de grasas saturadas, azúcares y sal, en lugar de una dieta equilibrada y tradicional, esto a su vez causa enfermedades de dimensiones pandémicas tales como el sobrepeso y la obesidad. En promedio, en Ecuador el 22,0 % de la población mayor a los 20 años es obesa (De La Cruz Sánchez, 2016, pág. 385).

Además, el consumo de bebidas con un alto contenido de azúcares es una de las causas de muerte por diabetes tipo 2. Esta problemática amenaza a la salud de la población ecuatoriana, provocando diversas patologías, como la obesidad, enfermedades hepáticas, cardiovasculares, cerebrales, desórdenes de comportamiento, etc (Mayorga et al., 2022, pág. 592).

Por otro lado, el maíz morado es una especie infravalorada en el mercado ecuatoriano y con pocos estudios transversales, sin embargo, su efecto en reducir la presión arterial de forma natural en las personas hipertensas es aceptable (Torres et al., 2014, pág. 18). Es por ello por lo que, la organización "ASOPROSARIV" reconoce las propiedades beneficiosas para la salud con el consumo del maíz morado y en este sentido, desarrolló una bebida refrescante denominada "Maíztea", disponible en el mercado desde el 2012. Sin embargo, los consumidores han participado la necesidad de experimentar la sensación de frescura al ingerir la bebida. A raíz de esta problemática que enfrenta la empresa, Sariv propone agregar una nueva línea de bebida carbonatada a su lista de productos en percha, pero la falta de conocimiento en el proceso de carbonatación provoca un estancamiento industrial en la innovación y apertura de nuevos mercados. Con el fin de abordar este problema, se propone desarrollar un proceso industrial para la producción de una bebida carbonatada a base de maíz morado.

1.3 Justificación

En la actualidad, el segmento de mayor volumen de comercialización a nivel nacional está dominado por las bebidas carbonatadas no alcohólicas (Asociación de Industrias de bebidas no alcohólicas del Ecuador, 2023).

La Asociación de Producción Alimenticia Sariv “ASOPROSARIV” ubicada en Calpi-Riobamba, produce bebidas refrescantes no carbonatadas a partir de maíz morado y galletas a base de avena y quinua, las cuales son comercializadas en la provincia de Pichincha. El maíz morado contiene antocianinas, el cual es un pigmento hidrosoluble que se encuentra en su estructura interna y proporciona el color rojo, púrpura del grano y que otorga capacidad antioxidante. Estos compuestos son capaces de reducir el daño oxidativo causado por los radicales libres, lo que a su vez puede contribuir a la prevención de enfermedades cardiovasculares e incluso cáncer (Rabanal y Medina, 2021, pág. 9). La necesidad de ampliar su mercado objetivo conduce a que “Sariv” considere la implementación de una operación de carbonatación para su bebida “Maíztea”. Al ser una empresa en crecimiento, enfrenta limitaciones económicas y estratégicas para llevar a cabo el diseño de este proceso.

Por lo tanto, este trabajo de integración curricular se centra en brindar apoyo a la ASOPROSARIV, aprovechando los conocimientos adquiridos durante la carrera de Ingeniería Química, con el fin del “Diseño de un proceso industrial para la obtención de una bebida carbonatada a base de *Zea mays L.*” el cual está orientado a apoyar el proceso que desarrollan los productores, organizaciones y empresas de la cadena de maíz morado, relacionadas con la producción, transformación, comercialización y promoción del consumo de maíz morado y sus derivados. Además, este proyecto estimulará la productividad a nivel local y nacional, asegurando la soberanía alimentaria de los ecuatorianos y permitiendo a “Sariv” competir en el mercado con productos similares. Asimismo, enriquecerá académicamente el campo de estudio, especialmente en la cátedra de Tecnología de Alimentos y Procesos Industriales de la carrera de Ingeniería Química en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

- Diseñar un proceso industrial para la obtención de una bebida carbonatada a base de *Zea mays L.* (maíz morado) para la Asociación de Producción Alimenticia Sariv “ASOPROSARIV”.

1.4.2 Objetivo específico

- Identificar las condiciones actuales del proceso de producción de la bebida “Maíztea” en la “ASOPROSARIV”.
- Caracterizar fisicoquímica y microbiológica de la bebida refrescante “Maíztea” mediante la NORMA INEN 2304.
- Identificar las variables, parámetros y las operaciones unitarias necesarias para efectuar los cálculos de diseño del proceso de carbonatación.
- Realizar los cálculos de ingeniería de diseño del proceso para la carbonatación de “Maíztea”.
- Validar el proceso técnica y económicamente mediante una caracterización físico, química y microbiológica del producto basada en la Norma INEN 1101.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

El maíz morado es un buen sustituto para colorante alimenticios artificiales debido a su origen natural y antioxidantes que contiene en su estructura química debido a enlaces fenólicos. Además, diversas investigaciones concluyen que existe un efecto benéfico contra la hipertensión ya que disminuye la presión sanguínea y eleva la actividad antioxidante en la sangre. Asimismo, se ha llegado a la conclusión que el consumo regular podría ser útil para no padecer ninguna enfermedad ya que mejora el estilo de vida (Guillen et al., 2014, pág. 215).

El estudio de Gorriti (2009, pág. 516) mostró que un extracto de corontas de maíz morado en una solución de etanol al 20% con un pH 2 presentó entre 35 y 37 mg de antocianinas por gramo de coronta, mientras que el contenido de fenoles totales varió de 76,94 a 76,96 mg/g coronta, lo que comprobó la actividad antioxidante de las corontas de maíz morado.

En el análisis de maíz morado realizado por (Soto et al., 2013, pág. 91), se demostró que los granos triturados presentan mayor rendimiento en la producción de harina mientras que el marlo de maíz morado resultó ser ventajoso para preparar chicha y mazamorra morada.

(Torres et al., 2014, pág. 18) mencionan que su bebida carbonatada de maíz morado y mucílago de chíá producida en Perú tiene una buena aceptabilidad, en la cual 95 % de las personas hipertensas consumiría el producto de forma regular mientras en 5% lo haría ocasionalmente. Además, se demostró la mayor efectividad en el noveno y décimo día después de iniciado el tratamiento.

Díaz-García et al., (2021, pág. 7) optimizaron un té a base de mazorca de maíz morado y Stevia. También, determinaron que las bolsas elaboradas a partir de fibra de maíz evitan la fuga total de sólidos, resultando una formulación óptima compuesta de 86,72% de maíz morado con una cantidad de 9,51 $\mu\text{mol TE/ml}$.

2.2 Referencias teóricas

2.2.1 Carbonatación

Es un proceso en el cual se añade cierto volumen de CO₂ a una muestra líquida para mejorar sus características organolépticas (Olvera, 2020, pág. 48). Se realiza a bajas temperaturas y altas presiones para optimizar la transferencia de masa en el área interfacial líquido-gas. Así, cuanto mayor sea la temperatura, mayor será la presión necesaria para mantener el dióxido de carbono en la solución. Por el contrario, cuanto menor es la temperatura, mayor es la cantidad de dióxido de carbono que se retiene en la solución.

Los niveles de carbonatación se miden en volumen “Bunsen”, y se define como el número de veces que se puede dividir el volumen total de gas disuelto por el volumen de líquido en el recipiente. Por ejemplo, un producto que contenga cinco volúmenes de carbonatación contendrá dióxido de carbono en una cantidad de cinco veces mayor que el volumen de la bebida (Steen, 2006, pág. 125).

El tiempo de vida útil de la bebida carbonatada en una botella de polietileno tereftalato (PET) de dos litros, se define como una pérdida de carbonatación del 15 % en 12 semanas. Para las botellas de vidrio, su tiempo es mayor debido a su poca porosidad, además resiste elevadas presiones de carbonatación (Steen, 2006, pág. 15).

2.2.1.1 Dióxido de carbono

Es el primer gas inerte e incoloro descrito como diferente al aire durante la historia de la humanidad. Este gas se produce por la respiración animal y la fermentación microbiana. Cuando se disuelve en agua, forma ácido carbónico y otorga el sabor ácido y picante en las aguas carbonatadas y los refrescos. El gas carbónico a ciertos niveles de carbonatación también es utilizado como conservante contra mohos y levaduras (Steen y Ashurst, 2006, pág 115-119).

Para la extracción de dióxido de carbono se tiene las siguientes fuentes:

- Combustión de petróleo
- Reacción entre el ácido sulfúrico y el bicarbonato de sodio
- Gases de combustión de una caldera
- Destilación de alcohol

- Fermentación de cerveza
- Corrientes de gases residuales

En el proceso de purificación del gas carbónico, la Asociación Europea Gases Industriales con la Asociación de Gases Comprimidos de América y la Asociación Internacional de Tecnología de Bebidas elaboraron especificaciones que debe cumplir el CO₂ líquido para su uso en alimentos, cabe recalcar que estas características varían dependiendo de su fuente de extracción (Steen y Ashurst, 2006, pág 120).

Tabla 2-1: Especificación del producto para el dióxido de carbono

Componente	Concentración
Pureza	99.9% v/v min
Humedad	50 ppm v/v máx. (20 ppm w/w máx.)
Acidez	Test de JECFA
Amoníaco	2.5 ppm v/v máx.
Oxígeno	30 ppm v/v máx.
Óxidos de nitrógeno (NO/NO ₂)	2.5 ppm v/v máx. cada uno
Residuos no volátiles (partículas)	10 ppm w/w máx.
Residuos orgánicos no volátiles (aceites y grasas)	5 ppm w/w máx.
Fosfeno	≤0.3 ppm v/v
Hidrocarburos volátiles totales (Calculado como el metano)	50 ppm v/v máx. los cuales 20 ppm v/v máx. Hidrocarburos no metánicos
Acetaldehído	0.2 ppm v/v máx.
Benceno	0.02 ppm v/v máx.
Monóxido de carbono	10 ppm v/v máx.
Metanol	10 ppm v/v máx.
Cianuro de hidrógeno	<0.5 ppm v/v
Azufre total	0.1 ppm v/v máx.
Sabor y olor en el agua	Sin sabor y olor extraño

Fuente:(Steen y Ashurst, 2006, pág 120)

2.2.2 Maíz morado

Su origen es muy discutido, pero numerosas investigaciones revelan que fue el resultado de la mutación genética del grano Teosinte y fueron antiguos mexicanos que reprodujeron y seleccionaron las gramíneas (Guacho, 2014, pág 4). Es el único en el mundo por tener granos, brácteas y la coronta de color morado y/o negro debido a sus antocianinas.

2.2.2.1 Variedad genética

La gran diversidad de granos es generada por contaminación de polen extraño, por lo que existen muchos tipos de maíz dependiendo de la localidad en la que se encuentre ya que el polen de las flores masculinas llega a recorrer miles de metros y éstas pueden fecundar a un tipo diferente de flor femenina de otro de maíz. Así pues, nace el maíz morado el cual es una variedad de granos morados por color de aleurona, no por color de pericarpio.

En Ecuador existen 29 variedades de maíz identificadas y según (Zambrano et al., 2021, pág. 17) se tiene identificado en la sierra ecuatoriana las siguientes variedades nativas y modificadas de las cuales se encuentra el maíz morado denominado como INIAP-199.

Tabla 2-2: Variedad INIAP 199

Variedad	Características	Imagen
INIAP 199 (Racimo de uva o maíz morado)	<p>Grano: morado, negro, harinoso</p> <p>Cosecha en seco: 250 días</p> <p>Rendimiento: de 2 000 a 4 000 kg/ha (de 44 a 89 qq/ ha).</p> <p>Usos: como grano para la elaboración de harinas y bebidas (se utiliza también la tusa o coronta).</p> <p>Zonas: Se cultiva en varias provincias de la Sierra, especialmente en Cotopaxi, Chimborazo, Imbabura y Pichincha.</p>	

Fuente:(Zambrano et al. 2021, pág. 17)

Realizado por: Tacuri, J. 2024

2.2.2.2 Aspecto taxonómico

Tabla 2-3: Clasificación taxonómica

Característica	Detalle
Reino	<i>plantae</i>
Sub-reino	<i>viridiplantae</i>
Infra-reino	<i>sterptophyta</i>
Superdivisión	<i>embryophyta</i>
División	<i>tracheophyta</i>
Superorden	<i>liliana</i>
Familia	<i>poaceae</i>
Género	<i>Zea L.</i>
Especie	<i>Zea mays</i>

Fuente:(ITIS, [sin fecha])

Realizado por: Tacuri, J. 2024

2.2.2.3 Elementos del maíz morado

“La planta del maíz es una monocotiledónea anual de elevado porte (60-80 cm de altura), frondosa, con un sistema radicular fibroso y un sistema caulinar con pocos macollos” (Ortega 2014, pág. 152).

Según (Kato et al., 2009, pág. 61) los elementos del maíz en general son:

- **Tallo:** Delgado, vertical, con una longitud entre uno a cinco metros similar al tallo de azúcar debido a los nudos y entrenudos y su medula esponjosa.
- **Hojas:** Emergen en el inicio de los nudos. Están unidas al tallo por medio de la vaina que rodea el tramo entre nudos y protege la yema de la flor, la cual puede variar en tamaño y anchura.
- **Raíz:** Las raíces principales exhiben una estructura fibrosa y se acompañan de raíces adventicias que surgen en los nudos iniciales por encima de la superficie del terreno. Ambas desempeñan un papel fundamental en sostener la planta en posición vertical.
- **Flor:** Se trata de una planta monoica de flores, es decir, tiene flores femeninas y masculinas diferenciadas. Las flores masculinas se agrupan en la espiga, esta consta de un eje central denominado raquis, del cual emergen ramas laterales. En el raquis se encuentran las espiguillas y cada una está protegida por dos brácteas, y estas a su vez contienen las flores estaminadas en pares. En cada flor de la espiga, se encuentran tres estambres que son los encargados de producir los granos de polen.
- **Semilla:** Es el fruto que se encuentra en el raquis, y su cantidad es limitada por las hileras de la mazorca. Estas semillas están formadas de: pericarpio, endospermo y embrión, las cuales determinan las propiedades organolépticas, físicas y químicas del alimento.

2.2.2.4 Antocianinas

Es un pigmento natural que se encuentra en las plantas de coloración negra, azul o morada y que se debe a la presencia de un dímero de cianidina, pelargonidina, peonidina, derivados mono y diglicosidados de cianidina y otros compuestos fenólicos (Sánchez y Castro Vargas, 2023, pág. 53).

Su estabilidad depende del pH, temperatura, luz, enzimas y otras moléculas como el ácido ascórbico. Además, las condiciones en la que es almacenada repercuten en su estabilidad produciendo cambios notorios en su color y estructura (Rabanal y Medina, 2021, pág. 3).

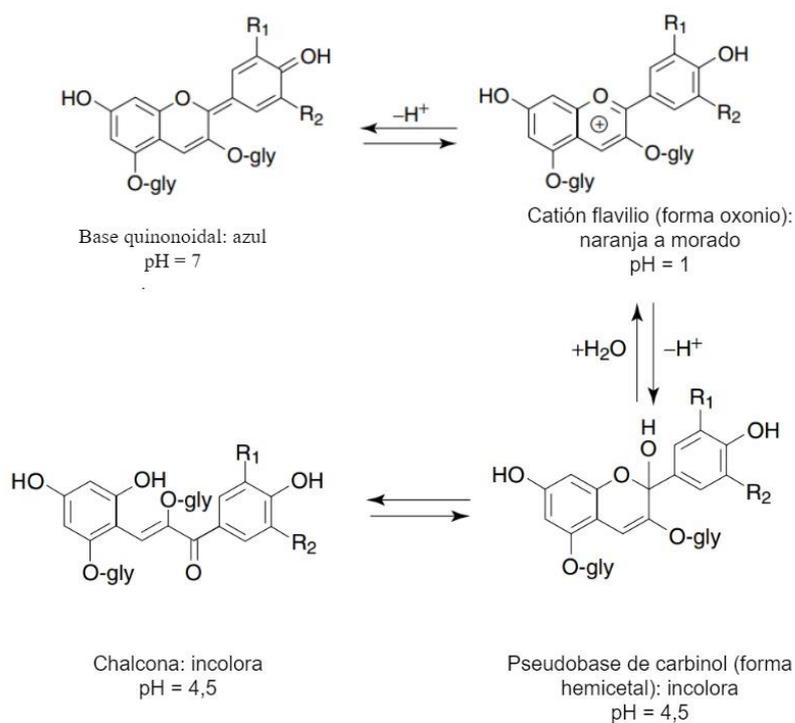


Ilustración 2-1: Estructura y color de las antocianinas según su pH.

Fuente: (Giusti y Wrolstad, 2001, pág 2)

Este compuesto es investigado por su efecto antioxidante en órganos de ratones, ofreciendo resultados favorables. Por ejemplo, los extractos de antocianinas del maíz morado tienen propiedades anticancerígenas que evitan el desarrollo del cáncer de pulmón, mamas, próstata, colón y piel (Rabanal y Medina, 2021, pág. 7). Sin embargo, no todas las especies de maíz morado presentan la misma cantidad de antocianinas, como se observa en la **Tabla 2-4**.

Tabla 2-4: Orden jerárquico, contenido de antocianinas totales en grano.

O ^(c)	Línea	ATgr	ATper	ATal	C ¹	L	a	b	C	H
1 ^(a)	118	0,3090 ⁽¹⁾	3,7609 ⁽¹⁾	0,0532 ⁽⁹⁾	5	5,9	1,5	2,7	3,2	61,3
2 ^(a)	122	0,2526 ⁽²⁾	2,4035 ⁽⁹⁾	0,0605 ⁽³⁾	5	8,5	0,5	1,7	1,8	73,5
3 ^(a)	198	0,2401 ⁽³⁾	3,0417 ⁽⁴⁾	0,0550 ⁽⁵⁾	5	7,0	1,0	2,2	2,5	66,7
4 ^(a)	121	0,2332 ⁽⁴⁾	2,1627 ⁽¹²⁾	0,0330 ⁽⁵⁷⁾	5	7,1	1,3	2,2	2,6	59,2
5 ^(a)	120	0,2161 ⁽⁵⁾	2,6328 ⁽⁷⁾	0,0619 ⁽²⁾	5	13,2	2,0	1,5	2,5	41,2
6 ^(a)	117	0,1983 ⁽⁷⁾	2,6825 ⁽⁶⁾	0,0510 ⁽¹³⁾	5	8,4	1,6	1,9	2,5	51,8
7 ^(a)	147	0,1730 ⁽¹¹⁾	1,8778 ⁽¹⁷⁾	0,0447 ⁽²⁶⁾	5	10,3	1,3	1,5	2,0	51,5
8 ^(a)	161	0,1646 ⁽¹²⁾	1,7707 ⁽¹⁹⁾	0,0493 ⁽¹⁵⁾	5	8,3	1,8	2,1	2,9	52,2
9 ^(a)	123	0,1315 ⁽¹⁶⁾	1,9648 ⁽¹⁵⁾	0,0350 ⁽⁵²⁾	5	7,5	2,3	2,2	3,2	45,4
10 ^(a)	124	0,1205 ⁽²⁰⁾	1,6794 ⁽²²⁾	0,0385 ⁽⁴⁰⁾	5	7,6	1,3	1,9	2,4	56,0
17 ^(a)	207	0,0986 ⁽³³⁾	0,9803 ⁽⁴⁸⁾	0,0332 ⁽⁵⁶⁾	5	8,2	1,5	1,9	2,5	55,6
18 ^(a)	116	0,0926 ⁽³⁸⁾	1,0554 ⁽⁴³⁾	0,0333 ⁽⁵⁵⁾	5	10,1	2,2	1,7	2,8	36,5
19 ^(a)	164	0,0867 ⁽⁴⁴⁾	1,0135 ⁽⁴⁵⁾	0,0359 ⁽⁴⁵⁾	4	9,5	6,0	3,1	6,8	27,7
31 ^(a)	136	0,0943 ⁽³⁵⁾	1,1520 ⁽³⁸⁾	0,0280 ⁽⁷⁷⁾	5	9,6	1,9	1,7	2,6	43,0
34 ^(b)	114	0,0925 ⁽³⁹⁾	0,6910 ⁽⁷⁰⁾	0,0397 ⁽³⁴⁾	5	8,5	2,2	1,9	3,1	42,7
92 ^(c)	174	0,0324 ⁽¹¹¹⁾	0,0517 ⁽¹¹⁸⁾	0,0315 ⁽⁶²⁾	3	13,8	3,6	1,9	4,1	30,2
100 ^(c)	202	0,0577 ⁽⁸⁶⁾	0,6089 ⁽⁷⁶⁾	0,0305 ⁽⁶⁷⁾	4	18,8	5,7	1,9	6,2	26,8
122 ^(c)	197	0,0300 ⁽¹¹⁵⁾	0,0330 ⁽¹²⁴⁾	0,0298 ⁽³⁾	1	19,9	5,3	2,1	5,9	25,5
123 ^(c)	205	0,0191 ⁽¹²³⁾	0,0419 ⁽¹²⁰⁾	0,0174 ⁽⁵²⁾	2	12,3	6,8	3,8	7,8	29,6
124 ^(c)	222	0,0135 ⁽¹²⁴⁾	0,0710 ⁽¹¹⁵⁾	0,0104 ⁽¹¹²⁾	2	16,7	10,2	5,8	11,8	31,0
Testigos	Az-2	0,0258	0,0032	0,0268		19,9	3,1	6,1	6,8	63
	B-1	0,00042	0,0007	0,0004		53,5	-0,4	14,2	14	91,6
	RP-1	0,0045	0,0277	0,0028		22,6	10,6	10,5	15	44,7
DSH		0,0183	0,2724	0,0066		8,0	4,4	1,6	4,1	35,4
Media		0,0853	0,9597	0,0315		10,5	3,3	2,2	4,1	39,9
Mín.		0,0135	0,0330	0,0020		5,7	0,5	1,1	1,8	10,2
Máx.		0,3090	3,7609	0,0677		24,5	10,5	5,8	11,8	73,5

O^(c): Orden jerárquico de la línea acorde con su potencial productivo de antocianinas, que se encuentra entre 1 y 124 e inicia por la línea de mayor potencial productivo; letras entre paréntesis: ^(a)línea elite, ^(b)línea sobresaliente y ^(c)línea no sobresaliente; ATgr: antocianinas totales en grano (g de AT 100 g⁻¹ de grano); ATper: antocianinas totales en el pericarpio (g de AT 100 g⁻¹ de pericarpio); ATal: antocianinas totales en la capa de aleurona (g de AT 100 g⁻¹ de biomasa). En ATgr, ATper y ATal el número entre paréntesis muestra la posición que ocupó la línea en dicha variable, la cual se encuentra entre 1 y 124; C¹ es el color de grano, 1: azul oscuro, 2: rojo, 3: morado azulado, 4: morado rojizo y 5: morado intenso; L: luminosidad; a y b: coordenadas de cromaticidad; C: croma; H: ángulo hue; DSH: diferencia significativa honesta; Mín.: valor mínimo; Máx.: valor máximo.

Fuente: (Mendoza-Mendoza et al. 2017, pág. 479)

2.2.3 Bebidas de consumo humano

Son líquidos que han sido procesados industrialmente con o sin derivados de fuentes naturales, y que en su composición incorporan uno o más ingredientes funcionales, como minerales, fibra alimentaria, vitaminas, ácidos grasos, fitoquímicos, antioxidantes y probióticos, con el fin de hidratar como de preservar la salud. Para su comercialización, estas bebidas están sujetas a las

regulaciones alimentarias específicas de cada país, garantizando su adecuada calidad y seguridad para los consumidores (Enríquez y Ore, 2021, pág. 35). Entre las bebidas de consumo humano destacan dos grupos claramente diferenciados en el mercado (Alvarez, 2022, pág. 15).

- **Bebidas alcohólicas:** Son aquellas que en su composición química contienen cierto grado alcohólico. Ejm: ron, cerveza, sidra, vino entre otros.
- **Bebidas analcohólicas:** Son aquellas que no tienen grado alcohólico, estas son:
 - a) Naturales: Son aquellas en las que no existe intervención industrial como el agua embotellada, jugos frutales, leche.
 - b) Procesadas: Existe un procesamiento industrial a partir de las bebidas naturales, por ejemplo: refrescos, yogurt, gaseosas, té etc.

2.2.4 *Bebidas carbonatadas*

Las bebidas carbonatadas constituyen una gran proporción dentro de las bebidas analcohólicas procesadas. Esta variedad de bebidas abarca opciones como, agua con gas, refrescos efervescentes, espumantes, entre otras. Su clasificación se basa en el método empleado para generar la efervescencia en el líquido, que engloba tres técnicas: fermentación, carbonatación natural e inyección de gas (Viejo et al., 2019, pág. 3).

Como se indicó previamente, en este trabajo se plantea obtener una bebida carbonatada a base de maíz morado, no existente en el mercado ecuatoriano, con el fin de aprovechar la mayor parte de propiedades y características funcionales de este vegetal como es el efecto de las antocianinas en personas hipertensas. Para ello, se considerarán las siguientes operaciones unitarias:

- a) **Cocción:** La adición de calor a los alimentos transforma su composición física y química, cambiando su textura, composición y el valor nutricional. El objetivo es convertir el alimento en un producto más digerible, apetecible y sanitariamente seguro (Noguera et al., 2018, pág. 15).
- b) **Mezclado:** Es una operación unitaria muy común en la industria de alimentos, se trata de poner en contacto dos o más componentes de forma aleatoria, de tal manera que al final del mezclado se obtenga un sistema mucho más homogéneo (McCabe et al., 2007, pág. 259).
- c) **Filtración:** Se trata de una operación unitaria en la cual se hace pasar una mezcla heterogénea (sólido-líquido) por una membrana porosa o medio filtrante para así retener los sólidos sobre ésta y permitir el paso de los líquidos (filtrado).

- d) Pasteurización:** Es un tratamiento térmico a temperatura de 60 °C- 80 °C, que disminuye la actividad de los microorganismos presentes en la mezcla.
- e) Carbonatación:** En esta operación se realiza una mezcla gas-líquido (dióxido de carbono y agua), a temperatura bajas para una mejor solubilidad del gas carbónico. Este a su vez, otorga propiedades de frescura y sensación placentera al gusto del consumidor.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Identificación de las condiciones actuales del proceso de producción de la bebida no carbonatada

- a) **Selección de la materia prima y pesado:** La selección de maíz morado para la obtención de la bebida carbonatada “Maíztea” se desarrolló como un proyecto integral junto con la microempresa ASOPROSARIV. Cabe recalcar que la materia prima es comprada a pequeños productores de la parroquia Calpi. La cual debe cumplir con los requerimientos mínimos de calidad establecidos por normas legales y de la organización. La materia prima debe ingresar a la planta con una humedad de 13% aproximadamente (Zambrano et al., 2021, pág 5) y almacenada hasta su consumo para evitar posibles deterioros. Por asuntos de confidencialidad se procede a trabajar con una base de cálculo de 10 kg.
- b) **Lavado:** La operación de lavado se realiza en un recipiente de acero inoxidable con el propósito de eliminar las impurezas y subproductos derivados de la cosecha del maíz morado. Este proceso utiliza agua potable para la limpieza.
- c) **Cocción:** La cocción se lleva a cabo a una temperatura de 102-120 °C y 0,11-0,20 MPa (Tuñón et al., 2018, pág 76), en esta operación se propone no perder el valor nutricional de la materia prima, por lo que las variables que se deben controlar son la temperatura y el tiempo. En literatura se encontró que para disminuir la degradación de antocianinas se debe utilizar un proceso a 40°C durante 30 minutos (Villaruel et al., 2020, pág. 22).
- d) **Filtración:** Los sólidos suspendidos de la solución se separan por un filtro sintético, reteniendo la torta de maíz morado y especias que se añadieron en la operación anterior.
- e) **Pasteurización:** Se realiza una **pasteurización discontinua** con el fin de evitar el crecimiento de mohos y levaduras en el producto. Consiste en calentar volúmenes de bebida no carbonatada en una marmita a 63°C durante 30 minutos y enfriar hasta los 4 a 5°C (Tipán y Flores, 2018, pág. 8).
- f) **Envasado:** Se utilizan botellas esterilizadas de vidrio transparentes de 300 ml.
- g) **Etiquetado:** La aplicación de etiquetas se realiza en las instalaciones de ASOPROSARIV, las cuales son adheridas a las botellas mediante un proceso manual.
- h) **Almacenado:** Los envases de la bebida no carbonatada se almacenan en estanterías de la microempresa ubicados en espacios libre de polvo y ambiente fresco.

3.2 Técnicas

3.2.1 *Caracterización fisicoquímica de la materia prima, bebida no carbonatada “Maíztea”*

Tabla 3-1: Determinación de sólidos solubles, pH, acidez titulable y contenido de antocianinas

CRITERIO	FUNDAMENTO	MÉTODO	PROCEDIMIENTO	CÁLCULO
Sólidos solubles a 20 °C fracción másica como porcentaje (%) de sacarosa*	Determina la concentración de sacarosa contenida en una solución acuosa que tiene una similar densidad relativa que el jugo	NTE INEN-ISO 2172:2014	<ul style="list-style-type: none"> • Se debe realizar por triplicado la determinación • Pesar el picnómetro de 10 ml por 30 minutos • Llenar el picnómetro con agua destilada y dejar en baño maría a 20 °C por 30 minutos y pesar dejando que se estabilice por 30 minutos. • Vaciar el picnómetro y lavarlo con agua destilada • Repetir el procedimiento anterior, pero con la solución problema (Maíztea). • Interpolarse en la gráfica ANEXO A, los resultados obtenidos de la densidad relativa. 	$\rho = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0}$ <p>Donde: m₀ = Masa (g) del picnómetro vacío. m₁ = Masa (g) del picnómetro lleno con agua destilada a 20 °C. m₂ = Masa (g) del picnómetro lleno con la solución problema a 20 °C.</p>
	Determinación del contenido de sólidos solubles de productos de frutas y vegetales mediante el uso del refractómetro	NTE INEN-ISO 2173:2013	<ul style="list-style-type: none"> • Mezclar y homogenizar la muestra: utilizar directamente para su cuantificación • Operar a una temperatura entre 15 y 25 °C con una lectura de índice de refracción del agua destilada de 1,3330. • Poner alrededor de 2 o 3 gotas sobre el prisma fijo del refractómetro. • Medir los grados Brix de las muestras y su respectivo índice de refracción. 	Reportar el valor medido de acuerdo con sus grados Brix o a su interpolación de porcentaje de masa de sacarosa mediante su índice de refracción.
pH a 20 °C	Determina el grado de alcalinidad o acidez mediante la medición de la diferencia de potencial entre dos electrodos sumergidos en un líquido problema.	NTE INEN-ISO 1842	<ul style="list-style-type: none"> • Se debe realizar por duplicado la prueba • Preparar las muestras líquidas filtrando todo tipo de contenido sólido. • En un vaso de precipitación separar una porción de la muestra suficiente para sumergir los electrodos. • Introducir los electrodos, previamente calibrados, en el vaso de precipitación procurando que se encuentre a una temperatura ambiente. • Leer el pH directamente de la escala del instrumento, cuando se haya alcanzado un valor constante, al menos a 0,05 unidades de pH. 	-

Acidez titulable	Determina el ácido titulable en la futa o vegetal	NTE INEN-ISO 750:1998	<ul style="list-style-type: none"> • Se debe realizar el procedimiento por duplicado • Tomar 10 ml de la solución problema mediante una pipeta aforada y diluir en un matraz de 100 ml. • Transferir 100 ml de la dilución al matraz de mayor capacidad, si se tiene un agitador magnético • Añadir 0,25 ml a 0,5 ml de la solución de fenolftaleína, equivalente a unas 2 o tres gotas. • Agitar la solución y titular, utilizando una bureta de 50 ml, con la solución de hidróxido de sodio 0,1 N hasta que aparezca un color rosado que persista durante 30 segundos obtenido. 	$A = \frac{V_1 * N_1}{V}$ <p>Donde: A = acidez titulable en miliequivalentes por centímetro cúbico. V₁ = volumen de la solución 0,1 N de hidróxido de sodio utilizada en la titulación, en cm³ ó ml. N₁ = normalidad de la solución de hidróxido de sodio. V = Volumen de la muestra utilizada en el ensayo, en cm³ ó ml.</p>
Antocianinas	Determina la cantidad presente de antocianinas en un producto	(Giusti y Wrolstad ,2001, págs. 2-6)	<ul style="list-style-type: none"> • Se debe realizar el procedimiento por duplicado • Preparar dos soluciones tampón o <i>buffer</i> de pH=1,0 y pH=4,5 • Preparación de <i>buffer</i> pH=1,0: disolver 0,18 g de KCl en 100 ml de agua destilada (solución A) y prepara una solución de HCl a 0,2 N (solución B). Agregar la solución B a la solución A lentamente, midiendo y ajustando el pH=1,0. • Preparación de <i>buffer</i> pH=4,5: disolver 5,669 g de acetato de sodio en 100 ml de agua destilada (solución A) y preparar una solución de HCl a 1 N (solución B). Agregar la solución B a la solución A lentamente midiendo y ajustando el pH=4,5. • Homogenizar la muestra fresca. • Tomar cuatro alícuotas de 0,1 ml de muestra y colocarlas en diferentes tubos de ensayo. Centrifugar si es necesario para sedimentar sólidos en suspensión. Dos alícuotas para la muestra 1 (m₁) y dos para la muestra 2 (m₂). • Agregar una alícuota de <i>buffer</i> de 4,9 ml a cada tubo de ensayo (dos muestras de pH=1,0 y las otras dos con pH=4,5), teniendo un volumen final de 5 ml. • Medir la absorbancia en el espectrofotómetro de cada una de las soluciones a dos longitudes de onda sin sacar la celda del equipo, primero a 510 nm y luego a 700 nm. 	$C_n = \frac{((A_{510} - A_{700})_{pH=1} - (A_{510} - A_{700})_{pH=4,5}) * PM * FD * 1000}{\epsilon_1 * 1}$ <p>Donde: C_n = Concentración de antocianinas en muestras sólidas (mg/g). A₅₁₀ = Absorbancia media a 510 nm, <i>buffer</i> pH= 1,0 A₇₀₀ = Absorbancia media a 700 nm, <i>buffer</i> pH= 1,0 A₅₁₀ = Absorbancia media a 510 nm, <i>buffer</i> pH= 4,5 A₇₀₀ = Absorbancia media a 700 nm, <i>buffer</i> pH= 4,5 ε₁ = Absorbancia molar de la antocianina mayoritaria (cianidin-3 glucósida) en las frutas (PM=449,2 g/mol). FD = Factor de dilución para cada muestra de <i>buffer</i>.</p>

Fuente: (NTE INEN 2304, 2017) (Giusti y Wrolstad ,2001, págs. 2-6).

Realizado por: Tacuri, J. 2024

*Sólidos solubles a 20 °C para la bebida no carbonatada, según la norma INEN ISO 2173: para la determinación de los sólidos solubles en jugos de frutas (que no contienen materias suspendidas) y en zumos concentrados (clarificados) es aplicable el método picnométrico especificado en la norma ISO 2172 (INEN 2013).

3.2.2 Caracterización microbiológica para la materia prima, bebida no carbonatada “Maíztea”

Tabla 3-2: Determinación de microorganismos coliformes, mohos, levaduras viables, coliformes fecales y *E. Coli*

CRITERIO	MÉTODO	PROCEDIMIENTO	CÁLCULO
Determinación de microorganismos coliformes por la técnica del número más probable	NTE INEN 1529-6:98	Se determinó en el Laboratorio de Servicios Analíticos Químicos y Microbios en Agua y Alimentos (SAQMIC) para obtener resultados más confiables.	-
Mohos y levaduras viables. Recuentos en placa por siembra en profundidad	NTE INEN1529-10:98		
Determinación de coliformes fecales y <i>E. coli</i>	NTE INEN1529-8		

Fuente:(NTE INEN1529-10,1998) (NTE INEN1529-10,1998) (NTE INEN1529-8,1990).

Realizado por: Tacuri, J. 2024

3.3 Identificación de las variables, parámetros y las operaciones unitarias necesarias para el proceso de carbonatación

3.3.1 Variables del proceso de carbonatación

A continuación, se describe las variables que influyen en el proceso de la elaboración de la bebida carbonatada de maíz morado, haciendo énfasis en el proceso de carbonatación.

- **Temperatura:** Es una variable controlada en las operaciones de:
 - Cocción, para evitar la pérdida de valor nutricional
 - Pasteurización, para inactivar microorganismos innecesarios
 - Enfriamiento, para una mejor absorción del gas carbónico.
 - Carbonatación, para otorgar una sensación de frescura a la bebida.
 - Refrigeración, para conservar un mayor tiempo la bebida.

- **Tiempo:** Se controló el tiempo para la operación de cocción y carbonatación; el primero para evitar pérdida de nutrientes y sabor desagradable y la segunda para reducir costes económicos y una óptima absorción de CO₂.
- **Presión:** Debe ser controlada minuciosamente en la operación de carbonatación, ya que una presión adecuada reducirá costes económicos y mejor absorción del gas carbónico.

3.3.2 *Parámetros para el proceso de carbonatación*

3.3.2.1 *Cantidad de CO₂*

Las inyecciones de volúmenes de CO₂ en la bebida fueron realizadas en base a la capacidad del tanque de carbonatación (40 litros) del laboratorio de Procesos Industriales de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, así como de fuentes bibliográficas y normas para la obtención de una bebida carbonatada.

Se realizó un diseño experimental 3²x2, que indica que se manipuló dos variables (presión y tiempo) en tres niveles, realizando dos réplicas a cada experimento, con el fin de conseguir un producto óptimo que satisfaga todos los requisitos fisicoquímicos. Cabe señalar que, para reducir costos de materia prima, las corridas experimentales se realizaron en botellas PET de 300 ml.

Las siguientes tablas exponen los valores de las variables a manipular, la codificación dicho valor y el número de réplicas:

Tabla 3-3: Codificación para las variables del diseño experimental

Presión (psi)	Tiempo (h)		
	1 (-1)	2 (0)	3 (1)
30 (-1)			
35 (0)			
40 (1)			

Realizado por: Tacuri, J. 2024

Tabla 3-4: Corridos experimentales correspondientes al diseño 3²x2

Réplica	Tiempo	Presión
1	-1	-1
1	0	-1
1	1	-1
1	-1	0
1	0	0
1	1	0
1	-1	1
1	0	1
1	1	1
2	-1	-1
2	0	-1
2	1	-1
2	-1	0
2	0	0
2	1	0
2	-1	1
2	0	1
2	1	1

Realizado por: Tacuri, J. 2024

La cantidad de volúmenes de gas carbónico presente en la bebida carbonatada se determinó mediante el **ANEXO B**. También se midió el pH de la solución ya que es una variable de respuesta que influye en la aceptación y características normadas para la bebida “Maíztea”.

3.3.2.2 *Análisis de discriminación para los parámetros de volúmenes de CO₂*

La discriminación de las 18 réplicas para la carbonatación de Maíztea se realizó de la siguiente manera:

1. Evaluación de los volúmenes de CO₂ y pH de las muestras, considerando su cumplimiento de la norma NTE INEN 1101 y valores revisados en literatura.
2. Optimización del valor de las variables de presión y tiempo de carbonatación en base a los resultados de carbonatación, que permitieron establecer las condiciones del proceso industrial.

3.4 Cálculos de ingeniería de diseño del proceso para la carbonatación de “Maíztea”

3.4.1 Balance de masa y energía

3.4.1.1 Balance de masa

Mediante ensayos realizados en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, se llevó a cabo la realización del proceso de carbonatación en “Maíztea”, partiendo de 10 litros de bebida no carbonatada, debido a las limitaciones de materia prima presentes en ASOPROSARIV. Según las necesidades de la microempresa se realizará una producción de 100 litros nominal para el diseño del nuevo proceso de carbonatación a “Maíztea”.

3.4.1.2 Determinación de la demanda de dióxido de carbono por cada lote de Maíztea

La cantidad de pérdida de gas carbónico en un sistema en equilibrio se estableció: 0,2 volúmenes en el llenado (Fix, 1999, pág. 164), y se utilizó la siguiente ecuación.

$$\text{kg CO}_2 = \frac{(\text{Vol} + 0,2) * 1,96 \frac{\text{g}}{\text{l}} * V_c}{1000}$$

Donde:

kg CO_2 = kg de dióxido de carbono necesarios para carbonatar un volumen V_c de bebida (kg).

Vol = volúmenes de carbonatación requeridos (l CO_2 /l de bebida).

$1,96 \frac{\text{g}}{\text{l}}$ = densidad del dióxido de carbono a temperatura y presión estándar.

V_c = Volumen del batch de bebida (l).

$$\text{kg CO}_2 = \frac{(3 + 0,2) * 1,96 \frac{\text{g}}{\text{l}} * 100 \text{ l}}{1000}$$
$$\text{kg CO}_2 = 0,6272 \text{ kg CO}_2$$

Para la cantidad de masa de gas carbónico en el espacio de cabeza se tiene la siguiente ecuación (Calva y Venegas, 2021, pág. 36).

$$\text{kg CO}_{2h} = \frac{V_{\text{CO}_2h} * 1,96 \frac{\text{g}}{\text{l}} * V_h}{1000}$$

Donde:

kg_{CO_2h} = kg de gas carbónico en el espacio de cabeza (kg).

V_{CO_2h} = Volúmenes de CO_2 en el espacio de cabeza del tanque (litro CO_2 / litro de bebida).

V_h =Volumen del espacio de cabeza del tanque diseñado.

$$kg_{CO_2h} = \frac{3 * 1,96 \frac{g}{l} * 25 l}{1000}$$

$$kg_{CO_2h} = 0,147 kg_{CO_2h}$$

➤ Carbonatación

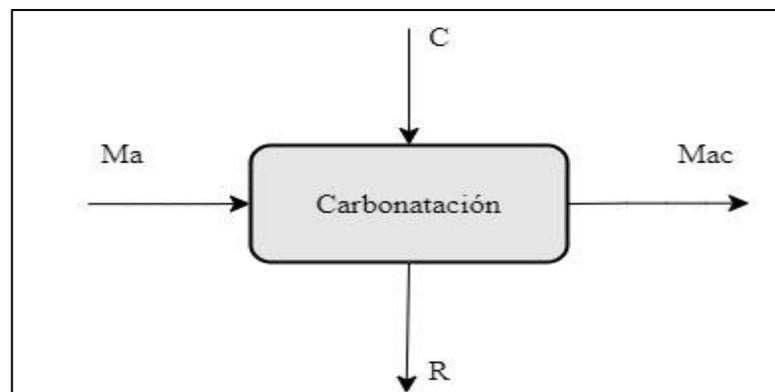


Ilustración 3-1: Diagrama de flujo del proceso de carbonatación

Realizado por: Tacuri, J. 2024

Donde:

M_a = Bebida no carbonatada “Maíztea” (kg).

M_{ac} = Bebida carbonatada “Maíztea” (kg).

C = Dióxido de carbono grado alimenticio (kg).

R = Residuo (kg).

ρ_{Ma} = Densidad de la bebida “Maíztea” $1,0155 \frac{kg}{l}$.

Entradas = Salidas

$$M_a + C = M_{ac} + R$$

$$\left(100 l * 1,0155 \frac{kg}{l}\right) + (0,6272 kg_{CO_2} + 0,147 kg_{CO_2h}) = 102,1772 kg + 0,147 kg$$

$$102,3242 kg = 102,3242 kg$$

$$\%Rendimiento\ te\acute{o}rico = \frac{M_{ac}}{M_a + C} * 100$$

$$\% \text{Rendimiento teórico} = \frac{102,1772}{101,55 + 0,6272 + 0,147} * 100$$

$$\% \text{Rendimiento teórico} = 99,85 \%$$

3.4.1.3 Balance de energía

En el diseño del proceso industrial, se carbonató 10 litros de bebida en el tanque de carbonatación del laboratorio de Procesos Industriales de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a partir de ello, se realizó el siguiente balance de energía.

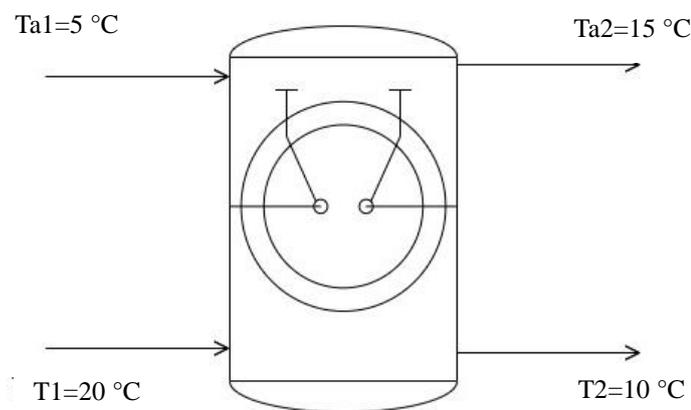


Ilustración 3-2: Condiciones de temperatura de entradas y salida en el tanque de carbonatación

Realizado por: Tacuri, J. 2024

- **Variación de temperatura**

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)}$$

Donde:

ΔT_{LMTD} = Diferencia de temperatura media logarítmica.

ΔT_1 = Diferencia de temperatura de entrada del líquido refrigerante y la bebida.

ΔT_2 = Diferencia de temperatura de salida del líquido refrigerante y la bebida.

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(20 - 5) - (15 - 10)}{\ln\left(\frac{(20 - 5)}{(15 - 10)}\right)}$$

$$\Delta T_{LMTD} = 9,10\text{ }^{\circ}\text{K}$$

- **Calor cedido por la bebida**

$$Q_c = \dot{m}_b * C_{p_f} * \Delta T_{LMTD}$$

Donde:

Q_c = Calor cedido por la bebida al refrigerante (kW).

\dot{m}_b = Flujo másico de la bebida (kg/s).

C_{p_f} = Capacidad calorífica de la bebida $\frac{kJ}{kg * ^\circ C}$

ΔT_{LMTD} = Variación de temperatura.

Para conocer la capacidad calorífica de la bebida de maíz morado, se consideró como un jugo debido a su método de elaboración y características físicas. Se determinó su valor a través de la siguiente ecuación utilizada en capacidades caloríficas de jugo de caña (Acosta et al., 2019, pág. 70; Mendieta y Escalante, 2013, pág 119).

$$C_{p_f} = 4,1868 - 2,5121 * 10^{-2} * ^\circ Bx$$

Donde:

$^\circ Bx$ = Grados Brix de la bebida.

$$C_{p_f} = 4,1868 - 2,5121 * 10^{-2} * (8 ^\circ Brix)$$

$$C_{p_f} = 3,99 \frac{kJ}{kg * ^\circ C}$$

$$Q_c = \frac{10,155 \text{ kg}}{3600 \text{ s}} * 3,99 \frac{kJ}{kg * ^\circ C} * (10 - 20) ^\circ C$$

$$Q_c = -0,1125 \text{ kW}$$

- **Calor ganado en el serpentín**

$$Q_{\text{ganado}} = U * A * \Delta T_{LMTD}$$

Donde:

Q_{ganado} = Calor del equipo (kW).

U = Coeficiente global de transferencia de calor ($\frac{W}{K * m^2}$).

A = Área de transferencia de calor (m^2).

ΔT_{LMTD} = Variación de temperatura ($^\circ C$).

T_{a1} = Temperatura de entrada del refrigerante (°C).

T_{a2} = Temperatura de salida del refrigerante (°C).

T_1 = Temperatura de entrada de la bebida (°C).

T_2 = Temperatura de salida de la bebida (°C).

El coeficiente global de transferencia de calor en el tanque de carbonatación es de $500,47 \frac{W}{K \cdot m^2}$ y el área de transferencia de calor de $0,12 m^2$ (Calva y Venegas, 2021, pág. 77).

$$Q_{\text{ganado}} = U * A * \Delta T_{LMTD}$$
$$Q_{\text{ganado}} = 500,47 \frac{W}{\text{°K} * m^2} * 0,12 m^2 * 9,10 \text{°K}$$
$$Q_{\text{ganado}} = 546,51 W = 0,54 kW$$

3.5 Proceso de producción

En base a los balances de masa, se presenta la materia prima e insumos necesarios para implementar la bebida carbonatada “Maíztea”, con el objetivo de aumentar la variedad de productos elaborados a partir de maíz morado que ofrece ASOPROSARIV.

Tabla 3-5: Materia prima e insumos necesarios para elaborar la bebida carbonatada

Materia prima-insumos	Porcentaje inicial %
Para la producción de 100 litros de una bebida carbonatada "Maíztea" a base de maíz morado	
Bebida no carbonatada "Maíztea"	99,2433
Dióxido de carbono	0,7566

Realizado por: Tacuri, J. 2024

3.5.1 Diagrama de flujo después del proceso de carbonatación

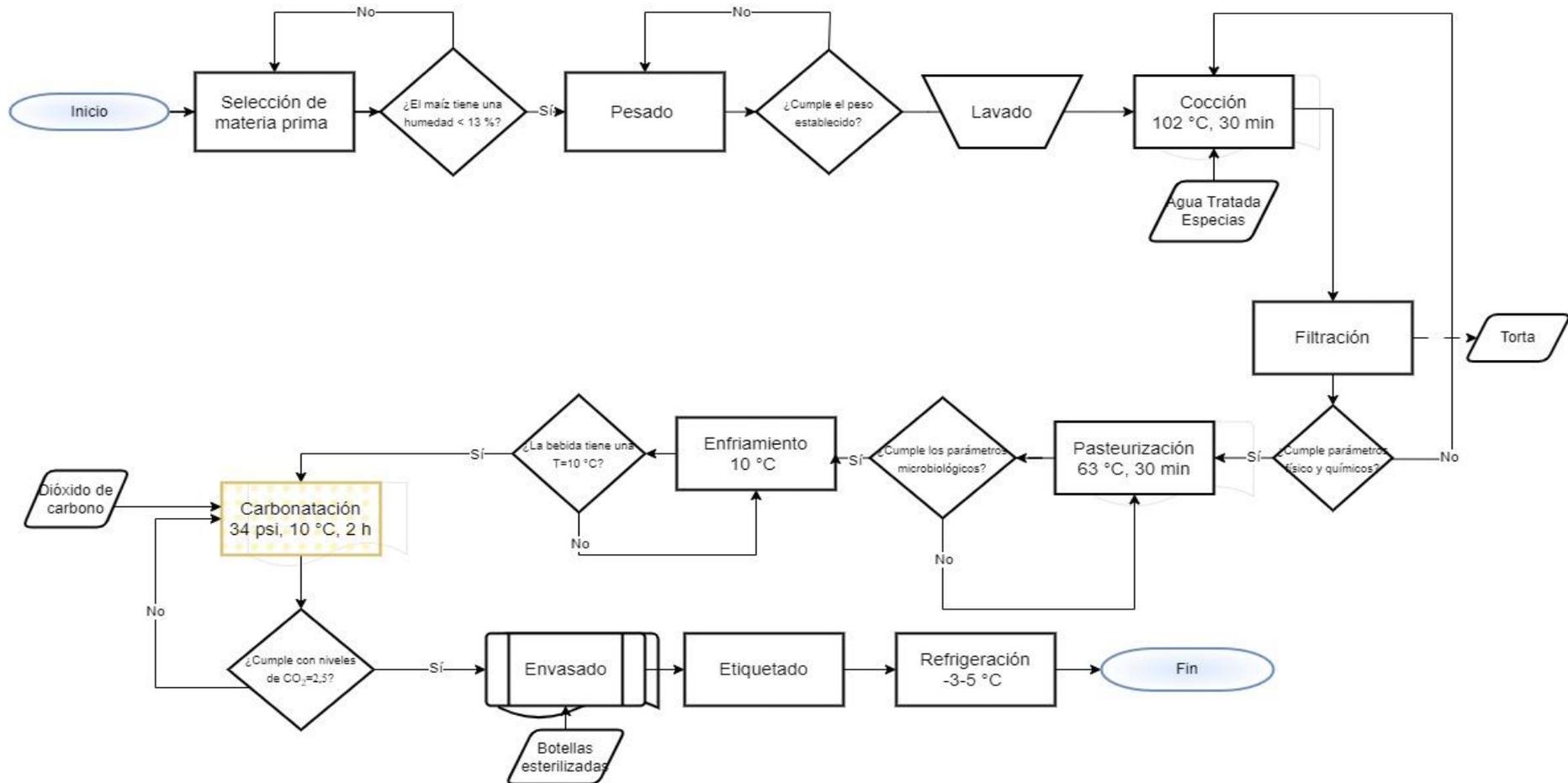


Ilustración 3-3: Diagrama de flujo del proceso de carbonatación diseñado

Realizado por: Tacuri, J. 2024

3.6 Dimensionamiento del equipo

A continuación, se proporciona los cálculos ingenieriles para el equipo de carbonatación con una capacidad de operación nominal de 100 litros, y se detalla las siguientes especificaciones.

3.6.1 Diseño del tanque de carbonatación

El tanque de carbonatación tiene un diseño tipo pulmón con un serpentín de enfriamiento de por medio, por tanto, se tomó en cuenta las ecuaciones que rigen el diseño de este tipo de equipos (Moss, 2004, pág. 15) de acuerdo con el código ASME BPVC.VIII.1-2021.

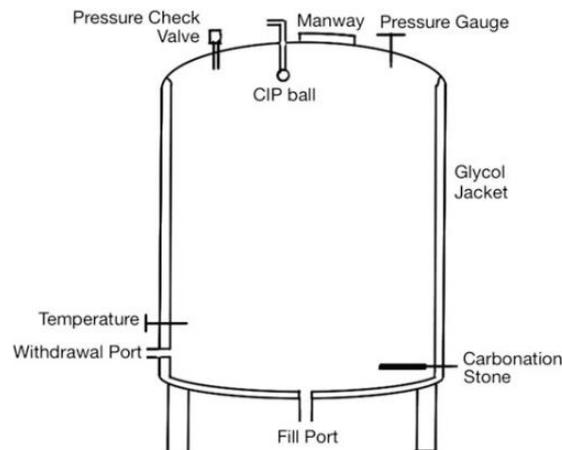


Ilustración 3-4: Tanque de carbonatación tipo batch

Fuente: (Mosher y Trantham, 2017, pág. 322)

3.6.1.1 Elección del material de fabricación

El material apropiado para este tipo de equipo es el acero inoxidable 304L grado alimenticio debido a su alta resistencia a la corrosión, durabilidad y fácil limpieza (López y Terrones, 2020, pág. 67).

3.6.1.2 Cálculo del espacio de cabeza y volumen total del tanque

El espacio de cabeza se refiere al espacio no ocupado en la parte superior del tanque una vez cargado con la bebida. Aquí se sitúa el gas carbónico para ser absorbido por el líquido. En el envasado el volumen de gas no utilizado es desprendido al ambiente, esto causa pequeñas pérdidas del insumo.

(Fix, 1999, pág. 164), propone un porcentaje del 20% del volumen total del tanque para la determinación del espacio de cabeza.

$$V_e = \frac{V_b}{1-0,2} - V_b$$

Donde:

V_e = Volumen del espacio de cabeza (m^3).

V_b = Volumen del lote de bebida “Maíztea” a carbonatar (m^3).

$$V_h = \frac{100 \text{ l}}{1 - 0,2} - 100 \text{ l}$$

$$V_h = 25 \text{ l} = 0,025 \text{ m}^3$$

El volumen total de tanque de carbonatación es la sumatoria de los dos volúmenes:

$$V_t = V_e + V_b$$

Donde:

V_t = Volumen total del tanque de carbonatación (m^3).

V_e = Volumen del espacio de cabeza (m^3).

V_b = Volumen del lote de bebida “Maíztea” a carbonatar (m^3).

$$V_t = 0,1 \text{ m}^3 + 0,025 \text{ m}^3 = 0,125 \text{ m}^3$$

- **Relación diámetro/altura**

En este aspecto del diseño no hay acuerdo científico, ya que se fundamenta en la experiencia práctica. En el diseño de una planta industrial planteado por Bolxader et al. (2016, pág. 27) la relación para tanques cilíndricos es: 1,75 y para Moss (2004, pág. 30) establece una relación inferior a 1,42 debido al estrés latitudinal en el cabezal y a que ésta tienda a fallar por pandeo elástico.

$$R = \frac{h}{\phi} \leq 1,42$$

$$R = \frac{h}{\phi} \approx 1,75$$

Donde:

R= Relación altura/diámetro (adimensional).

h= Altura del tanque de carbonatación (m).

ϕ = Diámetro del tanque de carbonatación (m).

Cabe recalcar, que este criterio será propio del diseñador y la necesidad de la empresa. En este caso se trabajó con 1,40 ya que la presión es de 34 psi y se desea que el equipo tenga un tiempo de vida prolongado.

3.6.1.3 Cálculo del diámetro y la altura

En términos de diseño, se consideró que el tanque de carbonatación tiene una forma cilíndrica, lo que proporcionará una aproximación más precisa. La ecuación siguiente se utiliza para calcular su volumen:

$$V_t = \frac{\pi h \phi^2}{4}$$

Donde:

V_t = Volumen total del tanque de carbonatación (m^3).

h= Altura del tanque de carbonatación (m).

ϕ = Diámetro interno del tanque de carbonatación (m).

Sustituyendo la altura por alguna de las relaciones diámetros/alturas anteriores se tiene:

$$\phi = \sqrt[3]{\frac{4 V_t}{R\pi}}$$

Donde:

V_t = Volumen total del tanque de carbonatación (m^3).

R= Relación altura/diámetro (adimensional).

$$R = \frac{h}{\phi} \approx 1,40$$

$$\begin{aligned}\phi &= \sqrt[3]{\frac{4 V_t}{R\pi}} \\ \phi &= \sqrt[3]{\frac{4 * 0,125 \text{ m}^3}{1,40 * \pi}} \\ \phi &= 0,48 \text{ m}\end{aligned}$$

La altura del tanque es la multiplicación de la relación altura/diámetro con el diámetro:

$$h = R \phi$$

Donde:

h = altura del tanque de carbonatación (m).

R = relación altura/diámetro (adimensional).

ϕ = Diámetro interno del tanque de carbonatación (m).

$$h = 1,42 * 0,48 \text{ m}$$

$$h = 0,67 \text{ m}$$

- **Presión de diseño**

$$P_D = 1,1 * P_o$$

Donde:

P_D =Presión de diseño (psi).

P_o =Presión de operación (psi).

$$P_D = 1,1 * 34 \text{ psi}$$

$$P_D = 37.4 \text{ psi} \approx 40 \text{ psi}$$

- **Temperatura de diseño**

Se establece una temperatura por encima de los 20 °C de operación del tanque de carbonatación.

$$T_D = T_o + 20 \text{ °C}$$

Donde:

T_D = Temperatura de diseño (°C).

T_o = Temperatura de operación (°C).

$$T_D = 10 \text{ °C} + 20 \text{ °C}$$

$$T_D = 30 \text{ °C}$$

- **Tensión máxima admisible del acero inoxidable 304L**

Es la tensión unitaria máxima permitida en un material determinado utilizado en un recipiente construido presurizado (Asociación Americana de Ingenieros Mecánicos, 2021, pág. 17).

MAXIMUM ALLOWABLE STRESS VALUES IN TENSION FOR HIGH-ALLOY STEEL (CAUTION: See UW-12 for vessels constructed under part UW)														
Specification		Maximum Allowable Stress, ksi (Multiply by 1000 to Obtain psi), for Metal Temp., °F, Not Exceeding												
Number	Grade	-20 to 100	200	300	400	500	600	650	700	750	800	850	900	950
SA-240	304	18,8	17,8	16,6	16,2	15,9	15,9	15,9	15,9	15,5	15,2	14,9	14,7	14,4
SA-240	304L	15,7	15,7	15,3	14,7	14,4	14	13,7	13,5	13,3	13	—	—	—
SA-240	316	18,8	18,8	18,4	18,1	18,0	17,0	16,7	16,3	16,1	15,9	15,7	15,5	15,4
SA-240	316L	15,7	15,7	15,7	15,5	14,4	13,5	13,2	12,9	12,6	12,4	12,1	—	—

Ilustración 3-5: Tensión máxima admisible en función de la temperatura

Fuente:(Bolxader et al., 2016, pág. 47)

La **Ilustración 3-5** indica los valores de la tensión máxima en unidades de ksi. A 30 °C se obtuvo 15,7 ksi.

- **Espesor de la cáscara**

Para calcular el espesor del cilindro se tomó los parámetros mecánicos utilizados por (Bolxader et al., 2016, pág. 29), quien realizó un diseño de tanque presurizado similar.

$$t_s = \frac{P_D * R}{S * E - 0,6 * P_D} + C. A$$

Donde:

t_s = Espesor de la cáscara del tanque (mm).

P_D = Presión de diseño interna del tanque (bar).

R = Radio interno del tanque (mm).

S = Tensión máxima admisible (bar).

E= Factor de soldadura (0,85) (Asociación Americana de Ingenieros Mecánicos, 2021, pág. 105).

C.A= Tolerancia de corrosión (2 mm)(Instituto Americano de Petróleo, 2013, pág. 180).

$$t_s = \frac{2,7579 \text{ bar} * 240 \text{ mm}}{1082.477 \text{ bar} * 0,85 - 0,6 * 2,7579} + 2 \text{ mm}$$

$$t_s = 2,72 \text{ mm}$$

- **Diámetro externo del tanque de carbonatación**

$$\phi_{t, \text{ext}} = \phi_{t, \text{int}} + 2 * t_c$$

Donde:

$\phi_{t, \text{ext}}$ = Diámetro externo del tanque de carbonatación (mm).

$\phi_{t, \text{int}}$ = Diámetro interno del cabezal (mm).

t_c = Espesor del cabezal (mm).

$$\phi_{t, \text{ext}} = 480 \text{ mm} + 2 * 2,72 \text{ mm}$$

$$\phi_{t, \text{ext}} = 485,44 \text{ mm}$$

3.6.1.4 Selección del tipo de cabezal

Es la parte curva o cóncava del tanque de carbonatación, esta forma le permite al equipo soportar el estrés producido por la presión. Los cabezales elípticos son económicos y reducen el espesor del material de acero utilizado (Yahya et al., 2018, pág. 656).

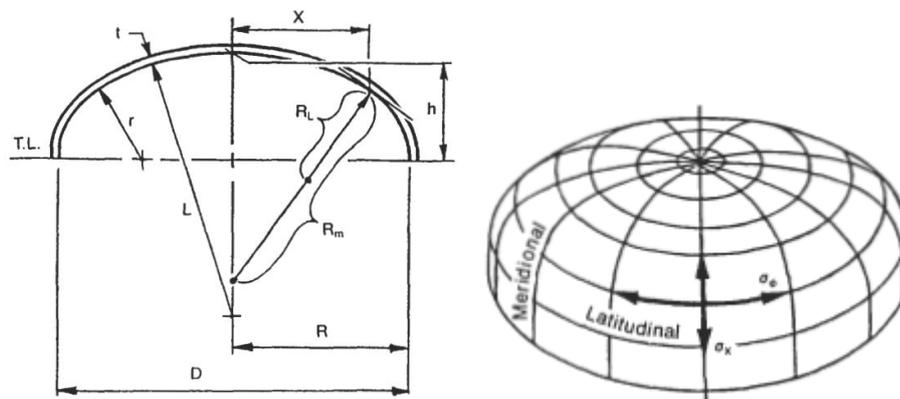


Ilustración 3-6: Dimensiones para el cabezal

Fuente: (Moss, 2004, pág. 30)

- **Espesor de los cabezales**

El espesor está basado en el código ASME (Díaz del Castillo, 2018, pág. 37) y se tomó los parámetros mecánicos de (Bolxader et al., 2016, págs. 26-32).

$$t_c = \frac{P_D * \varnothing}{2 * S * E - 0.2 * P_D} + C. A.$$

Donde:

t_c = Espesor de los cabezales (mm).

P_D = Presión de diseño interna del tanque (bar).

\varnothing = Diámetro interno del tanque (mm).

S = Tensión máxima admisible (bar).

E = Factor de soldadura (0,85) (Asociación Americana de Ingenieros Mecánicos, 2021, pág. 105).

$C.A$ = Tolerancia de corrosión (2 mm) (Instituto Americano de Petróleo, 2013, pág. 180).

$$t_c = \frac{40 \text{ psi} * \frac{0,06894 \text{ bar}}{1 \text{ psi}} * 480 \text{ mm}}{2 * 1082.477 \text{ bar} * 0,85 - 0.2 * 2,7579 \text{ bar}} + 2 \text{ mm}$$

$$t_c = 2,61 \text{ mm}$$

Para una mayor seguridad se sumó una tolerancia del 10 % al espesor del cabezal:

$$t_c = 2,61 * 1,10 = 2,87 \text{ mm}$$

- **Diámetro externo del cabezal**

$$\varnothing_{\text{ext}} = \varnothing_{\text{int}} + 2 * t_c$$

Donde:

\varnothing_{ext} = Diámetro externo del cabezal (mm).

\varnothing_{int} = Diámetro interno del cabezal (mm).

t_c = Espesor del cabezal (mm).

$$\varnothing_{\text{ext}} = 480 \text{ mm} + 2 * 2,87 \text{ mm}$$

$$\varnothing_{\text{ext}} = 485,75 \text{ mm}$$

- **Altura de los cabezales**

Se aplica las ecuaciones utilizadas por Bolxader et al. (2016, pág.50) y son las siguientes:

$$DH = (0,1935 * \varnothing) - (0,455 * t_c)$$

$$SF = 3,5 * t_c$$

$$TH = SF + DH$$

Donde:

t_c = Espesor del cabezal (m).

\varnothing = Diámetro interno del tanque (m).

$$DH = (0,1935 * 0,48 \text{ m}) - (0,455 * 2,87 * 10^{-3} \text{ m}) = 0,094$$

$$SF = 3,5 * 2,87 * 10^{-3} = 0,010$$

$$TH = 0,10 \text{ m}$$

3.6.2 *Diseño del sistema de absorción de gas carbónico en la bebida*

3.6.2.1 *Regulador de presión de dióxido de carbono*

Los reguladores de CO₂ permiten al usuario conocer la presión dentro del tanque de almacenamiento y permite regular la presión de salida al tanque de carbonatación. Constan de un manómetro, un cuerpo regulador y una(s) válvulas de salida. El cuerpo regulador contiene un diafragma y una válvula con resorte que controlan el flujo de CO₂ (Calva y Venegas, 2021, pág. 38).



Ilustración 3-7: Reguladores de presión

Realizado por: Tacuri, J. 2024

Para seleccionar el regulador adecuado se tiene en cuenta las siguientes características:

- La presión dada para el envasado del CO₂ en el tanque de almacenamiento.
- La presión dada para carbonatar la bebida.
- El número de piedras difusoras que tiene el carbonatador.

3.6.2.2 Sistema de difusión en el tanque de carbonatación

El proceso de carbonatación de una bebida no carbonatada es a través del contacto gas-líquido, donde el área interfacial de contacto entre estos componentes es un parámetro por considerar ya que éste depende de las propiedades fisicoquímicas del líquido, el tamaño de burbuja y la velocidad superficial del gas (Bouaifi et al., 2001, pág.110).

De este modo, se requiere incrementar el área superficial de contacto entre el CO₂ y la bebida no carbonatada, pero no existe una fórmula específica que determine el comportamiento de las burbujas del gas carbónico dentro del tanque, por lo que se propone forzar al gas a fluir a través de un sistema que produzca burbujas de poco diámetro (<1 mm), ya que es conocido que producirá mayor contacto superficial con el líquido y como consecuencia una mayor absorción del gas en la bebida (Treybal et al., 1980, pág. 158).

- **Piedras de carbonatación**

Son pequeños sólidos porosos de 0,5 micrones, en su mayoría, que garantizan una carbonatación uniforme del líquido ya que su estructura permite el paso de diminutas burbujas de CO₂ hacia la bebida: hace que la calidad de espuma sea fina (Zahm y Nagel, 2017, pág. 1).

Para este tipo de tanque de carbonatación, que tiene un diámetro interior de 0,48 m se utilizará 4 piedras de difusión de CO₂ con orificios de tamaño máximo a 3 mm (Treybal et al., 1980, pág 158). A continuación, se muestra una de las cuatro piedras que mide 1/2" de diámetro por 1" de largo y su largo total es de 7/8".



Ilustración 3-8: Piedra difusora de carbonatación

Fuente: (Zahm y Nagel, 2017, pág. 1)

La piedra va a estar ubicada a 10 cm del tanque de carbonatación porque es la altura a la cual inicia el cascarón del cilindro. También se calculó la nueva presión de alimentación, ya que existe una presión hidrostática por cada litro de bebida. Para ello, se tomó en cuenta que por cada 71 cm de líquido existe 1 psi de presión sobre las piedras de carbonatación (Calva y Venegas, 2021, pág. 40).

$$P_h = \rho * g * h * 4 \text{ piedras de carbonatación}$$

Donde:

P_h = Presión hidroestática (psi).

ρ = Densidad del líquido $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$.

g = Gravedad $\left(9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$.

h = Altura del líquido (m).

$$P_h = 1015,5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * (0,55 + 0,1) \text{m} * 4$$

$$P_h = 6468,735 \text{ Pa} * 4$$

$$P_h = 3,76 \text{ psi}$$

- **Presión total de alimentación**

$$P_T = P_{\text{húm}} + P_h + P_D$$

Donde:

P_T = Presión total de alimentación (psi).

$P_{\text{húm}}$ = Presión húmeda (psi).

P_h = Presión hidroestática (psi).

P_D = Presión de diseño (psi).

$$P_T = 1 \text{ psi} + 3,76 \text{ psi} + 40 \text{ psi}$$

$$P_T = 44,76 \text{ psi} \approx 45 \text{ psi}$$

3.6.3 *Diseño del sistema de enfriamiento*

3.6.3.1 *Elección del sistema de enfriamiento dentro del tanque de carbonatación*

Para el sistema de enfriamiento se tuvo en cuenta el gasto energético y el rendimiento de la transferencia de calor que, a su vez depende de la temperatura a la que se requiere llegar. Existe tres tipos de diseño para un tanque que trabaja por lotes (BENDEL, 2020):

- Chaquetas al tanque de carbonatación: Proporciona una gran área de transferencia de calor y no representa un alto grado de contaminación del material, pero su precio aumenta proporcional a la presión con la que se trabaja.
- Camisas con hoyuelos: Útil para trabajar a presiones menores a 100 psi si se trabaja con ciclos de vapor y agua de enfriamiento.
- Serpientes internos: Proporciona una buena área de contacto para la sustancia a enfriar o calentar mientras se manejan altas presiones internas, sin embargo, no ofrece un grado de seguridad contra la contaminación.

- **Tipos de serpentín**

Existe cuatro tipos de serpentín y se elige según el diseño del tanque de carbonatación. Se propone un serpentín tipo helicoidal debido a que es compacto, fácil de limpiar y tiene buena eficiencia térmica producida por el patrón de flujo secundario en las curvaturas del tubo (Ardila e Hincapié, 2012, págs. 210-211).

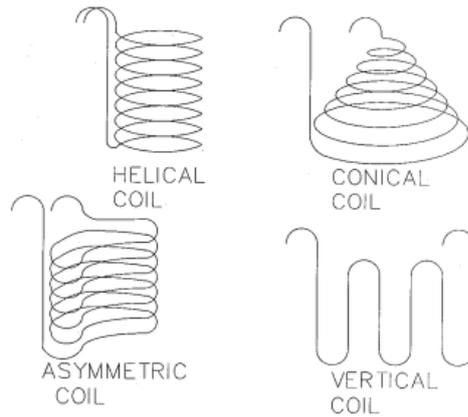


Ilustración 3-9: Tipos de serpentines

Fuente: (Joye y Smith, 2000, pág. 48)

El número adimensional de Dean indica los vórtices que se forman en las curvas del tubo, éstos influyen en la transferencia de calor, ya que redistribuyen la velocidad y la temperatura del fluido en el serpentín como se visualiza en la **Ilustración 3-10**.

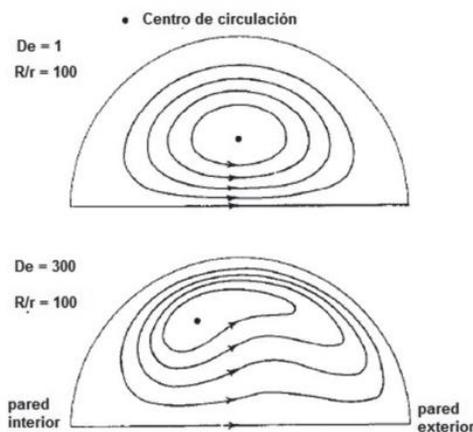


Ilustración 3-10: Comparación de las líneas de flujo secundario para alto y bajo Dean.

Fuente: (Ardila e Hincapié, 2012, pág. 211)

La **Tabla 3-6** presenta los parámetros de cálculo para el serpentín que se tuvieron en cuenta para su diseño, tomando como material de construcción a un tubo: 304L 1/8 (in) diámetro nominal cédula 10.

Tabla 3-6: Parámetros para cálculos del serpentín

Parámetros	Simbología	Rango o valor	Unidades
Material		Acero inoxidable	
Conductividad térmica del serpentín	h_0	630	W/m ² °K
Temperatura del refrigerante de entrada	T_{a1}	5	°C
Temperatura del refrigerante de salida	T_{a2}	15	°C
Temperatura de entrada de la bebida	T_1	20	°C
Temperatura de salida de la bebida	T_2	10	°C
Calor específico del refrigerante	Cp_a	4,1865	kJ/kg °K
Calor específico de la bebida	Cp_f	3,99	kJ/kg °C
Diámetro externo del serpentín	d_e	10,30	mm
Diámetro interno del serpentín	d_i	7,9	mm
Espesor del serpentín	e	1,20	mm
Densidad de la bebida	ρ_{Ma}	1,0155	kg/l
Volumen de la bebida	V_b	100	l
Masa de la bebida	m_b	101,55	kg

Realizado por: Tacuri, J. 2024

3.6.3.2 Cálculos para las dimensiones del serpentín

- **Cálculo del flujo másico de la bebida**

$$\dot{m}_b = \frac{m_b}{t}$$

Donde:

\dot{m}_b = Flujo másico de la bebida “Maíztea” (kg/s).

m_b = Masa de la bebida “Maíztea” (kg).

t = Tiempo.

$$\dot{m}_b = \frac{101,55 \text{ kg}}{3600 \text{ s}}$$

$$\dot{m}_b = 0,028 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

- **Cálculo de la temperatura media de la bebida**

$$T_m = \frac{T_1 + T_2}{2}$$

Donde:

T_m = Temperatura media de la bebida ($^{\circ}\text{C}$).

T_1 = Temperatura de entrada de la bebida ($^{\circ}\text{C}$).

T_2 = Temperatura de salida de la bebida ($^{\circ}\text{C}$).

$$T_m = \frac{20 + 10}{2} = 15^{\circ}\text{C}$$

- **Cálculo del flujo másico del refrigerante**

$$\dot{m}_r = \frac{\Delta T_b * \dot{m}_b * C_{p_f}}{\Delta T_r * C_{p_r}}$$

Donde:

\dot{m}_r = Flujo másico del refrigerante ($\frac{\text{kg}}{\text{s}}$).

\dot{m}_b = Flujo másico de la bebida ($\frac{\text{kg}}{\text{s}}$).

ΔT_b = Variación de la temperatura en la bebida ($^{\circ}\text{C}$).

ΔT_r = Variación de la temperatura en el refrigerante ($^{\circ}\text{C}$).

C_{p_f} = Capacidad calorífica de la bebida ($\frac{\text{kJ}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}}$).

C_{p_r} = Capacidad calorífica del refrigerante ($\frac{\text{kJ}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}}$).

$$\dot{m}_r = \frac{(20 - 10)^{\circ}\text{C} * 0,028 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * 3,99 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}}}{(15 - 5) * 4,1865 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}}}$$
$$\dot{m}_r = 0,027 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

- **Cálculo del caudal del refrigerante**

$$Q = \frac{\dot{m}_r}{\rho_h}$$

Donde:

Q = Caudal del refrigerante ($\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$).

\dot{m}_r = Flujo másico del refrigerante ($\frac{\text{kg}}{\text{s}}$).

ρ_h = Densidad del refrigerante a temperatura media $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$.

$$Q = \frac{0,0268 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{999,173 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$
$$Q = 2,823 * 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

- **Cálculo de la velocidad del refrigerante**

$$v_a = \frac{Q}{A_s}$$

Donde:

v_a = Velocidad del refrigerante en el serpentín $\left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$.

Q = Caudal del refrigerante $\left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)$.

A_s = Área del diámetro interno del serpentín (m^2) .

$$v_a = \frac{2,823 * 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{\frac{\pi}{4} * (0,0079 \text{ m})^2}$$
$$v_a = 0,548 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Se aplicaron las ecuaciones indicadas en (Kakaç et al., 2012, pág. 97).

- **Cálculo del número adimensional de Reynolds y Prandtl**

$$\text{Re} = \frac{d_i * v_a * \rho_h}{\mu_a}$$
$$\text{Pr} = \frac{C_{p_r} * \mu_a}{k_a}$$

Donde:

d_i = Diámetro interno del serpentín (m).

v_a = velocidad del refrigerante en el serpentín $\left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$.

ρ_h =densidad del refrigerante en el serpentín a una temperatura media $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$.

μ_a = viscosidad dinámica del refrigerante en el serpentín a una temperatura media $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{s}}\right)$.

C_{p_r} = calor específico del refrigerante $\left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{K}}\right)$.

k_a =conductividad térmica del refrigerante $\left(\frac{\text{W}}{\text{K}\cdot\text{m}}\right)$.

$$\text{Re} = \frac{0,0079 \text{ m} * 0,897 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 999,173 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1,165 * 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{s}}}$$

$$\text{Re} = 3715,37$$

El número de Reynolds es de 3715,37 lo cual indica que estamos trabajando con un flujo turbulento.

$$\text{Pr} = \frac{4,1865 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * ^\circ\text{K}} * 1,165 * 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{s}} * \frac{1000 \text{ J}}{1 \text{ kJ}}}{0,58 \frac{\text{W}}{\text{K}\cdot\text{m}}}$$

$$\text{Pr} = 8,41$$

- **Cálculo del número Nusselt**

Se calculó el número Nusselt debido al fenómeno de conducción, convección forzada turbulenta, y comportamiento newtoniano:

$$\text{Nu}_b = \frac{(f/2)(\text{Re} - 1000)\text{Pr}}{1 + 12.7(f/2)^{1/2}(\text{Pr}^{2/3} - 1)}$$

$$f = (1,58 * \ln(\text{Re}) - 3,28)^{-2}$$

Donde:

Nu_b = Número Nusselt.

f = Factor de fricción.

Re = Número de Reynolds.

Pr =Número de Prandtl.

$$f = (1,58 * \ln(3715,37) - 3,28)^{-2}$$

$$f = 0,011$$

$$Nu_b = \frac{(0,011/2)(3715,37 - 1000)(8,41)}{1 + 12,7(0,011/2)^{1/2}((8,41)^{2/3} - 1)}$$

$$Nu_b = 31,06$$

- **Cálculo del Coeficiente de Convección Interior (Correlación de Gnielinski's)**

$$h_i = \frac{Nu_b * k}{d_i}$$

Donde:

k= Conductividad térmica del fluido refrigerante.

d_i= Diámetro interno del serpentín.

$$h_i = \left(\frac{31,06 * 0,58 \frac{W}{K * m}}{0,0079 m} \right)$$

$$h_i = 2280,36 \frac{W}{K * m^2}$$

- **Cálculo de Coeficiente de Convección Exterior (h₀)**

En la elección de h₀, se eligió a una temperatura inferior a 25 °C con una calidad de “bueno” para el serpentín de grado comercial helicoidal: el valor es de 630 $\frac{W}{K * m^2}$.

Tabla 3-7: Coeficiente de convección exterior para diferentes serpentines

	Diseño: bobina superior montada en la superficie del líquido, excepto donde se indique lo contrario.	h ₀ a 25 °C W/m ² K	h ₀ a 40 °C W/m ² K
Mejor	Bobina horizontal asimétrica, espaciado 1 D	761	1000
Bueno	Bobina horizontal, espaciado 2D	727	994
	Bobina helicoidal comercial	630	909
	Bobina cónica, con el ápice hacia abajo	693	892
	Bobina horizontal, 1D espacio	676	880
Medio	Bobina helicoidal comercial, descansando en el fondo	505	812
	Bobina cónica, ápice hacia arriba	545	812
	Bobina vertical, arriba en la superficie del líquido	505	750
Bajo	Bobina horizontal, sin espacios	312	528
	Bobina horizontal, sin espacios. Descansando en el fondo	-	227

Fuente: (Joye y Smith 2000, pág. 51)

- **Determinación del coeficiente global de transferencia de calor**

El coeficiente global de transferencia de calor se calcula de la siguiente manera:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o}}$$

Donde:

U = Coeficiente global de transferencia de calor $\left(\frac{W}{K \cdot m^2}\right)$.

h_i = Coeficiente de convección interior $\left(\frac{W}{K \cdot m^2}\right)$.

h_o = Coeficiente de convección exterior $\left(\frac{W}{K \cdot m^2}\right)$.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{2280,36 \frac{W}{K \cdot m^2}} + \frac{1}{630 \frac{W}{K \cdot m^2}}}$$

$$U = 493,63 \frac{W}{K \cdot m^2}$$

- **Cálculo del calor cedido por la bebida**

$$Q_c = \dot{m}_b * C_{p_f} * \Delta T_{LMTD}$$

Donde:

Q_c = Calor cedido por la bebida al refrigerante (kW).

\dot{m}_b = Flujo másico de la bebida (kg/s).

C_{p_f} = Capacidad calorífica de la bebida $\left(3,99 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}\right)$

ΔT_{LMTD} = Variación de temperatura

$$Q_c = 0,0282 \frac{kg}{s} * 3,99 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} * (10 - 20)^\circ C$$

$$Q_c = -1,124 \text{ kW}$$

- **Cálculo de la variación media logarítmica y factor de corrección**

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_1 - T_{a1}) - (T_{a2} - T_2)}{\ln \left(\frac{T_1 - T_{a1}}{T_{a2} - T_2} \right)}$$

Donde:

T_1 = Temperatura de entrada de la bebida (°C)

T_2 = Temperatura de salida de la bebida (°C)

T_{a1} = Temperatura de entrada del refrigerante (°C)

T_{a2} = Temperatura de salida del refrigerante (°C)

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(20 - 5) - (15 - 10)}{\ln \left(\frac{(20 - 5)}{(15 - 10)} \right)}$$

$$\Delta T_{LMTD} = 9,10 \text{ °C ó °K}$$

Se supuso que es un intercambiador de calor de flujo cruzado por lo que su factor de corrección viene dado por su efectividad de la temperatura (P) y la relación de tasa de capacidad calorífica (R). Luego se interceptaron las rectas en la **Ilustración 3-11**.

$$P = \frac{T_{a2} - T_{a1}}{T_1 - T_{a1}} \quad R = \frac{T_1 - T_2}{T_{a2} - T_{a1}}$$

Factor de corrección = **0,82**

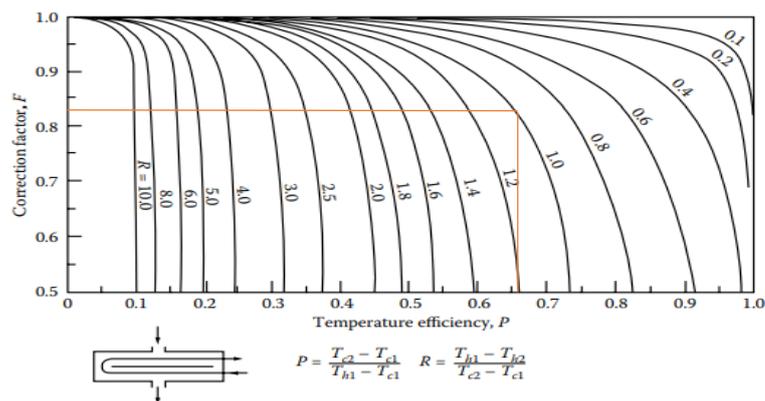


Ilustración 3-11: Factor de corrección para intercambiador de calor de flujo cruzado con dos pasos de tubo

Fuente:(Kakaç et al., 2012, pág. 50)

- **Cálculo del área del serpentín**

$$A_s = \frac{Q_c}{U * F * LMTD}$$

Donde:

A_s = Área del serpentín (m²).

Q_c = Calor cedido por la bebida al refrigerante (kW).

U = Coeficiente global de transferencia de calor ($\frac{W}{K * m^2}$).

F = Factor de corrección.

$LMTD$ = Variación media logarítmica (°C ó °K).

$$A_s = \frac{1,124 \text{ kW} * 1000}{493,63 \frac{W}{K * m^2} * 0,82 * 9,10 \text{ °C}}$$

$$A_s = 0,3052 \text{ m}^2$$

- **Cálculo de la longitud del serpentín**

$$L_s = \frac{A_s}{\pi * d_e}$$

Donde:

L_s = Longitud del serpentín (m).

A_s = Área del serpentín (m²).

d_e = Diámetro externo del serpentín (m).

$$L_s = \frac{0,3052 \text{ m}^2}{\pi * 0,01030 \text{ m}}$$

$$L_s = 9,43 \text{ m}$$

Ahora se determina el paso (p) según la ecuación utilizada por (Pérez et al., 2019, pág. 66).

$$p = 1,5 * d_e$$

Donde:

p = Paso (m).

d_e = Diámetro externo del serpentín (m).

$$p = 1,5 * 0,0103 \text{ m}$$

$$p = 0,01545 \text{ m}$$

- **Cálculo del número de vueltas**

Se obtuvo una medida de 0,16 m para el diámetro, que es la tercera parte del diámetro del tanque de carbonatación.

$$N = \frac{L_s}{\sqrt{(\pi * D_s)^2 + p^2}}$$

Donde:

N = Número de vueltas del serpentín.

L_s = Longitud del serpentín (m).

D_s = Diámetro de vueltas (m).

p = Paso (m).

$$N = \frac{9,43 \text{ m}}{\sqrt{(\pi * 0,16 \text{ m})^2 + (0,01545)^2}}$$

$$N = 18,21 \approx 18 \text{ vueltas}$$

Existe una separación entre el serpentín y el fondo del tanque de 0,10 m debido a las piedras de carbonatación.

- **Cálculo de la altura del serpentín**

$$H = N * p + d_e$$

Donde:

H = Altura del serpentín (m)

N = Número de vueltas del serpentín

p = Paso (m)

d_e = Diámetro externo del serpentín (m)

$$H = 18 * 0,01545 + 0,01030 \text{ m}$$

$$H = 0,28 \text{ m}$$

3.6.4 Llenado a contrapresión

Una vez que la bebida fue carbonatada se procede a envasarla. Sin embargo, se presenta un problema de equilibrio de presiones. De acuerdo con la ley de Henry, al momento de trasvasar la bebida “Maíztea” a la botella, se observa un fenómeno llamado “fobbing” que se caracteriza por la formación excesiva de espuma, lo cual dificulta el llenado de botellas, ya que no se inyecta una cantidad exacta de líquido en el recipiente y se tiene un nivel de llenado reducido (Steen y Ashurst, 2006, pág. 137). Además, esto conlleva al contacto con el oxígeno, pérdida de niveles de CO₂ y pérdida de sabor para la bebida carbonatada. Por ello, ASOPROSARIV debe contar con un sistema de llenado a contrapresión de simple evacuación.

La **Ilustración 3-12** muestra el sistema donde se presuriza las botellas con gas carbónico del recipiente extrayendo la máxima cantidad de aire (Dege, 2011, págs. 209-211). Luego se inyecta CO₂ al 90%, hasta establecer un equilibrio de presiones entre el sistema de llenado y la botella, y se cierra su válvula.

Después se abre la válvula para que el gas del espacio de cabeza salga de forma controlada (Steen y Ashurst, 2006, pág. 138). Este es el punto crítico del llenado, ya que, si no se controla de forma adecuada la salida de gas, este podría mezclarse con el oxígeno del aire, lo cual podría afectar de forma negativa a la calidad producto (Dege, 2011, pág. 211).

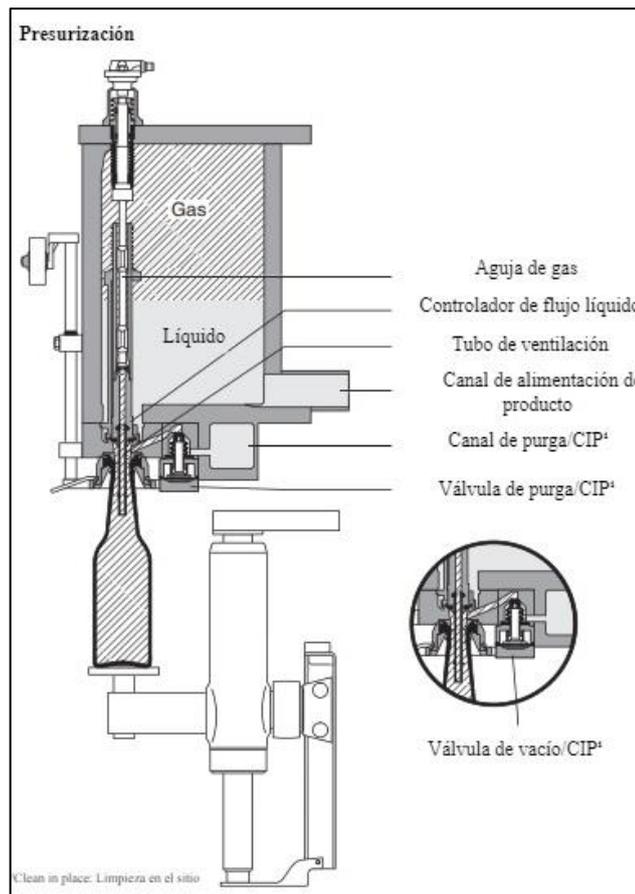


Ilustración 3-12: Presurizado de botellas por el sistema a contrapresión

Fuente: (Dege, 2011, pág. 210)

Aspectos que considerar:

- El líquido debe descender por las paredes de la botella para evitar la generación de espuma.
- La temperatura de envasado debe ser entre los 14 y 20 °C (Steen y Ashurst, 2006, pág. 144).
- Si se llenan botellas de hasta 500 ml, el paso necesario será de 70 mm.
- Se deben utilizar sondas de capacitancia simples, que son fáciles de limpiar, pequeñas y efectivas.

3.7 Requerimientos de tecnología, equipos y maquinarias

3.7.1 Materiales necesarios para el área de producción

Tabla 3-8: Equipos y materiales necesarios para la elaboración de la bebida carbonatada "Maíztea"

Equipos	Características	
Tanque de almacenamiento de CO ₂	Cilindro de acero o aluminio inconsumible que tiene gas comprimido licuado de dióxido de carbono. Su peso comercial es: 10, 25 y 30 kg. Es un gas no inflamable. Indispensable para la carbonatación de la bebida.	
Tanque de carbonatación	Tanque presurizado de acero inoxidable que permite la absorción de dióxido de carbono en la bebida. Contiene: Piedras difusoras, serpentín, válvulas instrumentos de control de presión y temperatura.	
Llenadora a contra presión de 2 vías	Dispositivo de acero inoxidable con válvulas a contra presión encargado del llenado de botellas (70 unidades/h) de vidrio o PET.	
Cuarto frío	Espacio destinado para la conservación de la bebida carbonatada a una temperatura entre -3 y 5 °C.	
Materiales	Características	
Válvulas	Bola	Mecanismo de llave que sirve para regular el flujo de la bebida. Consiste en una esfera perforada donde el cierre y apertura se debe al giro de la bola.
	Alivio	Diseño de válvula que sirve para liberar el dióxido de carbono cuando su presión total supere los límites establecidos. Evita explosiones inesperadas y alarga la vida útil del equipo.
	Check	Dispositivo que permite el paso del gas carbónico en una sola dirección para evitar la inundación de bebida en las tuberías de alimentación de gas.
Codos	Accesorio que permite un cambio de dirección de la bebida.	
Adaptadores	Permiten aumentar o disminuir el diámetro de una unión para una tubería. Usado para ajustar instrumentos de medición.	
Acoples rápidos	Dispositivo neumático utilizado para conectar dos tubos o mangueras. Permite una rápida conexión y desconexión.	
Neplos	Trozo corto de tubo con rosca en cada uno de sus extremos que sirve para unir tubos extensos.	
Regulador de CO ₂	Dispositivo con una o tres vías de salida de gas a partir del tanque de almacenamiento. Cuenta con dos manómetros: uno para medir la presión del tanque de almacenamiento de CO ₂ y otro para regular la presión de salida de operación.	
Manguera de grado alimenticio	Tipo de manguera atóxica en plástico o vinyl con refuerzo de nylon y alambre. Permite una temperatura de trabajo entre -5 a 60 °C.	

Realizado por: Tacuri, J. 2024

3.7.2 *Materiales necesarios para el área de control de calidad*

La **Tabla 3-9** explica los materiales, instrumentos, equipos y dispositivos que se necesitan para realizar un control de calidad a la bebida carbonatada “Maíztea”.

Tabla 3-9: Materiales necesarios para el control de calidad de la bebida

Materiales	Características
Balanza analítica	Equipo de alta sensibilidad para medir el peso de los reactivos e insumos que se requiere en mínimas cantidades
Refractómetro	Dispositivo que proporciona la medición del índice de refracción en muestras líquida, y permite obtener los grados °Brix de la bebida
Potenciómetro	Dispositivo utilizado para medir el pH de una disolución mediante el cambio de potencial eléctrico.
Matraz Erlenmeyer	Recipiente de vidrio diseñado para contener y medir líquidos, para hacer titulaciones o hacer reaccionar sustancias.
Bureta	Recipiente de vidrio en forma alargada que permite medir con precisión cantidad pequeñas de reactivos. Útil para la titulación ácido-base de la bebida.
Pipetas	Instrumento volumétrico de vidrio utilizado para medir líquidos con precisión.
Pisetas	Tipo de frasco de laboratorio de plástico o de vidrio utilizado para dirigir disolvente, por lo general agua destilada.
Balón aforado	Instrumento de vidrio utilizado para medir y mezclar soluciones líquidas. Útil para la preparación de diluciones en análisis de sólidos solubles y antocianinas.
Vaso de precipitación	Recipiente en forma de vaso que se utiliza para transportar líquidos a otros recipientes, instrumentos y/o equipos de laboratorio.
Afrómetro	Aparato combinado de un manómetro y una aguja que permite medir la presión dentro de botellas que contienen bebidas carbonatadas.
Termómetro	Instrumento que permite la medición de temperatura a través de escalas u otros mecanismos.
Picnómetro	Instrumento de un volumen específico que permite medir la densidad y peso específico de líquidos y sólidos a través del método gravimétrico.

Realizado por: Tacuri, J. 2024.

3.8 Validación técnica del proceso industrial para la elaboración de la bebida carbonatada a base de maíz morado

3.8.1.1 Validación física y química

En las siguientes tablas se presentan las técnicas para la caracterización física y química de la bebida carbonatada.

Tabla 3-10: Sólidos solubles, fracción másica como porcentaje a 20 °C, volúmenes de gas carbónico, acidez titulable, como ácido cítrico a 20 °C, pH y contenido de antocianinas

CRITERIO	FUNDAMENTO	MÉTODO	PROCEDIMIENTO	CÁLCULO
Sólidos solubles fracción másica como porcentaje a 20 °C	Determina determinar el contenido de sólidos solubles en bebidas gaseosas	NTE INEN 1083:1983	<ul style="list-style-type: none"> • Trasvasar la bebida de un recipiente a otro hasta eliminar el gas. • Realizar la determinación por duplicado • Operar a 20°C con una lectura de índice de refracción del agua destilada de 1,3330. • Poner alrededor de 2 o 3 gotas sobre el prisma fijo del refractómetro. • Medir los grados Brix de las muestras y su respectivo índice de refracción. 	-
Gas carbónico	Determina la cantidad de volúmenes de gas carbónico disuelto	INEN 1082-1983	<ul style="list-style-type: none"> • Se debe realizar por duplicado. • Acoplar el medidor sobre la tapa del envase y cerrar la válvula de escape. • Perforar la tapa mediante el vástago del aparato y abrir momentáneamente la válvula de escape para que la aguja del manómetro caiga a cero, cerrar inmediatamente la válvula. • Agitar el envase, hasta alcanzar la presión máxima en el manómetro y anotar el valor. • Retirar el manómetro y destapar el envase: inmediatamente introducir el termómetro y determinar la temperatura de la bebida. • Utilizar la tabla 1 (Anexo A) en base a los valores de presión y temperatura para calcular el volumen de gas carbónico. 	Tabla 1 de NTE INEN 1082 (ANEXO B)
Acidez titulable	Determina la acidez titulable en bebidas gaseosas	NTE INEN 1091:1983	<ul style="list-style-type: none"> • Trasvasar la bebida de un recipiente a otro hasta eliminar el gas. • Se debe realizar por duplicado sobre la misma muestra. • Realizar el análisis de acuerdo con el procedimiento de la Tabla 3-1. 	$A = \frac{V_1 \cdot N_1}{V}$ <p>Donde: A = acidez titulable en miliequivalentes por centímetro cúbico. V₁ = volumen de la solución 0,1 N de hidróxido de sodio utilizada en la titulación, en cm³ ó ml. N₁ = normalidad de la solución de hidróxido de sodio. V = Volumen de la muestra utilizada en el ensayo, en cm³ ó ml.</p>

pH	Determina el pH en bebidas gaseosas	NTE INEN 1087:1983	<ul style="list-style-type: none"> • Se debe realizar por duplicado sobre la misma muestra. • Agitar la muestra para eliminar el contenido de CO₂. • Colocar en el vaso de precipitación aproximadamente 100 cm³ de muestra y agitar levemente. • Realizar el análisis de acuerdo con el procedimiento de la Tabla 3-1. 	-
----	-------------------------------------	--------------------------	--	---

Fuente: (NTE INEN 1101, 2016)

Realizado por: Tacuri, J. 2024

La determinación del contenido de antocianinas se realizó mediante el procedimiento descrito en la **Tabla 3-1**.

3.8.1.2 Validación microbiológica

En la validación microbiológica se siguió el procedimiento descrito en la **Tabla 3-2** para:

- Determinación de microorganismos coliformes por la técnica del número más probable.
- Determinación de mohos y levaduras viables por la técnica de recuento en placa por siembra en profundidad.
- Determinación de coliformes fecales y *E. coli*.

La siguiente tabla resume todas las técnicas utilizadas para los análisis físicos, químicos y microbiológicos de la bebida inicial y final.

Tabla 3-11: Resumen de los análisis realizados a la bebida carbonatada y no carbonatada "Maíztea"

	Físicos y químicos	Microbiológicos
Bebida no carbonatada "Maíztea"	<ul style="list-style-type: none"> • Sólidos solubles a 20 °C fracción másica como porcentaje (%) de sacarosa • pH a 20 °C • Acidez titulable, como ácido cítrico a 20 °C. 	<ul style="list-style-type: none"> • Recuento de <i>E. Coli</i> • Mohos y levaduras, ufc/cm³ • Recuento estándar en placa REP ufc/cm³
Bebida carbonatada "Maíztea"	<ul style="list-style-type: none"> • Sólidos solubles fracción másica como porcentaje a 20 °C • Volumen de anhídrido carbónico (CO₂) • Acidez titulable, como ácido cítrico a 20 °C • pH a 20 °C 	

Realizado por: Tacuri, J. 2024

3.8.1.3 Validación sensorial

Se realizó un análisis sensorial de comparación entre la bebida carbonatada y la bebida “Maíztea” (no carbonatada) con jueces no entrenados que son considerados potenciales consumidores.

Las encuestas se realizaron el día 15 de febrero del 2024 desde las 11:00h hasta las 17:00h, con la participación de 100 estudiantes como consumidores pertenecientes a la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Estos resultados indicaron, si el producto elaborado es aceptado o no en el mercado. A continuación, se expone el procedimiento:

➤ **Preparación**

- a) Preparar la bebida carbonatada con las condiciones óptimas de presión y tiempo obtenidas en la sección **3.3.2**.
- b) Mantener la temperatura de almacenamiento menor a 15° C hasta su análisis sensorial.
- c) Codificar los vasos en los que se servirán las muestras: bebida carbonatada (código 785) y bebida Maíztea (código 672).
- d) Realizar el formato de la encuesta en donde se plantea la evaluación de tres características organolépticas: sabor, efecto refrescante y acidez, de la bebida no carbonatada y carbonatada.

➤ **Análisis sensorial**

- a) Se dio a conocer a los consumidores los ingredientes del producto y se consultó por su participación voluntaria. Además, se explicó sobre el llenado de la encuesta.
- b) Se sirvió 30 ml de cada bebida para cada juez, uno con la bebida carbonatada y otro con la bebida no carbonatada “Maíztea”.

Las preguntas para la evaluación sensorial del producto fueron:

1. Señale el número de muestra que prefiere (la que más le agrada), considerando el sabor y efecto refrescante.
2. Pruebe una vez más cada una de las muestras e indique su opinión en cuanto a: Efecto refrescante

3. Pruebe una última vez cada una de las muestras e indique su opinión en cuanto a: Acidez

➤ **Análisis estadístico**

Se realizaron análisis estadísticos pertinentes de acuerdo con la naturaleza de los datos. Para ello se inició con pruebas de normalidad.

3.9 Validación económica del proceso industrial para la elaboración de la bebida carbonatada a base de maíz morado

3.9.1 Determinación de costos totales

Para la determinación de los costos totales se calculó los costos variables y fijos involucrados en la elaboración de la bebida carbonatada “Maíztea”. Se supuso una producción diaria de 300 unidades por 20 días trabajados y se obtuvo 6000 unidades al mes.

3.9.1.1 Cálculo de los costos variables

En la **Tabla 3-12** se establece cada uno de los costos variables que podrían ser modificados de acuerdo con la producción de ASOPROSARIV.

Tabla 3-12: Materia prima directa e insumos

Rubros	Cantidad	Unidad	Precio unitario (\$)	Total (\$)
Gas carbónico	0,002304	kilogramo	1,5	0,0034839
Bebida no carbonatada	1	granel 300 ml	0,50	0,50
Envase de vidrio	1	0,12	0,12	0,12
Etiquetas	1	Ninguno	0,01	0,01
Total \$				0,63

Realizado por: Tacuri, J. 2024

➤ **Materia prima directa mensualizada**

$M = \text{materia prima directa total} * \text{unidades al mes}$

$$M = 0,63 * 6000$$

$$M = \$3500,744$$

➤ **Mano de obra directa mensualizada**

Se espera tener un operario para la elaboración de la bebida carbonatada “Maíztea” con un salario básico unificado (SBU) de 460 \$:

$$\text{Mano de obra directa} = \frac{\text{Mano de obra mensualizada}}{\text{Producción mensual}}$$

$$\text{Mano de obra directa} = \frac{460 \text{ \$/mes}}{6000 \text{ unidades/mes}}$$

$$\text{Mano de obra directa} = 0,08 \text{ \$ por cada unidad}$$

Se calculó el costo variable unitario que conlleva producir 300 unidades de bebida carbonatada “Maíztea” a ASOPROSARIV.

$$\text{CVU} = \text{Materia prima directa total} + \text{Mano de obra directa}$$

$$\text{CVU} = 0,63 + 0,08$$

$$\text{CVU} = \$0,71$$

3.9.1.2 *Cálculo de los costos fijos*

La **Tabla 3-13** especifica los costos fijos como: materia prima indirecta, mano de obra indirecta y otros gastos que se proyecta cubrir.

Tabla 3-13: Costos fijos para la elaboración de la bebida carbonatada “Maíztea”

Materia prima indirecta	
Rubros	Valores por mes (\$)
Cajas, cartones	5
Distribución, combustible	50
Subtotal	55
Mano de obra indirecta	
Controlador de calidad	460
Subtotal	460
Otros gastos fijos	
Servicios básicos (agua, luz, teléfono)	10
Publicidad	20
Reparaciones y mantenimiento preventivo (todas las áreas)	10
Suministros de oficina (papel, esferos, etc.)	10
Subtotal	50
Total	565

Realizado por: Tacuri, J. 2024

Se debe cubrir \$565 por mes para producir 6000 unidades de bebida carbonatada, por tanto, los costos totales para ASOPROSARIV son:

$$\text{Costo totales} = \text{Costos variables totales} + \left(\frac{\text{Costos fijos totales}}{\text{Produccion esperada}} \right)$$

$$\text{Costo totales} = 0,71 + \frac{565}{6000}$$

$$\text{Costo totales} = \$0,804$$

3.9.1.3 Precio de venta al público

$$\text{PVP} = \text{Costo totales} * \left(\frac{100}{100 - \text{Utilidades}} \right)$$

$$\text{PVP} = 0,804 * \left(\frac{100}{100 - 30} \right)$$

$$\text{PVP} = \$1,15$$

➤ Punto de equilibrio mensual

$$\text{PE} = \frac{\text{Costos fijos totales}}{\text{PVP} - \text{Costos variables}}$$

$$\text{PE} = \frac{565}{1,15 - 0,71}$$

$$\text{PE} = 1287,4 \text{ unidades} * 1,15 (\$)$$

$$\text{PE} = \$1480,51$$

3.9.2 Inversión fija

3.9.2.1 Maquinaria, equipos y materiales

La **Tabla 3-14** presenta el costo requerido para implementar una nueva línea de proceso de producción de la bebida carbonatada a base de maíz morado “Maíztea”, cabe recalcar que ASOPROSARIV tiene el espacio disponible para la instalación y adaptación de los equipos necesarios.

Tabla 3-14: Costos de los equipos para la línea de producción de la bebida carboantada

Área de producción	Cantidad	Valor unitario (\$)	Valor total (\$)
Tanque de almacenamiento de CO ₂ (10 kg)	1	107,41	107,41
Tanque de carbonatación con serpentín	1	1770	1770,00
Llenadora contrapresión de 4 válvulas	1	700	700,00
Cuarto frío	1	1774	1774,00
Válvulas bolas	2	5,6	11,20
Válvulas alivio	1	77,3	77,30
Válvulas Check	2	11,3	22,60
Codos	5	1,15	5,75
Adaptadores	4	2,6	10,40
Acoples rápidos	2	2,5	5,00
Neplos	2	1,3	2,60
Regulador de CO ₂	1	50,5	50,50
Manguera de grado alimenticio	1	5,95	5,95
SUBTOTAL			4542,71
Área de control de calidad	Cantidad	Valor unitario (\$)	Valor total (\$)
Balanza digital (gramera)	1	45,26	45,26
Refractómetro portátil	1	35,49	35,49
Potenciómetro	1	18	18
Matraz Erlenmeyer	1	7	7
Bureta	1	20	20
Pipetas	1	3,2	3,2
Pisetas	1	2,5	2,5
Balón aforado	1	11,3	11,3
Vaso de precipitación	1	2,5	2,5
Afrómetro	1	83,49	83,49
Termómetro	1	3	3
Picnómetro	1	66,9	66,9
Subtotal (\$)			298,64
Total (\$)			4841,35

Realizado por: Tacuri, J. 2024

- **Mantenimiento de maquinaria**

El mantenimiento de la nueva maquinaria es del 5 % por cada equipo de producción en la elaboración de la bebida carbonatada. Se propone un mantenimiento anual para los equipos necesarios en el proceso.

Tabla 3-15: Costos por mantenimiento de maquinaria

Área de producción	Valor total (\$)	Mantenimiento 5%
Tanque de almacenamiento de CO ₂ (10 kg)	107,41	5,3705
Tanque de carbonatación con serpentín	1770,00	88,5
Llenadora contrapresión de 4 válvulas	700,00	35
Cuarto frío	1774,00	88,7
Total (\$)	4351,41	217,57

Realizado por: Tacuri, J. 2024.

- **Costos y gastos de depreciación**

También se tomó en cuenta la depreciación de los equipos, maquinaria y materiales que estos tendrán en el transcurso de un año laboral en Ecuador.

Tabla 3-16: Costos y gastos de depreciación de la maquinaria, equipos y materiales según el método de línea recta

Rubro	Vida útil (años)	Inversiones	
		Depreciación	Valor
		Porcentaje	\$USD
Activos fijos operativos/producción			
Tanque de almacenamiento de CO ₂ (10 kg)	10	10,00%	10,741
Tanque de carbonatación con serpentín	20	10,00%	177
Llenadora contrapresión de 4 válvulas	15	10,00%	70
Cuarto frío	20	10,00%	177,4
Subtotal (\$)			435,141
Activos fijos control de calidad			
Balanza digital (gramera)	10	10,00%	4,52
Refractómetro portátil	7	10,00%	3,54
Potenciómetro	7	10,00%	1,8
Matraz Erlenmeyer	15	10,00%	0,7
Bureta	15	10,00%	2
Pipetas	15	10,00%	0,32
Pisetas	5	10,00%	0,25
Balón aforado	15	10,00%	1,13
Vaso de precipitación	15	10,00%	0,25
Afrómetro	20	10,00%	8,349
Termómetro	20	10,00%	0,3
Picnómetro	20	10,00%	6,69
Subtotal			29,86
Total (\$)			465,0

Realizado por: Tacuri, J. 2024

3.9.3 Presupuesto de ventas

La **Tabla 3-17** presenta el presupuesto de ventas para ASOPROSARIV con una proyección de los ingresos esperados. Como punto inicial con una producción anual de 72000 unidades y un precio de venta al público de \$1,15.

3.9.3.1 Proyección de ventas

Se tomó la tasa de crecimiento poblacional de 1,20 % como indica INEC (2021).

$$\text{Proyección de ventas} = \text{Proyección del año anterior} * (1 + \% \text{tasa de crecimiento})$$

$$\text{Proyección de ventas} = 72000 * (1 + 0,012)$$

$$\text{Proyección de ventas} = 72864 \text{ unidades}$$

Tabla 3-17: Presupuesto de ventas proyectadas en un lapso de 5 años

Tiempo (Año)	Proyección de demanda (unidades)	Presupuesto de ventas (\$)
1	72000	82727,0544
2	72864,00	83719,779
3	74623,23	85741,1093
4	77342,03	88864,9776
5	81121,81	93207,8919

Realizado por: Tacuri, J. 2024

3.9.4 Presupuesto de costos

Se presenta un presupuesto de costos para la elaboración de la bebida carbonatada “Maíztea”, donde se tuvo en cuenta las variables como: costos de producción, gastos administrativos, gastos de ventas y costos financieros. Además, se tomó la inflación anual de Ecuador: 1,35% (INEC, 2024).

En el siguiente cálculo se realizó para estimar el costo de producción en la materia prima directa para el año 2:

$$\text{Proyección de presupuesto de costos} = \text{Proyección del año anterior} * (1 + \% \text{inflación})$$

$$\text{Proyección de presupuesto de costos} = 45608,93805 * (1 + 0,0135)$$

$$\text{Proyección de presupuesto de costos} = \$46224,66$$

Tabla 3-18: Presupuesto de costos

Detalle/partida presupuestaria	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Costo de producción					
Materia prima directa	45608,93805	46224,6587	47481,15	49430,21	52153,98
Mano de obra directa	5520	5594,52	5746,59	5982,48	6312,14
Mantenimiento y seguros	2610,846	2646,09242	2718,02	2829,59	2985,51
Depreciación	5580,06	5655,39081	5809,12	6047,58	6380,82
Imprevistos 3%	1779,60	1803,62	1852,65	1928,70	2034,97
Subtotal (\$)	61099,44	61924,28	63607,52	66218,56	69867,43
Gastos administrativos					
Sueldos	5520	5594,52	5746,59	5982,48	6312,14
Impuesto al predio	0	0	0,00	0,00	0,00
Suministros de oficina	0	0	0,00	0,00	0,00
Servicios básicos	10	10,135	10,41	10,84	11,44
Impuestos/permisos de funcionamiento	0	0	0,00	0,00	0,00
Imprevistos 3%	165,90	168,14	172,71	179,80	189,71
Subtotal (\$)	5695,90	5772,79	5929,71	6173,12	6513,28
Gastos de ventas					
Salarios	5520	5594,52	5746,59164	5982,48469	6312,13979
Publicidad	20	20,27	20,8209842	21,6756692	22,8700717
Imprevistos 3%	166,2	168,4437	173,022379	180,124811	190,050296
Subtotal (\$)	5706,2	5783,23	5940,44	6184,29	6525,06
Costos financieros					
Intereses Bancarios	50	50	50	50	50
Subtotal	50	50	50	50	50
Total (\$)	66845,34	67747,08	69587,24	72441,68	76430,71

Realizado por: Tacuri, J. 2024

3.9.5 Flujo de caja

En la **Tabla 3-19** se presenta una estimación del flujo de caja con un capital socio/préstamo de \$1500, para la elaboración de la bebida carbonatada a base de maíz morado “Maíztea”.

Se tomó en cuenta la diferencia entre egresos e ingresos en un tiempo de cinco años. Esto ayudará a ASOPROSARIV a afrontar una oportunidad de inversión en el mediano plazo y disponer de una visión macro de sus finanzas para la toma de decisiones futuras, por ejemplo: comprar a proveedores de forma inteligente o cumplir con los compromisos dentro de los plazos señalados.

Tabla 3-19: Flujo de caja esperado para la elaboración de la bebida carbonatada "Maíztea" en un período de cinco años

	Rubros (\$)	Año					
		0	1	2	3	4	5
+	Ventas netas		82727,05	83719,78	85741,11	88864,98	93207,89
-	Costos de producción		61099,44	61924,28	63607,52	66218,56	69867,43
-	Costos administrativos		5695,90	5772,79	5929,71	6173,12	6513,28
-	Costos de ventas		5706,20	5783,23	5940,44	6184,29	6525,06
-	Costos financieros		50	50	50	50	50
=	Utilidades antes de reparto utilidades e impuestos		10175,51	10189,47	10213,44	10239,01	10252,12
-	Reparto utilidades 15%		1526,33	1528,42	1532,02	1535,85	1537,82
=	Utilidades antes de impuestos		8649,19	8661,05	8681,42	8703,16	8714,30
=	Utilidad neta		8649,19	8661,05	8681,42	8703,16	8714,30
-	Inversión en máquinas y equipos	-4542,71					
-	Instrumentos de control de calidad	-298,64					
-	Imprevistos	-2111,70					
+	Capital socio/préstamo	1500					
	Flujo de caja (\$)	-5453,05	8649,19	8661,05	8681,42	8703,16	8714,30

Realizado por: Tacuri, J. 2024

3.9.6 Cálculos del valor actual neto, tasa de retorno interno y periodo de recuperación

Para demostrar si el proyecto presentado es viable para su futura implementación, se realizó los cálculos estadísticos del VAN (valor actual neto), TIR (tasa de retorno interno) y PDR (periodo de recuperación)

VAN (valor actual neto): Indicador financiero que permite evaluar la rentabilidad del proyecto mediante la diferencia entre flujos de cajas proyectados y el costo de inversión. Además, ayuda al inversor cuanto va a ganar o perder en el proyecto, según los valores críticos de decisión:

$VAN > 0$ = El proyecto de inversión generará beneficios.

$VAN = 0$ = El proyecto de inversión no generará beneficios.

$VAN < 0$ = El proyecto de inversión generara pérdidas.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} - I_0$$

Donde:

VAN = Valor actual neto.

F_t = Flujos de caja futuros.

k = Tasa de descuento (9,10 %) (Mercado de Capitales Ecuatoriano,2020).

I_0 = Inversión inicial.

Para el cálculo del valor de VAN, se especificó en el programa MICROSOFT EXCEL con la función= “VNA ((tasa de descuento; valor1; [valor2]...))”.

TIR (tasa de retorno interno): Indicador financiero que permite medir la rentabilidad de la inversión en un proyecto. Este valor se obtiene al calcular la tasa de rendimiento que iguala el valor presente de los flujos de efectivo futuros de la inversión con el costo inicial de la misma. Así mismo como el VAN, el TIR tiene los siguientes criterios de decisión:

$TIR > i$ = El proyecto de inversión es aceptado.

$TIR = i$ = El proyecto de inversión es indiferente.

$TIR < i$ = El proyecto de inversión es rechazado.

Para el cálculo del valor de la TIR, se especificó en el programa MICROSOFT EXCEL con la función= “TIR ((valores, [estimar])”.

PDR (período de recuperación): Periodo de tiempo en el cual se espera un retorno de la inversión y activos totales, a partir de este punto la empresa va a empezar a recibir ganancias. Esto ayudará a ASOPROSARIV a evitar periodos largos de recuperación ya que no resultan rentables. Para este cálculo se tiene en cuenta los datos del flujo total de caja.

$$PDR = \# + \frac{|-FA|}{FT}$$

Donde:

$\#$ = Número de años antes de la recuperación total de la inversión original.

FA= Último flujo acumulado negativo.

FT= Flujo de caja del año siguiente.

Se tuvo en cuenta los datos del flujo total de caja presentados en la **Tabla 3-19**.

$$\text{PDR} = 1 + \frac{|-5453,05|}{8649,19}$$

$$\text{PDR} = 1,63 \text{ años}$$

$$\text{PDR} = 1 \text{ años y 8 meses}$$

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En la siguiente sección se presentan los resultados del análisis físico, químicos, sensoriales y microbiológicos de la bebida no carbonatada “Maíztea” y de la bebida carbonatada a base de maíz morado con el fin de cumplir la normativa ecuatoriana. Además, las dimensiones y medidas del tanque de carbonatación para su futura construcción en ASOPROSARIV.

4.1 Identificación de las condiciones actuales del proceso de producción de la bebida no carbonatada

Se realizó una visita *in situ* a ASOPROSARIV, donde se visualizó la situación actual del proceso de elaboración de la bebida no carbonatada. Dicho proceso se expone en la **Ilustración 4-1**.

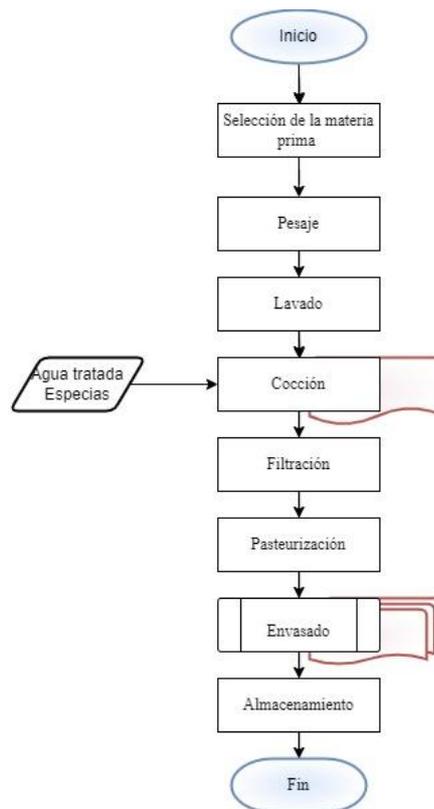


Ilustración 4-1: Diagrama de bloques del proceso de la bebida no carbonatada

Realizado por: Tacuri, J. 2024

4.2 Caracterización física, químico y microbiológica de la bebida no carbonatada “Maíztea”

Tabla 4-1: Resultados de los análisis físico y químicos de la bebida no carbonatada

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo	Método de ensayo	Resultado
Sólidos solubles a 20 °C fracción másica como porcentaje (%) de sacarosa	g/100 mL	0	15	NTE INEN-ISO 2172	5,79
	%(m/m)	0	15	NTE INEN-ISO 2173	5
pH a 20 °C	-	2	4,5	NTE INEN-ISO 1842	5,53
Acidez titulable, como ácido cítrico a 20 °C	g/100 mL	0,1	-	NTE INEN-ISO 750	0,17
Antocianinas	mg/L	-	-	(Giusti y Wrolstad, 2001, págs. 2-6).	81,47

Fuente: Laboratorio de investigación, ESPOCH, 2024

Realizado por: Tacuri, J. 2024

A partir de la bebida no carbonatada “Maíztea” se diseña el proceso industrial de carbonatación, previo a esto se realizó la caracterización física y química según la NTE INEN 2304: 2017, cuyos resultados se muestran en la **Tabla 4-1**.

En general, el parámetro de la bebida no carbonatada que se encuentra fuera del rango requerido es el pH con un valor de 5,53 debido a la cantidad de 0,1664 g/100 ml de ácido cítrico, el cual cumple la función de antioxidante y acidulante (Abu-Reidah, 2020, pág. 5) en las bebidas, este cuando se calienta a más de 175 °C, se descompone en CO₂ y agua (Steen y Ashurst, 2006, pág. 59); siendo, un compuesto estable en la cocción y pasteurización de “Maíztea”.

(Carneiro et al., 2014) indicó que la leche de babasú con una baja cantidad de ácido cítrico (0,01 %) conllevó a un elevado desarrollo de microorganismos en un tiempo de refrigeración aproximado de 30 días. Por el contrario, (Salas-Pérez et al., 2018) dosificó 0,192 g/100 ml de ácido cítrico para obtener resultados favorables en la capacidad antioxidante de germinados de lenteja.

El maíz morado contiene antocianinas monoaciladas (cianidina, pelargonidina y peonidina) (Chatham et al., 2020, pág. 11); la mayoría son estables en un rango de pH de 4,5 a 5 (Vidana et al., 2022, pág. 6). La vida útil de las antocianinas del camote morado fue mayor en pH 3 que en pH 5 y 6 (Li et al., 2013, pág. 1433); en la bebida de rábano rojo (pH 3,5) de Giusti et al., (1999, pág. 453) el tiempo de vida útil de la pelargonidina fue de 22 semanas a 25 °C.

El análisis de antocianinas se realizó a partir del método de Giusti y Wrolstad (2001, págs. 2-6). Esta prueba se realiza de forma complementaria para verificar si existe cambios en la bebida no carbonatada al momento de inyectar gas carbónico. La base de cálculo se presenta en el **ANEXO C**.

La **Tabla 4-2** indica los resultados de los análisis microbiológicos de la bebida no carbonatada en donde el recuento de la bacteria *E. Coli*, presenta un valor menor a 10, al igual que el análisis de mohos y levaduras por lo que cumplen la NTE INEN1529-8 y NTE INE 1529-10:98. El recuento de aerobios mesófilos tiene un valor de 10, estos resultados son similares al tratamiento térmico realizado a la bebida de maíz morado por (Jara, 2022, pág. 116) a 100 ° C, que también cumple la NTE INEN 1529-6:98.

Tabla 4-2: Resultados resumidos de los análisis microbiológicos de la bebida no carbonatada

Requisitos	n	m	M	c	Método de ensayo	Bebida no carbonatada
Recuento de <i>E. Coli</i>					NTE INEN1529-8	<10
Mohos, ufc/cm ³	5	<1	10	2	NTE INEN 1529-10	<10
Levaduras, ufc/cm ³	5	<1	10	2		
Recuento de Aerobios mesófilos	5	<100	100	2	NTE INEN 1529-6	10

Fuente: SAQMIC.2024

Realizado por: Tacuri, J. 2024

4.3 Identificación de las variables, parámetros y las operaciones unitarias en el proceso de carbonatación

4.3.1 Inyección de volúmenes de CO₂ a la bebida de maíz morado

La **Tabla 4-3** y la **Tabla 4-5** presentan los valores obtenidos de volúmenes de gas carbónico y pH de la bebida carbonatada, respectivamente. Cabe mencionar que los valores de gas carbónico fueron calculados a partir del **ANEXO B** establecidos en la norma NTE INEN 1082.

Tabla 4-3: Valores de los volúmenes de gas carbónico

Presión (psi)	Tiempo (h)		
	1 (-1)	2 (0)	3 (1)
30 (-1)	3,0	2,8	3,3
	2,8	3,0	3,3
35 (0)	2,9	3,3	3,4
	2,8	3,1	3,4
40 (1)	2,6	3,1	4,5
	2,6	3,1	3,6

Realizado por: Tacuri, J. 2024

Tabla 4-4: Valores del pH obtenido luego de la carbonatación

Presión (psi)	Tiempo (h)		
	1	2	3
30	3,69	4,57	4,37
	4,45	4,04	4,25
35	4,04	4,00	4,27
	3,86	3,86	3,87
40	3,87	3,81	4,17
	3,86	3,94	3,89

Realizado por: Tacuri, J. 2024

4.3.2 Condiciones óptimas para las variables del proceso

Para la optimización del valor de las variables de operación se analizó el diseño experimental. Se utilizaron los resultados de la **Tabla 4-3** y **Tabla 4-4**.

La **Ilustración 4-2** e **Ilustración 4-3** muestran el volumen de gas carbónico y pH de la bebida respecto a las condiciones de presión y tiempo para su preparación. De acuerdo con revisión de literatura y la norma NTE INEN 1101:2017, se establece que la bebida debe cumplir con un pH de 4 y 3 niveles de gas CO₂.

Respecto a los volúmenes de CO₂, se observa que la zona de color rosado cumple con lo establecido previamente. Para lo cual, se puede operar con una presión de carbonatación entre 30 y 40 psi, sin embargo, el tiempo depende de esta variable. Por ejemplo, si la bebida se prepara a 30 psi, el tiempo de carbonatación puede ser de 1 a 2,6 horas.

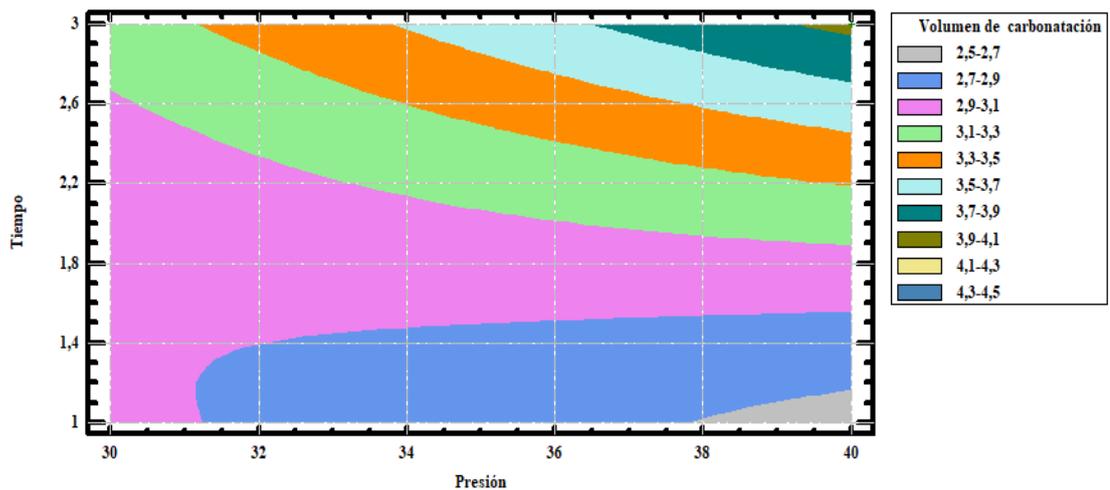


Ilustración 4-2: Contorno de superficie para el volumen de carbonatación

Realizado por: Tacuri, J. 2024

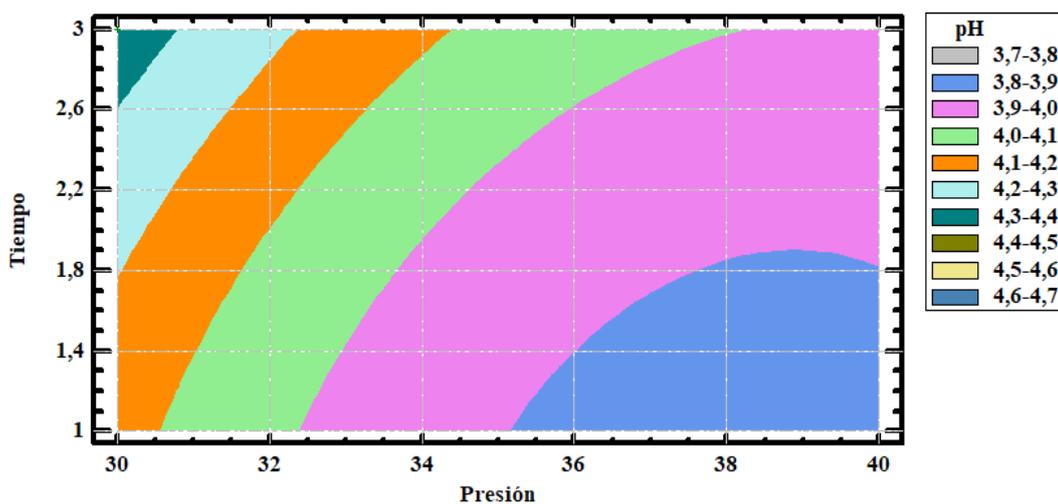


Ilustración 4-3: Contorno de superficie para pH

Realizado por: Tacuri, J. 2024

Por otro lado, en el **Ilustración 4-3** se muestra un diagrama de contornos de superficie del pH de la bebida carbonatada. La zona de color rosado y verde indican las posibles condiciones de operación para un pH entre 3,9 y 4,0, establecidas previamente. En estas regiones se visualiza que la presión de carbonatación puede ser entre 30,5 y 40 psi, y al igual que los volúmenes de CO₂, el tiempo dependerá de esta variable. Por ejemplo, si la bebida se carbonata a 35 psi, el tiempo puede ser de 1 a 3 horas para conseguir el pH establecido.

Dada la variabilidad de posibilidades, se realizó la optimización del diseño experimental para estimar las condiciones idóneas con una deseabilidad de 1.

La **Tabla 4-5** expone los resultados de las condiciones óptimas de presión y tiempo.

Tabla 4-5: Condiciones óptimas de presión y tiempo

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Presión	30	40	33,7913
Tiempo	1	3	1,85764

Realizado por: Tacuri, J. 2024

A través del análisis del diseño experimental, se determinó que las condiciones óptimas del proceso de carbonatación son: presión de 33,7913 psi y tiempo de 1,8576 horas. A estas condiciones, el nivel de deseabilidad se acerca a 1, como se muestra en la **Ilustración 4-4**. De esta forma, se decidió que la inyección de dióxido de carbono para 10 litros de bebida “Maíztea” sería a 34 psi por un tiempo de 2 horas.

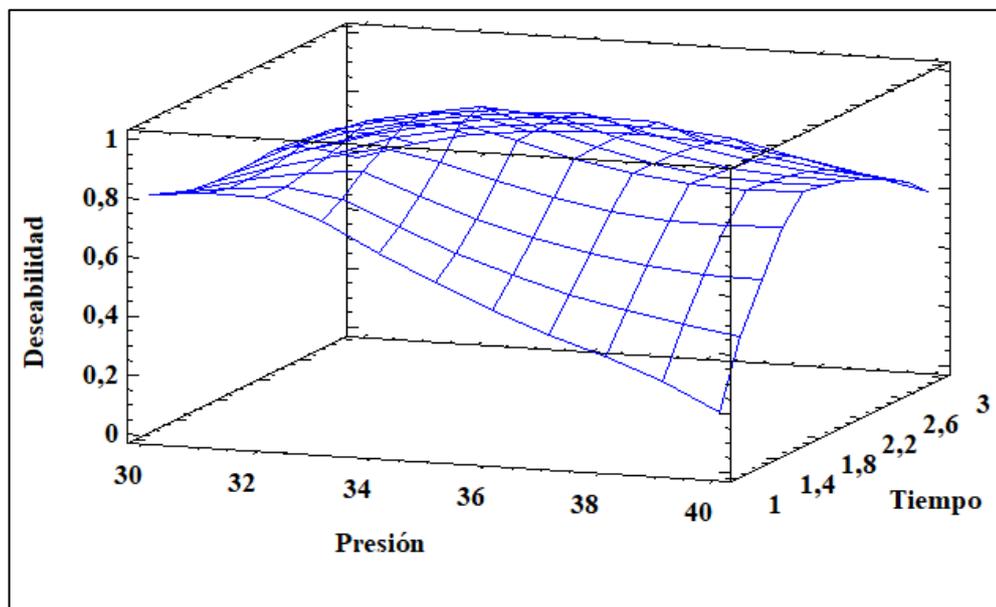


Ilustración 4-4: Deseabilidad para las condiciones de las variables: presión y tiempo

Realizado por: Tacuri, J. 2024

4.3.3 Variables del proceso a nivel de industrial

La **Tabla 4-6** presenta las variables a controlar en el proceso de la bebida carbonatada a base de maíz morado.

Tabla 4-7: Variables del proceso

Variables	Proceso	Parámetro
Temperatura	Cocción	(102-120 °C)
	Pasteurización	(63-65 °C)
	Enfriamiento	(10 °C)
	Carbonatación	(10 °C)
	Refrigeración	(-3 a 5 °C)
Tiempo	Cocción	(30 min)
	Pasteurización	(30 min)
	Carbonatación	(120 min)
Presión	Carbonatación	(34 psi)

Realizado por: Tacuri, J. 2024

4.3.4 Operaciones unitarias del proceso

En la **Tabla 4-8** se presenta cada una de las operaciones unitarias y condiciones del proceso de obtención de la bebida carbonatada a base de maíz morado.

Tabla 4-8: Operaciones unitarias del proceso y parámetros óptimos de obtención de la bebida carbonatada “Maíztea”

Proceso	Descripción	Variable	Parámetro
Selección de materia prima	Inspección visual del maíz morado	Porcentaje de humedad	Menor al 14 %
Pesado	Cantidad específica de maíz morado para el proceso industrial	-	-
Lavado	En un recipiente de acero inoxidable se eliminan las impurezas del maíz morado	-	-
Cocción	Transformar alimentos a productos digeribles y comestibles	Temperatura Tiempo	(102-120 °C) (30 min)
Filtración	Separación de los sólidos suspendidos de la solución haciendo pasar a través de un filtro.	-	-
Pasteurización	Llevar a 63 °C la solución para inactivar microorganismos	Temperatura Tiempo	(63-65 °C) (30 min)
Enfriamiento	Poner en contacto el fluido con un intercambio de calor tipo serpentín	Temperatura	(10 °C)
Carbonatación	Se absorbe dióxido de carbono en la bebida de maíz morado para otorgar una sensación de frescura	Temperatura Presión Tiempo	(10 °C) (34 psi) (120 min)
Envasado	Llenar botellas de vidrio esterilizadas	Esterilización del envase	Total
Refrigeración	Operación para conservar la bebida y mantener sus propiedades organolépticas	Temperatura	(-3 a 5 °C)

Realizado por: Tacuri, J. 2024

4.4 Diseño del equipo de carbonatación

La **Tabla 4-8** presenta un resumen de las medidas del equipo de carbonatación para una línea de producción de 100 litros en la microempresa ASOPROSARIV.

Tabla 4-9: Resultados de las dimensiones para el tanque de carbonatación

Tanque de carbonatación		
Parámetro	Medidas	Unidades
Volumen total del carbonatador	0,125	m ³
Diámetro interno del carbonatador	0,48	m
Espesor de la cáscara del carbonatador	2,72	mm
Diámetro externo del carbonatador	0,4854	m
Altura del carbonatador	0,67	m
Presión de operación	40	psi
Temperatura de operación	30	°C
Cabezales		
Espesor	2,87	mm
Tolerancia de corrosión	2	mm
Diámetro externo	0,4857	m
Altura	0,1	m
Serpentín helicoidal		
Modelo de flujo másico de la bebida	0,028	kg/s
Modelo del flujo másico del refrigerante	0,027	kg/s
Temperatura de salida del refrigerante	15	°C
Coefficiente global de transferencia de calor	493,63	W/K m ²
Diámetro Nominal	1/8	in
Diámetro externo del serpentín	10,30	mm
Diámetro interno del serpentín	7,9	mm
Longitud del serpentín	9,43	m
Número de vueltas	18	-
Altura	0,28	m

Realizado por: Tacuri, J. 2024.

El **ANEXO D** presenta el diseño 3D del tanque de carbonatación junto con el serpentín. Para asegurar el comportamiento de la estructura, se realizó un análisis de fuerzas estáticas con una presión de 40 psi (ver **ANEXO E**) y se obtuvo un factor de seguridad de 3,5. Se observó posibles puntos de desperfectos en zonas agujeradas del equipo, sin generar un valor significativo que afecte al equipo dado que su factor de seguridad supera las 6 unidades.

Como resultado, el tanque de carbonatación tendrá durabilidad con respecto a tres veces su presión de operación, sin que esta sufra deformaciones.

El **ANEXO G** se muestra para la implementación del proceso industrial con su maquinaria y materiales. Se necesita un espacio 14 m² de superficie los mismo que ASOPROSARIV dispone.

4.5 Validación de la bebida carbonatada a base de maíz morado “Maíztea”

4.5.1 Validación técnica

4.5.1.1 Validación fisicoquímica del producto

La **Tabla 4-10** presenta los resultados de la caracterización fisicoquímica de la bebida carbonatada.

Tabla 4-10: Resultados del análisis fisicoquímico de la bebida carbonatada

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo	Método de ensayo	Resultado
Sólidos solubles, fracción másica como porcentaje a 20 °C	-	-	15	NTE INEN 1083	6,76
Volumen de anhídrido carbónico (CO ₂)	-	1	5	NTE INEN 1082	2,5
Acidez titulable, como ácido cítrico a 20 °C	g/100 mL	-	0,5	NTE INEN 1091	0,25
pH a 20 °C	-	2,0	5	NTE INEN 1087	3,71
Antocianinas	mg/L	-	-	(Giusti y Wrolstad, 2001, págs. 2-6).	61,64
Volumen de anhídrido carbónico (CO ₂) que absorbe el agua a una presión de 101, 325 kPa a temperatura de 15.56 °C					

Realizado por: Tacuri, J. 2024

4.5.1.2 Validación microbiológica del producto

Tabla 4-11: Resultados de los análisis microbiológicos de la bebida carbonatada

Requisitos	n	m	M	c	Método de ensayo	Bebida carbonatada
Recuento de <i>E. Coli</i>					NTE INEN1529-8	Ausencia
Mohos, ufc/cm ³	5	<1	10	2	NTE INEN 1529-10	Ausencia
Levaduras, ufc/cm ³	5	<1	10	2		

Fuente: SAQMIC, 2024

Realizado por: Tacuri, J. 2024

4.5.1.3 Comparación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la bebida no carbonatada y carbonatada

La **Tabla 4-11** presenta una comparativa de los resultados fisicoquímicos de la bebida antes y después de la carbonatación. Se observó que la cantidad de sólidos solubles tuvo un incremento

de 5° a 6,76 °Brix, la medición no solo cuantifica los azúcares de una solución, sino también los ácidos, sales y otros compuestos solubles en agua; comparando los resultados del incremento de 1 °Brix en los estudios de (Hervás, 2011, pág. 15; Maticorena, 2016, pág. 34), respecto al incremento de 1,76 ° °Brix en las muestras analizadas por efecto de aumentar la presión de carbonatación en la de bebida de algarrobina, se cumple lo establecido por la NTE INEN 1101. Este efecto se justifica por la formación de ácido carbónico en contacto con el agua, que influye en la composición de la bebida y a la vez en su índice de refracción (Fernández, 2012, pág. 9).

La cantidad de dióxido de carbono absorbido en la bebida de maíz morado fue de 2,5 (L CO₂/L bebida), cumpliendo con la normativa NTE INEN 1082. El instrumento de medición utilizado presenta un desfase de 3 psi (Calva y Venegas, 2021, pág. 89).

La acidez titulable aumentó de 0,1664 g/100 ml a 0,25 g/100 ml debido a la generación del ácido carbónico, el cual otorga el sabor picante y ácido a la bebida carbonatada. El cambio se refleja en la disminución del pH, de 5,53 a 3,71, siendo un valor adecuado para mantener la estabilidad de antocianinas en envases incoloros (Cerro y Espillico, 2021, pág. 225). Los parámetros físicos y químicos cumplen con la norma NTE INEN 1101.

Respecto a la cantidad de antocianinas, se observa una disminución del 24,33 %, de **81,47 a 61,64 mg/L**. En (Guzmán, 2014, pág 131) las antocianinas del jugo de mora, disminuyó 8,23 % en un período de 60 días a 4 °C. Zapata et al. (2016, pág. 180) tuvo un 0,89 % de degradación de antocianinas en el jugo de arándano en tres días de almacenamiento a 5 °C. Según Turturica et al., (2015, pág. 12) los alimentos que contienen pelargonidina, cianidina o delfinidinagliconas son menos estable que los que contienen petunidina o malvidinagliconas.

Tabla 4-12: Resultados fisicoquímicos y microbiológicos de la bebida no carbonatada y carbonatada

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo	Método de ensayo	Resultado de la bebida no carbonatada	Resultado de la bebida carbonatada
Sólidos solubles, fracción másica como porcentaje a 20 °C	g/100 mL	0	15	NTE INEN-ISO 2172	5,79	-
	%(m/m)	0	15	NTE INEN-ISO 2173	5	-
	%(m/m)	-	15	NTE INEN 1083	-	6,76
Volumen de anhídrido carbónico (CO ₂)	-	1	5	NTE INEN 1082	-	2,5
Acidez titulable, como ácido cítrico a 20 °C	g/100 mL	0,1	-	NTE INEN-ISO 750	0,17	-
	g/100 mL	-	0,5	NTE INEN 1091	-	0,25
pH a 20 °C	-	2	4,5	NTE INEN-ISO 1842	5,53	-
	-	2	5	NTE INEN 1087	-	3,71
Antocianinas	mg/L	-	-	(Giusti y Wrolstad, 2001, págs. 2-6).	81,47	61,64

Realizado por: Tacuri, J. 2024.

La **Tabla 4-12** presenta una comparativa de los análisis microbiológicos de las bebidas.

Tabla 4-13: Resultados de los análisis microbiológicos de la bebida no carbonatada y bebida carbonatada

Requisitos	n	m	M	c	Método de ensayo	Bebida no carbonatada	Bebida carbonatada
Recuento de <i>E. Coli</i>					NTE INEN1529-8	<10	Ausencia
Mohos, ufc/cm ³	5	<1	10	2	NTE INEN 1529-10	<10	Ausencia
Levaduras, ufc/cm ³	5	<1	10	2			

Fuente: SAQMIC,2024

Realizado por: Tacuri, J. 2024

El recuento de *E. Coli* y mohos con levaduras en la bebida no carbonatada es <10 y para la bebida carbonatada se tiene una ausencia de microorganismos. Abu-Reidah (2020, pág. 10),

menciona que el dióxido de carbono también actúa como conservante contra el moho, las levaduras y las bacterias.

Rodríguez-Calleja et al. (2010, pág. 116) envasó carne de conejo en una atmósfera 100% CO₂, aumentó la vida útil a 5 semanas y mantuvo la calidad microbiológica, sin cambios significativos en las propiedades sensoriales. Su investigación responde a un indicio que el CO₂ retarda el crecimiento de microorganismos al crear un ambiente libre de oxígeno, sin embargo, aún no se realizan más investigaciones que determinen en su totalidad que el CO₂ disuelto en las bebidas carbonatadas actúe como un conservante.

4.5.1.4 Validación por análisis sensorial

Para una mayor confiabilidad de los resultados en las encuestas se realizó una prueba estadística no paramétrica y se plantearon las siguientes hipótesis:

- **Preferencia de bebida**

H₀: No existen diferencias significativas en la preferencia de las bebidas.

H_a: Existen diferencias significativas en la preferencia de las bebidas.

- **Efecto refrescante**

H₀: No existen diferencias significativas en el efecto refrescante de las bebidas.

H_a: Existen diferencias significativas en el efecto refrescante de las bebidas.

- **Acidez**

H₀: No existen diferencias significativas en la acidez de las bebidas.

H_a: Existen diferencias significativas en la acidez de las bebidas.

Se realizó el análisis de normalidad de los datos para determinar la prueba estadística de comparación. Para ello, se aplicó la prueba de Kolmogórov-Smirnov ya que se tiene más de 50 datos, cuyos resultados se presentan en el **ANEXO J**.

Los datos sobre la preferencia de la bebida mostraron una distribución normal razón por la que se utilizó prueba del Chi cuadrado en muestras pareadas (Espinosa, 2007, pág. 82). Por el contrario, los datos referidos al efecto refrescante y acidez no se ajustan de forma normal por lo que se realizó un análisis con pruebas estadísticas no paramétricas mediante una prueba de Friedman, dado que cuentan con dos muestras pareadas realizadas al mismo grupo de estudiantes en la evaluación de dos atributos organolépticos (Kemp et al., 2009, pág. 89).

➤ **Preferencia de bebidas**

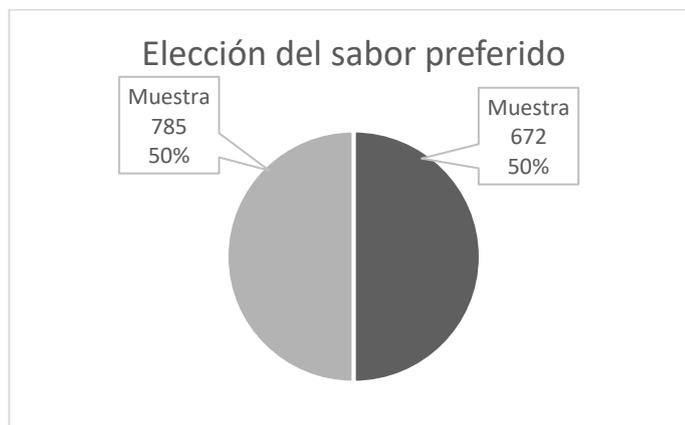


Ilustración 4-5: Diagrama pastel de la preferencia de bebida

Realizado por: Tacuri, J. 2024

La **Ilustración 4-5** presenta la elección de la preferencia de las bebidas, en donde el 50 % de los consumidores prefieren la muestra 785 (bebida carbonatada) y el otro 50% la muestra 672 (bebida no carbonatada). Además, por el valor de probabilidad de la **Tabla 4-13** ($p > 0,05$), se acepta la hipótesis nula, es decir, la preferencia de las bebidas es significativamente igual con 95 % de confiabilidad (Kemp et al., 2009, pág. 83).

Tabla 4-14: Prueba estadística: Chi-cuadrado para el sabor de las bebidas

Estadísticos de prueba	
	Preferencia
Chi-cuadrado	,000 ^a
gl	1
Valor p	1,000

Realizado por: Tacuri, J. 2024

➤ **Efecto refrescante y acidez**

En la **Ilustración 4-6**, **Ilustración 4-7** se presentan un resumen de la evaluación sensorial de efecto refrescante y acidez de las dos bebidas.

En el **Ilustración 4-6** se observa que el 52 % de los 100 consumidores eligieron que la bebida carbonatada es “Muy refrescante”. Y el 47 % de las personas señalan que la sensación de la bebida no carbonatada es “Refrescante”.

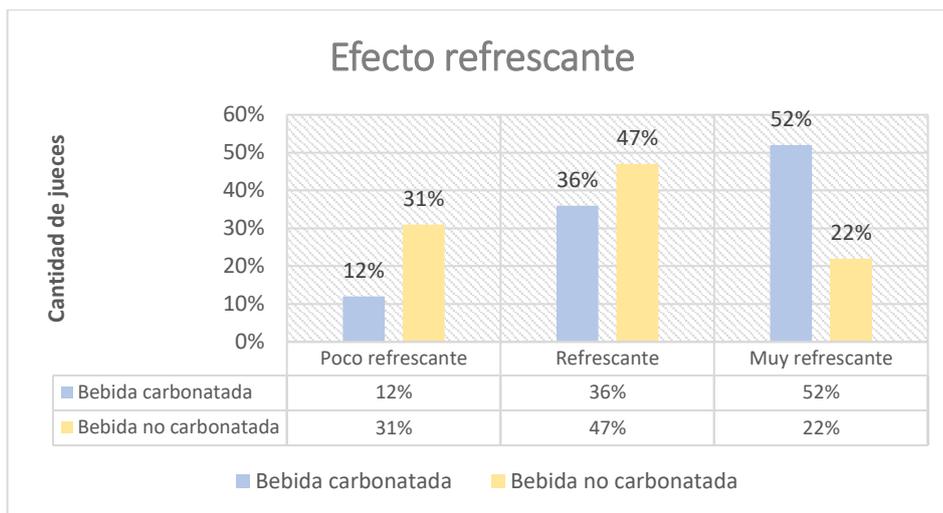


Ilustración 4-6: Evaluación del efecto refrescante

Realizado por: Tacuri, J. 2024

En la **Ilustración 4-7** se observa que un 67 % de los participantes encuestados identificaron la bebida no carbonatada como “Poco ácida”. Y un 60 % del total de encuestados coinciden que la bebida carbonatada es “Ácida”, mientras que un 28% percibieron como “Muy ácida”.

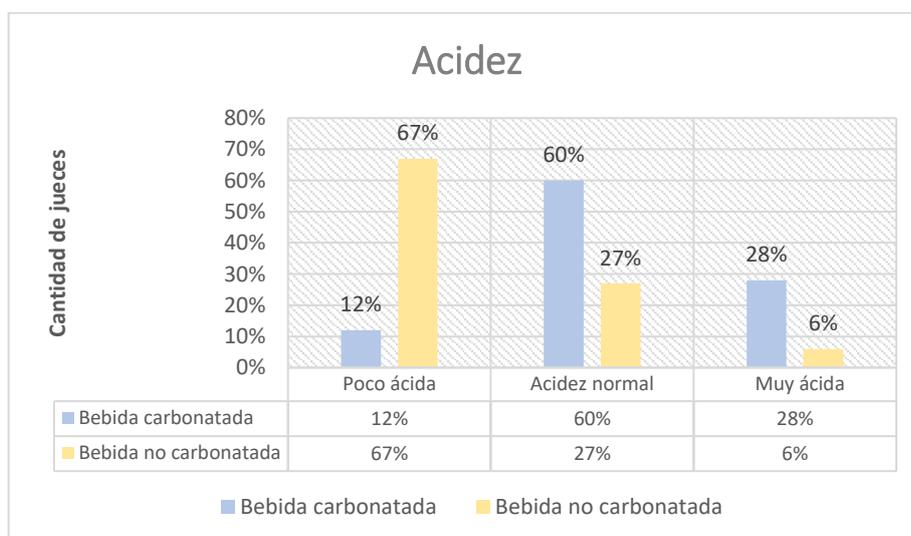


Ilustración 4-7: Evaluación de la acidez

Realizado por: Tacuri, J. 2024

Para verificar las diferencias, en la **Tabla 4-15** se compara los atributos de efecto refrescante y acidez de las muestras, mismos que presentaron un valor $p < 0,05$, por tanto, se rechazan las hipótesis nulas, es decir, la acidez y el efecto refrescante entre la bebida sin carbonatar y carbonatada son significativamente diferentes con un 95 % de confiabilidad. De acuerdo con

estas diferencias, la bebida no carbonatada es menos refrescante y ácida respecto a la carbonatada, lo cual se explica por los cambios fisicoquímicos antes descritos.

Tabla 4-15: Comparación por parejas mediante la prueba Friedman para muestras relacionadas

Muestra 1- Muestra 2	Estadístico de prueba	Error estándar	Estadístico de prueba estándar	Valor-p
Acidez 672 – Acidez 785	1,120	0,183	6,134	0,000
Efecto_refrescante_672 - Efecto_refrescante_785	0,810	0,183	4,437	0,000

Realizado por: Tacuri, J. 2024

4.5.2 Validación económica

De acuerdo con lo calculado, se obtuvo un precio de venta al público de \$1,15 y un punto de equilibrio mensual de \$1480,51.

Tabla 4-16: Indicadores financieros acerca de la factibilidad económica

Indicadores financieros	Valor
VAN	\$2 323,01
TIR	157%
PDR	1 año y 8 meses

Realizado por: Tacuri, J. 2024

De acuerdo con los indicadores financieros, se puede establecer que el proyecto de inversión para implementar la nueva línea de proceso industrial en la elaboración de la bebida carbonatada a base de maíz morado “Maíztea” de ASOPROSARIV es viable y factible. Dado que el VAN resulta tener un valor mayor a 0, el valor del TIR es mayor que 9,10 % y el PDR indica un periodo corto de recuperación de 1 año y 8 meses con una inversión inicial de \$6900. Por lo tanto, se comprueba que el proceso productivo a estas condiciones es factible desde el punto **técnico y económico**.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se diseñó un proceso industrial para la obtención de una bebida carbonatada a base de *Zea mays L.* (maíz morado), obteniendo resultados aceptables en la validación físico, química, microbiológica y económica para el nuevo producto en percha de ASOPROSARIV.

Se identificó las condiciones actuales del proceso de producción de la bebida “Maíztea” mediante la visita técnica a la microempresa y fueron representadas en un diagrama de bloques que permite identificar cada una de las fases.

Se caracterizó físico, química y microbiológicamente la bebida no carbonatada “Maíztea” mediante la NTE INEN 2304, con resultados obtenidos dentro del límite permitido, excepto el pH que se encuentra por encima del máximo establecido.

Se identificó las variables, parámetros y las operaciones unitarias necesarias para efectuar los cálculos del proceso de carbonatación mediante un diseño experimental $3^2 \times 2$, definiendo las condiciones de operación: tiempo de 2 horas a 10 °C y 34 psi.

Se realizaron los cálculos de ingeniería de diseño del proceso para la carbonatación de “Maíztea”, considerando como principal equipo el tanque de carbonatación con una capacidad nominal de 100 litros, 40 psi como presión de operación, dos cabezales elipsoidales, cuatro piedras de carbonatación, un serpentín helicoidal y una llenadora a contrapresión de acero inoxidable 304L grado alimenticio, además se realizó un análisis de fuerzas estáticas con un factor de seguridad de 3,5.

Se validó el proceso técnica y económicamente mediante una caracterización físico, química y microbiológica de la bebida carbonatada basada en la NTE INEN 1101, con resultados dentro de lo dispuesto, asegurando la calidad e inocuidad para el consumo humano. Además, la preferencia fue del 50 % entre los consumidores y el proceso resultó viable económicamente a través del análisis de PVP, PE, VAN y TIR con sus respectivos valores de \$1,15, \$1480,51, \$2323,01, 157%, que permite a ASOPROSARIV obtener beneficios a partir de 1 año y 8 meses

con una inversión inicial de \$6900, luego de la implementación del proceso industrial de carbonatación.

5.2 Recomendaciones

- Conservar la bebida no carbonatada y carbonatada a una temperatura de refrigeración entre 0 y 5 °C para evitar el cambio en su sabor, acidez y efervescencia.
- Implementar un sistema de agitación dentro del tanque de carbonatación para mejorar de transferencia de masa y calor.
- Realizar un análisis interno en la transferencia de calor antes de la fabricación del equipo.
- Comparar la vida útil del producto en base al comportamiento del gas carbónico.
- Estudiar la estabilidad de las antocianinas en la bebida ya que es un compuesto que se degrada fácilmente debido a su sensibilidad al pH, luz, temperatura y otras moléculas.
- Estudiar el fenómeno de transferencia de masa entre el gas carbónico y la bebida.
- Implementar más variables independientes y dependientes en el diseño experimental a fin de encontrar correlaciones entre sus propiedades fisicoquímicas y organolépticas.
- Diseñar un esquema de recirculación de dióxido de carbono para evitar la pérdida del gas en el espacio de cabeza del tanque de carbonatación.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ABU-REIDAH, I.M.**, Chapter 1 - Carbonated Beverages. En: C.M. GALANAKIS (ed.), *Trends in Non-alcoholic Beverages* [en línea]. S.I.: Academic Press, 2020. pp. 1-36. ISBN 978-0-12-816938-4. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012816938400001X>.
2. **ACOSTA ALVAREZ, A., VÁZQUEZ LLANES, J.Á., BENÍTEZ CORTÉS, I. y ROMERO PERDOMO, C.**, Determinación de los coeficientes de transferencia de calor en calentadores de jugo de caña. *Centro Azúcar* [en línea], 2019, vol. 46. [consulta: 9 noviembre 2023]. ISSN 2223-4861. Disponible en: https://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612019000100064.
3. **ALVAREZ, S.**, Diseño de un proceso industrial para la obtención de una bebida carbonatada a base del malteado de quinua para la incorporación de productores y comercializadores orgánicos Bio Taita Chimborazo (COPROBICH) [en línea]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador . 2022. [consulta: 9 octubre 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/17758>.
4. **ARDILA MARÍN, J. y HINCAPIÉ ZULUAGA, D.**, Intercambiadores de calor de tubo en espiral. *Revista UIS Ingenierías* [en línea], 2012, vol. 11 (2). ISSN 1657-4583. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=553756872006>.
5. **ASOCIACIÓN AMERICANA DE INGENIEROS MECÁNICOS**, Boiler & Pressure Vessel Code.VII.1 [en línea]. New York : ASME, 2021. [consulta: 10 noviembre 2023]. ISBN 9780791874233. Disponible en: <https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/bpvc-viii-1-bpvc-section-viii-rules-construction-pressure-vessels-division-1/2021/print-book>.
6. **ASOCIACIÓN DE INDUSTRIAS DE BEBIDAS NO ALCOHÓLICAS DEL ECUADOR**, Carla Muirragui lidera la AIBE desde la presidencia ejecutiva. [en línea]. 2023. [consulta: 12 julio 2023]. Disponible en: <https://www.aibe.ec/blog/>.
7. **BENDEL**, Jackets & Coils. [en línea]. 2020. [consulta: 25 febrero 2024]. Disponible en: <https://www.bendel.com/jackets-coils>.
8. **BOLXADER, Q., YURI, C., LLADÓ, J., LÓPEZ, E. y LÓPEZ, P.**, Planta de producción de acetato de vinilo [en línea]. Universitat Autònoma de Barcelona. Departament d'Enginyeria Química, Biològica i Ambiental. S.I. 2016. [consulta: 19 febrero 2024]. Disponible en: <https://ddd.uab.cat/record/148700>.
9. **BOUAIFI, M., HEBRARD, G., BASTOUL, D. y ROUSTAN, M.**, A comparative study of gas hold-up, bubble size, interfacial area and mass transfer coefficients in stirred gas-liquid reactors and bubble columns. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification* [en línea], 2001, vol. 40 (2). ISSN 0255-2701. DOI [https://doi.org/10.1016/S0255-2701\(00\)00129-X](https://doi.org/10.1016/S0255-2701(00)00129-X). Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S025527010000129X>.
10. **CALVA, C. y VENEGAS, J.**, Diseño y construcción de un carbonatador de inyección como parte de una línea de proceso para la producción de cerveza artesanal [en línea]. Escuela Superior Politécnica de

Chimborazo . Riobamba-Ecuador . 2021. [consulta: 28 octubre 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/16799>.

11. **CARNEIRO, B.L.A., ARÉVALO-PINEDO, A., SCARTAZZINI, L., ZUNIGA, A.D.G. y PINEDO, R.A.**, Estudo da estabilidade do extrato hidrossolúvel «leite» de babaçu (*Orbygnia speciosa*) pasteurizado e armazenado sob refrigeração. *Revista Brasileira de Fruticultura* [en línea], 2014, vol. 36 (1). ISSN 0100-2945. DOI 10.1590/0100-2945-334/13. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/0100-2945-334/13>.

12. **CERRO RUIZ, S. y ESPILLICO CORMILLUNI, L.**, Antocianinas en corontas y extractos de maíz morado (*Zea Mays L*) INIAP 615 conservados en anaquel. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 2021, vol. 87. ISSN 1810-634X.

13. **CHATHAM, L.A., HOWARD, J.E. y JUVIK, J.A.**, A natural colorant system from corn: Flavone-anthocyanin copigmentation for altered hues and improved shelf life. *Food Chemistry* [en línea], 2020, vol. 310. ISSN 0308-8146. DOI <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125734>. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814619318631>.

14. **CONSEJO NACIONAL DE PLANIFICACIÓN**, Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025 [en línea]. Quito-Ecuador: s.n., 2021. [consulta: 12 enero 2024]. Disponible en: <https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/2021/09/Plan-de-Creacio%CC%81n-de-Oportunidades-2021-2025-Aprobado.pdf>.

15. **DE LA CRUZ SÁNCHEZ, E.E.**, La transición nutricional. Abordaje desde de las políticas públicas en América Latina. *Opción* [en línea], 2016, vol. 32 (11). ISSN 1012-1587. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=31048902022>.

16. **DEGE, N.**, Technology of Bottled Water. 3. USA: Library of Congress Cataloging-in-Publication Data, 2011. ISBN 978-1-4051-9932-2.

17. **DÍAZ DEL CASTILLO, F.**, Recipientes a Presión . [en línea]. 2018. [consulta: 19 octubre 2023]. Disponible en: http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m5/Recipientes%20a%20presion.pdf.

18. **DÍAZ-GARCÍA, A., SALVÁ-RUÍZ, B., BAUTISTA-CRUZ, N. y CONDEZO-HOYOS, L.**, Optimization of a natural low-calorie antioxidant tea prepared from purple corn (*Zea mays L.*) cobs and stevia (*Stevia rebaudiana* Bert.). *LWT*, 2021, vol. 150. ISSN 00236438. DOI 10.1016/j.lwt.2021.111952.

19. **ENRÍQUEZ, I. y ORE, F.**, Elaboración de una bebida funcional a base de malta de *Amaranthus caudatus L.* y pulpa de *Hylocereus triangularis*. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 2021, vol. 5 (3). ISSN 2707-2215. DOI 10.37811/cl_rcm.v5i3.536.

20. **ESPINOSA, J.**, Evaluación Sensorial de los Alimentos. El Vedado, Ciudad de La Habana : Editorial Universitaria , 2007. ISBN 978-959-16-0539-9.

21. **FERNÁNDEZ, J.**, Estudio y caracterización del sensor de nivel de líquido de fibra óptica multimodo [en línea]. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación. España-Cantabria. 2012. [consulta: 30 marzo 2024]. Disponible en: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/747/345876.pdf;jsessionid=4354496EF8535FE7651920A9CAA07498?sequence=1>.
22. **FIX, G.**, Principles of Brewing Science: A Study of Serious Brewing Issues [en línea]. 2. United States of America: Brewers publications, 1999. [consulta: 26 diciembre 2023]. ISBN 978-0-937381-74-8. Disponible en: <https://www.brewerspublications.com/products/principles-of-brewing-science-a-study-of-serious-brewing-issues-2nd-edition>.
23. **GIUSTI, M.M., RODRÍGUEZ-SAONA, L.E. y WROLSTAD, R.E.**, Color and Pigment Stability of Red Radish and Red-Fleshed Potato Anthocyanins in Juice Model Systems. *Journal of Food Science* [en línea], 1999, vol. 64 (3). [consulta: 2 octubre 2023]. ISSN 0022-1147. DOI <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1999.tb15061.x>. Disponible en: <https://europepmc.org/article/AGR/IND22029411>.
24. **GIUSTI, M.M. y WROLSTAD, R.E.**, Characterization and Measurement of Anthocyanins by UV-Visible Spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry* [en línea], 2001, vol. 00 (1). DOI <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0102s00>. Disponible en: <https://currentprotocols.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/0471142913.faf0102s00>.
25. **GORRITI, A., ARROYO, J., NEGRON, L., JURADO, B., PURIZACA, H., SANTIAGO, I., TAYPE, E. y QUISPE, F.**, Antocianinas, fenoles totales y actividad antioxidante de las corontas del maíz morado (*Zea mays* L.): Método de extracción. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas* [en línea], 2009, vol. 8 (6). ISSN 0717-7917. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85617461006>.
26. **GUACHO, E.**, Caracterización Agro-Morfológica del Maíz (*Zea mays* L.) de la localidad San José de Chazo [en línea]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo . Riobamba-Ecuador . 2014. [consulta: 7 octubre 2023]. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/3455/1/13T0793%20.pdf>.
27. **GUILLEN, J., MORI, S. y PAUCAR, L.**, Características y propiedades funcionales del maíz morado (*Zea mays* L.) var. subnigroviolaceo. *Scientia Agropecuaria*, 2014, vol. 5 (4). ISSN 2077-9917. DOI <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2014.04.05>.
28. **GUZMÁN, P.**, Diseño de una planta para la obtención de una bebida carbonatada de jugo clarificado de mora (*Rubus Glaucus* Benth) por microfiltración tangencial [en línea]. Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador. 2014. [consulta: 9 septiembre 2023]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/8804>.
29. **HERVAS, P.**, “Estudio de la influencia de los grados brix del chaguar mishque para la obtención de una bebida carbonatada tipo champagne [en línea]. Universidad Técnica de Ambato. Ecuador-Ambato. 2011. [consulta: 30 marzo 2024]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/3105/1/PAL259.pdf>.

30. **INSTITUTO AMERICANO DE PETRÓLEO**, *API Std 620:2013*. 2013.

31. **ITIS**, *Zea mays L.* [en línea]. [sin fecha]. [consulta: 18 agosto 2023]. Disponible en: https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=42269#null.

32. **JARA JIHUALLANCA, M.**, Efecto del tratamiento térmico sobre la calidad nutritiva y sensorial de una bebida nutraceutica a base de quinua (*Chenopodium quinoa*), maíz morado (*Zea mays*) y camu camu (*Myrciaria dubia*) [en línea]. s.n. S.l. 2022. [consulta: 28 septiembre 2023]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.14070/856>.

33. **JOYE, D.D. y SMITH, M.A.**, Evaluation of immersion coil designs for natural convection-driven batch cooling or heating in tanks. *Heat Transfer Engineering*, 2000, vol. 21 (5). ISSN 15210537. DOI 10.1080/01457630050127946.

34. **KAKAÇ, S., LIU, H. y PRAMUANJAROENKIJ, A.**, *Heat Exchangers*. 3. New York: CRC Press Taylor & Francis Group, 2012. ISBN 978-1-4398-4991-0.

35. **KATO, T., MAPES, C., MERA, L., SERRATOS, J. y BYE, R.**, Origen y diversificación del maíz . 1. México D.F: Universidad Nacional Autónoma de México, , Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 2009. ISBN 978-607-02-0684-9.

36. **KEMP, S., HOLLOWOD, T. y HORT, J.**, *Sensory Evaluation* . Singapore: Wiley-BlackWell, 2009. ISBN 978-1-4051-6210-4.

37. **LI, J., LI, X.D., ZHANG, Y., ZHENG, Z.D., QU, Z.Y., LIU, M., ZHU, S.H., LIU, S., WANG, M. y QU, L.**, Identification and thermal stability of purple-fleshed sweet potato anthocyanins in aqueous solutions with various pH values and fruit juices. *Food Chemistry*, 2013, vol. 136 (3-4). ISSN 03088146. DOI 10.1016/j.foodchem.2012.09.054.

38. **LÓPEZ, L. y TERRONES, L.**, Diseño de un sistema de aire comprimido para eliminar fugas durante el proceso de carbonatación en Arca Continental Lindley-Trujillo [en línea]. Universidad César Vallejo. Perú. 2020. [consulta: 26 diciembre 2023]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/51042>.

39. **MATICORENA, L.**, Elaboración de una bebida carbonatada de algarrobina [en línea]. Universidad de Piura. Piura, Perú. 2016. [consulta: 28 octubre 2023]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11042/2742>.

40. **MAYORGA, T., LASCANO, N., VALENCIA, A. y ROBALINO, D.**, Tendencia del consumo de las bebidas azucaradas en el Ecuador 2014-2019. *Uniandes Episteme* [en línea], 2022, vol. 9 (4). [consulta: 7 octubre 2023]. ISSN 1390-9150. Disponible en: <https://revista.uniandes.edu.ec/ojs/index.php/EPISTEME/article/view/2528/2231>.

41. **MCCABE, W., SMITH, J. y HARRIOT, P.**, *Operaciones unitarias en Ingeniería Química*. 7. México: McGraw-Hill Interamericana, 2007. vol. 7. ISBN 978-970-10-6174-9.

42. **MENDIETA MENJURA, O.A. y ESCALANTE HERNÁNDEZ, H.**, Análisis experimental de la evaporación del jugo de caña de azúcar en película sobre una placa plana. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 2013, vol. 14 (2). ISSN 0122-8706. DOI 10.21930/rcta.vol14_num2_art:403.
43. **MENDOZA-MENDOZA, C.G., MENDOZA-CASTILLO, Ma. del C., DELGADO-ALVARADO, A., CASTILLO-GONZÁLEZ, F., KATO-YAMAKAKE, T.Á. y CRUZ-IZQUIERDO, S.**, ANTOCIANINAS TOTALES Y PARÁMETROS DE COLOR EN LÍNEAS DE MAÍZ MORADO. *Revista Fitotecnia Mexicana* [en línea], 2017, vol. 40 (4). ISSN 0187-7380. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61054247011>.
44. **MOSHER, M. y TRANTHAM, K.**, *Brewing Science: A Multidisciplinary Approach*. Springer, 2017, DOI <https://doi.org/10.1007/978-3-319-46394-0>.
45. **MOSS, D.**, *Pressure vessel desing manual*. 3. United States of America: Elsevier, 2004. ISBN 0-7506-7740-6.
46. **NOGUERA, F., GIGANTE, S., MENONI, C., AUDE, I., MONTERO, D. y PEÑA, N.**, Principios de la preparación de alimentos [en línea]. Montevideo, Uruguay : a Comisión Sectorial de Enseñanza (CSE) de la Universidad de la República., 2018. [consulta: 19 octubre 2023]. ISBN 978-9974-0-1585-2. Disponible en: <https://www.cse.udelar.edu.uy/wp-content/uploads/2018/12/Principios-de-la-preparacio%CC%81n-de-alimentos-Noguera-2018.pdf>.
47. **NTE INEN 1101**, *Bebidas gaseosas. Requisitos* . Ecuador , Ecuador . 2016.
48. **NTE INEN 2304**, *Refrescos o bebidas no carbonatadas*. 2017.
49. **OLVERA, M.**, Desarrollo de bebida carbonatada a base de té verde y jengibre con antioxidantes [en línea]. Universidad Autónoma de Querétaro. México. 2020. [consulta: 7 julio 2023]. Disponible en: <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/2058>.
50. **ORTEGA, C.**, Aplicación gastronómica del maíz morado [en línea]. UDLA. Ecuador . 2017. [consulta: 6 noviembre 2023]. Disponible en: <https://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/7057/1/UDLA-EC-TTAB-2017-08.pdf>.
51. **ORTEGA, I.S.**, Maíz I (*Zea mays*). *Reduca (Biología). Serie Botánica*, 2014, vol. 7 (2). ISSN 1989-3620.
52. **PÉREZ SÁNCHEZ, A., PÉREZ SÁNCHEZ, E.J., HEREDIA SÁNCHEZ, A. y PAZOS AMAYUELA, L.**, Diseño de un intercambiador de calor de serpiente para el enfriamiento de acetona. *Nexo Revista Científica* [en línea], 2019, vol. 32 (01). DOI 10.5377/nexo.v32i01.7988. Disponible en: <https://www.camjol.info/index.php/NEXO/article/view/7988>.

53. **RABANAL, M. y MEDINA, A.**, Análisis de antocianinas en el maíz morado (*Zea mays* L.) del Perú y sus propiedades antioxidantes. *Terra Latinoamericana*, 2021, vol. 39 (0187-5779). ISSN 2395-8030. DOI <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.808>.

54. **RODRÍGUEZ-CALLEJA, J.M., SANTOS, J.A., OTERO, A. y GARCÍA-LÓPEZ, M.-L.**, Effect of vacuum and modified atmosphere packaging on the shelf life of rabbit meat Efecto del envasado al vacío y en atmósfera modificada en la vida útil de la carne de conejo. *CyTA - Journal of Food* [en línea], 2010, vol. 8 (2). ISSN 1947-6337. DOI 10.1080/19476330903205041. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/19476330903205041>.

55. **SALAS-PÉREZ, L., MONSERRAT, J., DELGADO, G., PRECIADO-RANGEL, P., ANTONIO, J., FUENTES, G., VELIA, A., GARAY, A., ÁNGEL, M. y CASTRUITA, S.**, The application of citric acid increases the quality and antioxidant capacity of lentil sprouts. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas special*, 2018, vol. 20.

56. **SÁNCHEZ, E.R. y CASTRO, D.J.**, Extracción y cuantificación de Antocianinas de maíz morado (*zea mays* l.) utilizando dos solventes a diferentes temperaturas y tiempos de extracción. *Revista Latinoamericana de Difusión Científica*, 2023, vol. 5 (8). ISSN 2711-0494. DOI 10.38186/difcie.58.04.

57. **SOTO, A., RÁEZ, L. y ROBLES, R.**, El maíz morado como materia prima industrial. *Industrial Data* [en línea], 2013, vol. 16. ISSN 1560-9146. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81629469010>.

58. **STEEN, D. y ASHURST, P.**, Carbon Dioxide, Carbonation and the Principles of Filling Technology [en línea]. S.l.: s.n., 2006. [consulta: 14 agosto 2023]. ISBN 978-14051-3435-4. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9780470996034>.

59. **TIPÁN, A. y FLORES, D.**, Diseño y construcción de un prototipo de pasteurizadora para el procesamiento de 50 litros de leche/hora [en línea]. Universidad Politécnica Salesiana. Quito. 2018. [consulta: 7 mayo 2024]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15180>.

60. **TORRES, E., TOLEDO, H., DEXTRE, R., ALARCON, M., ANGELES, Y., NORIEGA, Y., YAYAMA, J., ANAYA, S., DÍAZ, J., BUSTAMANTE, C. y NORABUENA, S.**, Aceptabilidad de bebida carbonatada de maíz morado (*Zea mays*) y mucílago de semillas de chia (*Salvia hispanica*) y su efecto sobre la hipertensión arterial. *Big Bang Faustiniiano* [en línea], 2014, vol. 4 (4). [consulta: 7 mayo 2024]. ISSN 2307-2121. DOI <https://doi.org/10.51431/bbf.v4i4.142>. Disponible en: <https://revistas.unjfsc.edu.pe/index.php/BIGBANG/article/view/142>.

61. **TREYBAL, R.E., RODRÍGUEZ, A.G. y LOZANO, F.J.**, Operaciones de transferencia de masa [en línea]. S.l.: McGraw-Hill, 1980. McGraw-Hill chemical engineering series, ISBN 9789686046342. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=u3TfPwAACAAJ>.

62. **TUÑÓN, M.A., GONZÁLEZ, M.^a. P.G. y VARELA-MOREIRAS, G.**, Functional harmony criteria between gastronomy and health: the scientific community vision. *Nutricion Hospitalaria*, 2018, vol. 35 (4). ISSN 16995198. DOI 10.20960/NH.2131.

63. **TURTURICA, M., OANCEA, A.-M., RAPEANU, G. y BHRIM, G.**, Anthocyanins: Naturally occurring fruit pigments with functional properties. *Annals of the University Dunarea de Jos of Galati. Fascicle VI : Food Technology*, 2015, vol. 39.
64. **VIDANA GAMAGE, G.C., LIM, Y.Y. y CHOO, W.S.**, *Sources and relative stabilities of acylated and nonacylated anthocyanins in beverage systems*. 1 marzo 2022. S.l.: Springer. 2022.
65. **VIEJO, C.G., TORRICO, D.D., DUNSHEA, F.R. y FUENTES, S.**, Bubbles, foam formation, stability and consumer perception of carbonated drinks: A review of current, new and emerging technologies for rapid assessment and control. *Foods*, 2019, vol. 8 (12). ISSN 23048158. DOI 10.3390/foods8120596.
66. **VILLARROEL, J., SANABRIA, N.S. y PÉREZ, L.**, Bioactive compounds and kinetic degradation of anthocyanins in extracts of Hibiscus sabdariffa L. *Revista Cienc. Tecnol. Agrrollanía*, 2020, vol. 19. ISSN 2665-0053.
67. **YAHYA, N.A., DAAS, O.M., ALBOUM, N.O.F. y KHALILE, A.H.**, Design of Vertical Pressure Vessel Using ASME Codes. *Proceedings of First Conference for Engineering Sciences and Technology* [en línea], 2018, vol. 2. [consulta: 2 febrero 2024]. ISSN 2582-3922. DOI 10.21467/proceedings.4.33. Disponible en: <https://books.aijr.org/index.php/press/catalog/book/34/chapter/198>.
68. **ZAHM Y NAGEL**, Series 16000 ceramic carbonation stones. *Productos* [en línea]. 2017. [consulta: 19 febrero 2024]. Disponible en: <https://www.zahmnagel.com/product-category/series-16000/>.
69. **ZAMBRANO, J., VELÁSQUEZ, J., PEÑAHERRERA, D., SANGOQUIZA, C., CARTAGENA, Y., VILLACRÉS, E., GARCÉS, S., ORTÍZ, R., LEÓN, J., CAMPAÑA, D., LÓPEZ, V., ASQUIBAY, C., NIETO, M., SANMARTÍN, G., PINTADO, P., YÁNEZ, C. y RACINES, M.**, Guía para la producción sustentable de maíz en la Sierra ecuatoriana [en línea]. Quito-Ecuador : INIAP, 2021. [consulta: 10 octubre 2023]. vol. Manual No.1222. ISBN 978-9942-40-645-3. Disponible en: <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5796>.
70. **ZAPATA, L., CASTAGNINI, J., QUINTEROS, C., CARLIER, E., JIMENEZ, M. y CABRERA, C.**, Estabilidad de antocianinas durante el almacenamiento de jugos de arándanos. *VITAE*, 2016, vol. 23 (3). ISSN 0121-4004. DOI <http://dx.doi.org/10.17533/udea.vitae.v23n3a03>.



ANEXOS

ANEXO A: TABLA DE DENSIDAD RELATIVA CORRESPONDIENTE A LOS SÓLIDOS SOLUBLES EN FRACCIÓN MÁSCA COMO PORCENTAJE DE SACAROSA

Table — Relative density (d_{20}^{20}) and corresponding sucrose concentration (soluble solids content)

d_{20}^{20}	Sucrose concentration													
	g/100 g	g/100 ml												
1,0157	4,0	4,06	1,0326	8,2	8,45	1,0501	12,4	13,00	1,0680	16,6	17,70	1,0865	20,8	22,56
61	1	4,16	30	3	8,56	05	5	13,11	84	7	81	70	9	22,68
65	2	4,26	34	4	8,67	09	6	13,22	89	8	92	74	21,0	22,79
69	3	4,36	38	5	8,77	13	7	13,33	93	9	18,04	79	1	22,91
73	4	4,47	43	6	8,88	17	8	13,44	96	17,0	18,15	83	2	23,03
77	5	4,57	47	7	8,99	22	9	13,55	1,0702	1	18,27	88	3	23,15
81	6	4,67	51	8	9,09	26	13,0	13,66	06	2	18,38	92	4	23,27
85	7	4,78	55	9	9,20	30	1	13,77	11	3	18,50	97	5	23,38
89	8	4,88	59	9,0	9,31	34	2	13,88	15	4	18,61	1,0801	6	23,50
93	9	4,99	63	1	9,41	39	3	13,99	19	5	18,72	05	7	23,62
97	5,0	5,09	67	2	9,52	43	4	14,10	24	6	18,84	10	8	23,74
1,0201	1	5,19	71	3	9,63	47	5	14,21	28	7	18,95	15	9	23,86
06	2	5,30	75	4	9,74	51	6	14,32	33	8	19,07	19	22,0	23,98
09	3	5,40	80	5	9,84	56	7	14,43	37	9	19,18	24	1	24,10
13	4	5,51	84	6	9,95	60	8	14,55	41	18,0	19,30	28	2	24,22
17	5	5,61	88	7	10,06	64	9	14,66	46	1	19,41	33	3	24,33
21	6	5,71	92	8	10,17	68	14,0	14,77	50	2	19,53	37	4	24,45
25	7	5,82	96	9	10,27	73	1	14,88	55	3	19,64	42	5	24,57
29	8	5,92	1,0400	10,0	10,38	77	2	14,99	59	4	19,76	46	6	24,69
33	9	6,03	04	1	10,49	81	3	15,10	63	5	19,88	51	7	24,81
37	6,0	6,13	09	2	10,60	85	4	15,22	68	6	19,99	56	8	24,93
41	1	6,24	13	3	10,71	89	5	15,33	72	7	20,11	60	9	25,06
45	2	6,34	17	4	10,81	94	6	15,44	77	8	20,22	66	23,0	25,17
49	3	6,45	21	5	10,92	98	7	15,55	81	9	20,34	69	1	25,29
53	4	6,55	25	6	11,03	1,0603	8	15,66	86	19,0	20,46	74	2	25,41
57	5	6,66	29	7	11,14	07	9	15,78	90	1	20,57	78	3	25,53
61	6	6,76	33	8	11,25	11	15,0	15,89	94	2	20,69	83	4	25,65
65	7	6,87	38	9	11,36	15	1	16,00	99	3	20,80	87	5	25,77
69	8	6,97	42	11,0	11,47	19	2	16,11	1,0803	4	20,92	92	6	25,89
73	9	7,08	46	1	11,57	24	3	16,22	07	5	21,04	97	7	26,01
77	7,0	7,18	50	2	11,68	28	4	16,34	12	6	21,15	1,1001	8	26,13
81	1	7,29	54	3	11,79	33	5	16,45	16	7	21,27	06	9	26,25
85	2	7,39	59	4	11,90	37	6	16,56	21	8	21,39	10	24,0	26,38
89	3	7,50	63	5	12,01	41	7	16,68	25	9	21,50	15	1	26,50
94	4	7,60	67	6	12,12	46	8	16,79	30	20,0	21,62	20	2	26,62
98	5	7,71	71	7	12,23	50	9	16,90	34	1	21,74	24	3	26,74
1,0302	6	7,82	75	8	12,34	54	10,0	17,02	39	2	21,85	29	4	26,86
06	7	7,92	80	9	12,45	59	1	17,13	43	3	21,97	33	5	26,98
10	8	8,03	84	12,0	12,56	63	2	17,24	48	4	22,09	38	6	27,10
14	9	8,13	88	1	12,67	67	3	17,36	52	5	22,21	43	7	27,22
18	8,0	8,24	92	2	12,78	72	4	17,47	56	6	22,32	47	8	27,35
22	1	8,35	96	3	12,89	76	5	17,58	61	7	22,44	52	9	27,47
												56	25,0	27,59

ANEXO B: VOLUMEN DE GAS CARBÓNICO DISUELTO EN UN VOLUMEN DE BEBIDA A LA TEMPERATURA Y PRESIÓN INDICADA

TABLA 1. Volumen de gas carbónico disuelto en un volumen de Bebida a la temperatura y presión indicada

2,0,2,1,2,2,2,3,2,4	2,5,2,6,2,7,2,8,2,9	3,0,3,1,3,2,3,3,3,4	3,5,3,6,3,7,3,8,3,9	4,0,4,1,4,2,4,3,4,4	4,5°
2,0,2,1,2,2,2,3,2,4	2,5,2,6,2,7,2,8,2,9	3,0,3,0,3,1,3,2,3,3	3,4,3,5,3,6,3,7,3,8	3,9,4,0,4,1,4,2,4,3	5,0
1,9,2,0,2,1,2,2,2,3	2,4,2,5,2,6,2,7,2,8	2,9,3,0,3,1,3,2,3,3	3,4,3,5,3,6,3,7,3,8	3,9,4,0,4,1,4,2,4,3	5,6
1,9,2,0,2,1,2,2,2,3	2,4,2,5,2,6,2,7,2,8	2,9,2,9,3,0,3,1,3,2	3,3,3,4,3,5,3,6,3,7	3,8,3,9,4,0,4,1,4,2	6,1
1,9,2,0,2,0,2,1,2,2	2,3,2,4,2,5,2,6,2,7	2,8,2,9,3,0,3,1,3,2	3,3,3,4,3,5,3,6,3,6	3,7,3,8,3,9,4,0,4,1	6,7
1,8,1,9,2,0,2,1,2,2	2,3,2,4,2,5,2,6,2,7	2,8,2,8,2,9,3,0,3,1	3,2,3,3,3,4,3,5,3,6	3,7,3,8,3,9,4,0,4,0	7,2
1,8,1,9,2,0,2,1,2,2	2,2,2,3,2,4,2,5,2,6	2,7,2,8,2,9,3,0,3,1	3,2,3,3,3,4,3,5	3,6,3,7,3,8,3,9,4,0	7,8
1,8,1,9,2,0,2,1	2,2,2,3,2,4,2,5,2,6	2,7,2,8,2,8,2,9,3,0	3,1,3,2,3,3,3,4,3,5	3,6,3,6,3,7,3,8,3,9	8,3
1,7,1,8,1,9,2,0,2,1	2,2,2,3,2,4,2,4,2,5	2,6,2,7,2,8,2,9,3,0	3,1,3,1,3,2,3,3,3,4	3,5,3,6,3,7,3,8,3,8	8,9
1,7,1,8,1,9,2,0,2,1	2,1,2,2,2,3,2,4,2,5	2,6,2,7,2,8,2,8,2,9	3,0,3,1,3,2,3,3,3,4	3,4,3,5,3,6,3,7,3,8	9,4
1,7,1,8,1,8,1,9,2,0	2,1,2,2,2,3,2,4,2,4	2,5,2,6,2,7,2,8,2,9	3,0,3,0,3,1,3,2,3,3	3,4,3,5,3,6,3,6,3,7	10,0
1,6,1,7,1,8,1,9,2,0	2,1,2,2,2,2,3,2,4	2,5,2,6,2,7,2,7,2,8	2,9,3,0,3,1,3,2,3,2	3,3,3,4,3,5,3,6,3,7	10,6
1,6,1,7,1,8,1,9,2,0	2,0,2,1,2,2,2,3,2,4	2,4,2,5,2,6,2,7,2,8	2,9,3,0,3,0,3,1,3,2	3,3,3,4,3,4,3,5,3,6	11,1
1,6,1,7,1,8,1,8,1,9	2,0,2,1,2,2,2,3,2,3	2,4,2,5,2,6,2,7,2,7	2,8,2,9,3,0,3,1,3,1	3,2,3,3,3,4,3,5,3,6	11,7
1,6,1,7,1,7,1,8,1,9	2,0,2,1,2,1,2,2,2,3	2,4,2,5,2,5,2,6,2,7	2,8,2,9,2,9,3,0,3,1	3,2,3,3,3,3,4,3,5	12,2
1,5,1,6,1,7,1,8,1,9	1,9,2,0,2,1,2,2,2,3	2,3,2,4,2,5,2,6,2,7	2,7,2,8,2,9,3,0,3,1	3,1,3,2,3,3,3,4,3,4	12,8
1,5,1,6,1,7,1,8,1,8	1,9,2,0,2,1,2,2,2,2	2,3,2,4,2,5,2,5,2,6	2,7,2,8,2,8,2,9,3,0	3,1,3,2,3,3,3,3,3,4	13,3
1,5,1,6,1,7,1,7,1,8	1,9,2,0,2,0,2,1,2,2	2,3,2,3,2,4,2,5,2,6	2,7,2,7,2,8,2,9,3,0	3,0,3,1,3,2,3,3,3,3	13,9
1,5,1,6,1,6,1,7,1,8	1,9,1,9,2,0,2,1,2,2	2,2,2,3,2,4,2,5,2,5	2,6,2,7,2,8,2,8,2,9	3,0,3,1,3,1,3,2,3,3	14,4
1,5,1,6,1,6,1,7,1,8	1,8,1,9,2,0,2,1,2,1	2,2,2,3,2,4,2,4,2,5	2,6,2,7,2,7,2,8,2,9	3,0,3,0,3,1,3,2,3,2	15,0
1,5,1,6,1,7,1,7,1,8	1,8,1,9,1,9,2,0,2,1	2,2,2,2,2,3,2,4,2,5	2,5,2,6,2,7,2,8,2,8	2,9,3,0,3,1,3,1,3,2	15,6
1,5,1,6,1,6,1,7,1,8	1,8,1,8,1,9,2,0,2,1	2,1,2,2,2,3,2,4,2,4	2,5,2,6,2,6,2,7,2,8	2,9,2,9,3,0,3,1,3,2	16,1
1,5,1,6,1,7,1,7,1,8	1,7,1,8,1,9,2,0,2,0	2,1,2,2,2,3,2,3,2,4	2,5,2,5,2,6,2,7,2,8	2,8,2,9,3,0,3,0,3,1	16,7
1,5,1,6,1,7,1,7,1,8	1,7,1,8,1,9,1,9,2,0	2,1,2,1,2,2,2,3,2,4	2,4,2,5,2,6,2,6,2,7	2,8,2,9,2,9,3,0,3,1	17,2
1,5,1,6,1,6,1,7,1,8	1,7,1,8,1,8,1,9,2,0	2,0,2,1,2,2,2,3,2,3	2,4,2,5,2,5,2,6,2,7	2,7,2,8,2,9,3,0,3,0	17,8
1,5,1,6,1,6,1,7,1,8	1,7,1,7,1,8,1,9,1,9	2,0,2,1,2,2,2,2,2,3	2,4,2,4,2,5,2,6,2,6	2,7,2,8,2,8,2,9,3,0	18,3
1,5,1,6,1,7,1,8,1,9	1,6,1,7,1,8,1,8,1,9	2,0,2,1,2,1,2,2,2,3	2,3,2,4,2,5,2,5,2,6	2,7,2,7,2,8,2,9,2,9	18,9
1,5,1,6,1,7,1,8,1,9	1,6,1,7,1,8,1,8,1,9	2,0,2,0,2,1,2,2,2,2	2,3,2,4,2,4,2,5,2,6	2,6,2,7,2,8,2,8,2,9	19,4
1,5,1,6,1,7,1,8,1,9	1,6,1,7,1,7,1,8,1,9	1,9,2,0,2,1,2,1,2,2	2,3,2,3,2,4,2,5,2,5	2,6,2,7,2,7,2,8,2,9	20,0
1,5,1,6,1,6,1,7,1,8	1,6,1,6,1,7,1,8,1,8	1,9,2,0,2,0,2,1,2,2	2,2,2,3,2,4,2,4,2,5	2,6,2,6,2,7,2,8,2,8	20,6
1,5,1,6,1,6,1,7,1,8	1,6,1,6,1,7,1,7,1,8	1,9,1,9,2,0,2,1,2,1	2,2,2,3,2,3,2,4,2,5	2,5,2,6,2,7,2,7,2,8	21,1
1,5	1,5,1,6,1,7,1,7,1,8	1,9,1,9,2,0,2,0,2,1	2,2,2,2,2,3,2,4,2,4	2,5,2,6,2,6,2,7,2,7	21,7
1,5	1,5,1,6,1,6,1,7,1,8	1,8,1,9,2,0,2,0,2,1	2,1,2,2,2,3,2,3,2,4	2,5,2,5,2,6,2,6,2,7	22,2
1,5	1,5,1,6,1,6,1,7,1,7	1,8,1,9,1,9,2,0,2,1	2,1,2,2,2,2,3,2,4	2,4,2,5,2,6,2,6,2,7	22,8
1,5	1,5,1,5,1,6,1,7,1,7	1,8,1,8,1,9,2,0,2,0	2,1,2,1,2,2,3,2,3	2,4,2,5,2,5,2,6,2,6	23,3
1,5	1,5,1,6,1,6,1,7,1,8	1,8,1,8,1,9,1,9,2,0	2,1,2,1,2,2,2,2,3	2,4,2,4,2,5,2,5,2,6	23,9
1,5	1,5,1,5,1,6,1,7,1,8	1,7,1,8,1,9,1,9,2,0	2,0,2,1,2,2,2,2,3	2,3,2,4,2,5,2,5,2,6	24,4
1,5	1,5,1,6,1,6,1,7,1,8	1,7,1,8,1,8,1,9,2,0	2,0,2,1,2,1,2,2,2,2	2,3,2,4,2,4,2,5,2,5	25,0
1,5	1,5,1,6,1,6,1,7,1,8	1,7,1,7,1,8,1,9,1,9	2,0,2,0,2,1,2,2,2,2	2,3,2,3,2,4,2,4,2,5	25,6
1,5	1,5,1,6,1,6,1,7,1,8	1,7,1,7,1,8,1,8,1,9	2,0,2,0,2,1,2,1,2,2	2,2,3,2,4,2,4,2,5	26,1
1,5	1,5,1,6,1,6,1,7,1,8	1,7,1,7,1,8,1,8,1,9	1,9,2,0,2,0,2,1,2,2	2,2,2,3,2,3,2,4,2,4	26,7
1,5	1,5,1,6,1,7,1,7,1,8	1,6,1,7,1,7,1,8,1,8	1,9,2,0,2,0,2,1,2,1	2,2,2,3,2,3,2,4,2,4	27,2
1,5	1,5,1,5,1,6,1,7,1,8	1,6,1,7,1,7,1,8,1,8	1,9,1,9,2,0,2,0,2,1	2,2,2,2,2,3,2,3,2,4	27,8
1,5	1,6,1,6,1,7,1,7,1,8	1,6,1,6,1,7,1,7,1,8	1,9,1,9,2,0,2,0,2,1	2,1,2,2,2,2,3,2,4	28,3
1,5	1,6,1,6,1,7,1,7,1,8	1,8,1,9,1,9,2,0,2,0	2,1,2,2,2,2,3,2,3	2,1,2,2,2,2,3,2,3	28,9
1,5	1,5,1,6,1,6,1,7,1,8	1,8,1,9,1,9,2,0,2,0	2,1,2,1,2,2,2,2,3	2,1,2,1,2,2,2,2,3	29,4
1,5	1,5,1,6,1,6,1,7,1,7	1,8,1,8,1,9,1,9,2,0	2,1,2,1,2,2,2,2,3	2,1,2,1,2,2,2,2,3	30,0
1,5	1,5,1,6,1,6,1,7,1,7	1,8,1,8,1,9,1,9,2,0	2,0,2,1,2,1,2,2,2,2	2,0,2,1,2,1,2,2,2,2	30,6
1,5	1,5,1,6,1,6,1,7,1,7	1,7,1,8,1,8,1,9,1,9	2,0,2,1,2,1,2,2,2,2	2,0,2,1,2,1,2,2,2,2	31,1
1,5	1,5,1,6,1,6,1,7,1,7	1,7,1,8,1,8,1,9,1,9	2,0,2,0,2,1,2,1,2,2	2,0,2,0,2,1,2,1,2,2	31,7
1,5	1,5,1,6,1,6,1,7,1,8	1,7,1,7,1,8,1,9,1,9	2,0,2,0,2,1,2,1,2,2	2,0,2,0,2,1,2,1,2,2	32,2
0,042 0,049 0,056 0,063 0,070	0,77 0,084 0,091, 0,098, 0,105	0,112 0,120 0,127 0,134 0,141	0,148 0,155, 0,162 0,169 0,176	0,183 0,190 0,197 0,204 0,211	

PRESION MANOMETRICA EN MEGA PASCALES

Continuación de la tabla 1.

4,5,4,6,4,7,4,8,4,9	5,0,5,1,5,2,5,3,5,4	5,5,5,6,5,7,5,8,5,9	6,0	4,5°
4,4,4,5,4,6,4,7,4,8	4,9,5,0,5,1,5,2,5,3	5,4,5,5,5,6,5,7,5,8	5,9,6,0	5,0
4,4,4,5,4,6,4,6,4,7	4,8,4,9,5,0,5,1,5,2	5,3,5,4,5,5,5,6,5,7	5,8,5,9,6,0	5,6
4,3,4,4,4,5,4,6,4,7	4,8,4,9,5,0,5,0,5,1	5,2,5,3,5,4,5,5,5,6	5,7,5,8,5,9,6,0	6,1
4,2,4,3,4,4,4,5,4,6	4,7,4,8,4,9,5,0,5,1	5,1,5,2,5,3,5,4,5,5	5,6,5,7,5,8,5,9,6,0	6,7
4,1,4,2,4,3,4,4,4,5	4,6,4,7,4,8,4,9,5,0	5,1,5,2,5,2,5,3,5,4	5,5,5,6,5,7,5,8,5,9	7,2
4,1,4,2,4,2,5,3,4,4	4,5,4,6,4,7,4,8,4,9	5,0,5,1,5,2,5,2,5,3	5,4,5,5,5,6,5,7,5,8	7,8
4,0,4,1,4,2,4,3,4,4	4,4,4,5,4,6,4,7,4,8	4,9,5,0,5,1,5,2,5,2	5,3,5,4,5,5,5,6,5,7	8,3
3,9,4,0,4,1,4,2,4,3	4,4,4,5,4,6,4,6,4,7	4,8,4,9,5,0,5,1,5,2	5,2,5,3,5,4,5,5,5,6	8,9
3,9,4,0,4,0,4,1,4,2	4,3,4,4,4,5,4,6,4,6	4,7,4,8,4,9,5,0,5,1	5,2,5,3,5,3,5,4,5,5	9,4
3,8,3,8,3,9,4,0,4,1	4,2,4,3,4,4,4,5,4,6	4,7,4,8,4,8,4,9,5,0	5,1,5,2,5,3,5,3,5,4	10,0
3,8,3,8,3,9,4,0,4,1	4,2,4,3,4,4,4,4,4,5	4,6,4,7,4,8,4,8,4,9	5,0,5,1,5,2,5,3,5,3	10,6
3,7,3,8,3,9,3,9,4,0	4,1,4,2,4,3,4,4,4,4	4,5,4,6,4,7,4,8,4,8	4,9,5,0,5,1,5,2,5,3	11,1
3,6,3,7,3,8,3,9,4,0	4,0,4,1,4,2,4,3,4,4	4,4,4,5,4,6,4,7,4,8	4,8,4,9,5,0,5,1,5,2	11,7
3,6,3,7,3,7,3,8,3,9	4,0,4,1,4,1,4,2,4,3	4,4,4,5,4,5,4,6,4,7	4,8,4,9,4,9,5,0,5,1	12,2
3,5,3,6,3,7,3,8,3,8	3,9,4,0,4,1,4,2,4,2	4,3,4,4,4,5,4,6,4,6	4,7,4,8,4,9,4,9,5,0	12,8
3,5,3,6,3,6,3,7,3,8	3,9,3,9,4,0,4,1,4,2	4,2,4,3,4,4,4,5,4,6	4,6,4,7,4,8,4,9,4,9	13,3
3,4,3,5,3,6,3,7,3,7	3,8,3,9,4,0,4,0,4,1	4,2,4,3,4,4,4,4,4,5	4,6,4,6,4,7,4,8,4,9	13,9
3,4,3,4,3,5,3,6,3,7	3,8,3,8,3,9,4,0,4,1	4,1,4,2,4,3,4,4,4,4	4,5,4,6,4,7,4,7,4,8	14,4
3,3,3,4,3,5,3,5,3,6	3,7,3,8,3,8,3,9,4,0	4,1,4,1,4,2,4,3,4,4	4,4,4,5,4,6,4,7,4,7	15,0
3,3,3,3,4,3,5,3,6	3,6,3,7,3,8,3,9,3,9	4,0,4,1,4,2,4,2,4,3	4,4,4,4,5,4,6,4,7,4,7	15,6
3,2,3,3,4,3,4,3,5	3,6,3,7,3,7,3,8,3,9	4,0,4,0,4,1,4,2,4,2	4,3,4,4,4,5,4,5,4,6	16,1
3,2,3,3,3,3,4,3,5	3,5,3,6,3,7,3,8,3,8	3,9,4,0,4,0,4,1,4,2	4,2,4,3,4,4,4,5,4,5	16,7
3,1,3,2,3,3,3,3,4	3,5,3,6,3,6,3,7,3,8	3,8,3,9,4,0,4,0,4,1	4,2,4,3,4,3,4,4,4,5	17,2
3,1,3,2,3,2,3,3,4	3,4,3,5,3,6,3,6,3,7	3,8,3,9,3,9,4,0,4,1	4,1,4,2,4,3,4,3,4,4	17,8
3,0,3,1,3,2,3,3,3,3	3,4,3,5,3,5,3,6,3,7	3,7,3,8,3,9,3,9,4,0	4,1,4,1,4,2,4,3,4,4	18,3
3,0,3,1,3,1,3,2,3,3	3,3,4,3,5,3,5,3,6	3,7,3,8,3,8,3,9,4,0	4,0,4,1,4,2,4,2,4,3	18,9
3,0,3,0,3,1,3,2,3,2	3,3,4,3,4,3,5,3,6	3,6,3,7,3,8,3,8,3,9	4,0,4,0,4,1,4,2,4,2	19,4
2,9,3,0,3,1,3,1,3,2	3,3,3,3,4,3,5,3,5	3,6,3,7,3,7,3,8,3,8	3,9,4,0,4,0,4,1,4,2	20,0
2,9,3,0,3,0,3,1,3,1	3,3,3,3,3,4,3,5,3,5	3,6,3,7,3,7,3,8,3,8	3,9,3,9,4,0,4,1,4,1	20,6
2,8,2,9,3,0,3,0,3,1	3,2,3,3,3,4,3,5,3,5	3,5,3,6,3,7,3,7,3,8	3,8,3,9,3,9,4,0,4,1	21,1
2,8,2,9,2,9,3,0,3,1	3,1,3,2,3,3,3,3,4	3,4,3,5,3,6,3,6,3,7	3,8,3,8,3,9,4,0,4,0	21,7
2,8,2,8,2,9,3,0,3,0	3,1,3,1,3,2,3,3,3,3	3,4,3,5,3,5,3,6,3,6	3,7,3,8,3,8,3,9,4,0	22,2
2,7,2,8,2,9,2,9,3,0	3,0,3,1,3,2,3,2,3,3	3,4,3,4,3,5,3,5,3,6	3,7,3,7,3,8,3,9,3,9	22,8
2,7,2,8,2,8,2,9,2,9	3,0,3,1,3,1,3,2,3,3	3,3,4,3,4,3,5,3,6	3,6,3,7,3,7,3,8,3,9	23,3
2,7,2,7,2,8,2,8,2,9	3,0,3,0,3,1,3,2,3,2	3,3,3,3,4,3,5,3,5	3,6,3,6,3,7,3,8,3,8	23,9
2,6,2,7,2,8,2,8,2,9	2,9,3,0,3,1,3,1,3,2	3,2,3,3,4,3,4,3,5	3,5,3,6,3,6,3,7,3,8	24,4
2,6,2,7,2,7,2,8,2,8	2,9,3,0,3,0,3,1,3,1	3,2,3,2,3,3,4,3,4	3,5,3,5,3,6,3,7,3,7	25,0
2,6,2,6,2,7,2,7,2,8	2,9,2,9,3,0,3,0,3,1	3,1,3,2,3,3,3,3,4	3,4,3,5,3,6,3,6,3,7	25,6
2,5,2,6,2,7,2,7,2,8	2,8,2,9,2,9,3,0,3,1	3,1,3,2,3,2,3,3,3,3	3,4,3,5,3,5,3,6,3,6	26,1
2,5,2,6,2,6,2,7,2,7	2,8,2,8,2,9,3,0,3,0	3,1,3,1,3,2,3,2,3,3	3,4,3,4,3,5,3,5,3,6	26,7
2,5,2,5,2,6,2,6,2,7	2,8,2,8,2,9,2,9,3,0	3,0,3,1,3,1,3,2,3,3	3,3,4,3,4,3,5,3,5	27,2
2,4,2,5,2,6,2,6,2,7	2,7,2,8,2,8,2,9,2,9	3,0,3,1,3,1,3,2,3,2	3,3,3,3,4,3,4,3,5	27,8
2,4,2,5,2,5,2,6,2,6	2,7,2,7,2,8,2,8,2,9	3,0,3,0,3,1,3,1,3,2	3,2,3,3,3,3,4,3,5	28,3
2,4,2,4,2,5,2,5,2,6	2,7,2,7,2,8,2,8,2,9	2,9,3,0,3,0,3,1,3,1	3,2,3,3,3,3,4,3,4	28,9
2,3,2,4,2,5,2,5,2,6	2,6,2,7,2,7,2,8,2,8	2,9,2,9,3,0,3,1,3,1	3,2,3,2,3,3,3,3,4	29,4
2,3,2,4,2,4,2,5,2,5	2,6,2,6,2,7,2,7,2,8	2,9,2,9,3,0,3,0,3,1	3,1,3,2,3,2,3,3,3,3	30,0
2,3,2,3,2,4,2,4,2,5	2,6,2,6,2,7,2,7,2,8	2,8,2,9,2,9,3,0,3,0	3,1,3,1,3,2,3,2,3,3	30,6
2,3,2,3,2,4,2,4,2,5	2,5,2,6,2,6,2,7,2,7	2,8,2,8,2,9,2,9,3,0	3,0,3,1,3,2,3,2,3,3	31,1
2,2,2,3,2,3,2,4,2,4	2,5,2,5,2,6,2,7,2,7	2,8,2,8,2,9,2,9,3,0	3,0,3,1,3,1,3,2,3,2	31,7

ANEXO B: CONTINUACIÓN

Continuación de la Tabla 1.

				4,5°
				5,0
				5,6
				6,1
				6,7
6,0				7,2
5,9 6,0				7,8
5,8 5,9 6,0				8,3
5,8 5,8 5,9 6,0				8,9
5,7 5,7 5,8 5,9 6,0				9,4
5,6 5,6 5,7 5,8 5,9				10,0
5,5 5,6 5,6 5,7 5,8				10,6
5,4 5,5 5,6 5,6 5,7				11,1
5,3 5,4 5,5 5,6 5,6				11,7
5,3 5,3 5,4 5,5 5,6				12,2
5,2 5,3 5,3 5,4 5,5	6,0			12,8
5,1 5,2 5,2 5,3 5,4	5,9 6,0			13,3
5,0 5,1 5,2 5,2 5,3	5,8 5,5 5,9 6,0			13,9
5,0 5,0 5,1 5,2 5,2	5,7 5,8 5,9 5,9 6,0			14,4
4,9 5,0 5,0 5,1 5,2	5,6 5,7 5,8 5,9 5,9	6,0		15,0
4,8 4,9 5,0 5,0 5,1	5,5 5,6 5,7 5,8 5,8	5,9 6,0		15,6
4,8 4,8 4,9 4,0 5,0	5,5 5,5 5,6 5,7 5,8	5,8 5,9 6,0		16,1
5,0 5,1 5,2 5,2 5,3	5,4 5,5 5,5 5,6 5,7	5,8 5,8 5,9 6,0		16,7
5,0 5,0 5,1 5,2 5,2	5,3 5,4 5,5 5,5 5,6	5,7 5,7 5,8 5,9 6,0		17,2
4,9 5,0 5,0 5,1 5,2	5,2 5,3 5,4 5,5 5,5	5,6 5,7 5,7 5,8 5,9		17,8
4,8 4,9 5,0 5,0 5,1	5,2 5,2 5,3 5,4 5,4	5,5 5,6 5,7 5,7 5,8		18,3
4,8 4,8 4,9 5,0 5,0	5,1 5,2 5,2 5,3 5,4	5,4 5,5 5,6 5,6 5,7		18,9
4,7 4,8 4,8 4,9 5,0	5,0 5,1 5,2 5,2 5,3	5,4 5,4 5,5 5,6 5,6		19,4
4,6 4,7 4,8 4,8 4,9	5,0 5,0 5,1 5,2 5,2	5,3 5,4 5,4 5,5 5,6	6,0	20,0
4,6 4,6 4,7 4,8 4,8	4,9 5,0 5,0 5,1 5,2	5,2 5,3 5,4 5,4 5,5	5,9 5,9 6,0	20,6
4,5 4,6 4,6 4,7 4,8	4,8 4,9 5,0 5,0 5,1	5,2 5,2 5,3 5,4 5,4	5,8 5,9 5,9 6,0	21,1
4,5 4,5 4,6 4,6 4,7	4,8 4,8 4,9 5,0 5,0	5,1 5,2 5,2 5,3 5,3	5,7 5,8 5,9 5,9 6,0	21,7
4,4 4,5 4,5 4,6 4,7	4,7 4,8 4,8 4,9 5,0	5,3 5,4 5,5 5,5 5,6	5,7 5,7 5,8 5,8 5,9	22,2
4,3 4,4 4,5 4,5 4,6	4,7 4,7 4,8 4,8 4,9	5,3 5,3 5,4 5,5 5,6	5,6 5,6 5,7 5,8 5,8	22,8
4,3 4,3 4,4 4,5 4,5	4,6 4,7 4,7 4,8 4,8	5,2 5,3 5,3 5,4 5,4	5,5 5,6 5,6 5,7 5,8	23,3
4,2 4,3 4,4 4,4 4,5	4,5 4,6 4,7 4,7 4,8	5,1 5,2 5,3 5,3 5,4	5,4 5,5 5,6 5,6 5,7	23,9
4,2 4,2 4,3 4,4 4,4	4,5 4,5 4,6 4,7 4,7	5,1 5,1 5,2 5,3 5,3	5,4 5,4 5,5 5,6 5,6	24,4
4,1 4,2 4,2 4,3 4,4	4,4 4,5 4,5 4,6 4,7	5,0 5,1 5,1 5,2 5,3	5,3 5,4 5,4 5,5 5,5	25,0
4,1 4,1 4,2 4,3 4,3	4,4 4,4 4,5 4,5 4,6	5,0 5,0 5,1 5,1 5,2	5,2 5,3 5,4 5,4 5,5	25,6
4,0 4,1 4,1 4,2 4,3	4,3 4,4 4,4 4,5 4,6	4,9 5,0 5,0 5,1 5,1	5,2 5,2 5,3 5,4 5,4	26,1
4,0 4,0 4,1 4,2 4,2	4,3 4,3 4,4 4,4 4,5	4,8 4,9 5,0 5,0 5,1	5,1 5,2 5,2 5,3 5,4	26,7
3,9 4,0 4,0 4,1 4,2	4,2 4,3 4,3 4,4 4,4	4,8 4,8 4,9 4,9 5,0	5,1 5,1 5,2 5,2 5,3	27,2
3,9 3,9 4,0 4,1 4,1	4,2 4,2 4,3 4,3 4,4	4,7 4,8 4,8 4,9 4,9	5,0 5,1 5,1 5,2 5,2	27,8
3,8 3,9 3,9 4,0 4,1	4,1 4,2 4,2 4,3 4,3	4,7 4,7 4,8 4,8 4,9	4,9 5,0 5,1 5,1 5,2	28,3
3,8 3,8 3,9 4,0 4,0	4,1 4,1 4,2 4,2 4,3	4,6 4,7 4,8 4,8 4,8	4,9 4,9 5,0 5,0 5,1	28,9
3,7 3,8 3,9 3,9 4,0	4,0 4,1 4,1 4,2 4,2	4,6 4,6 4,7 4,7 4,8	4,8 4,9 4,9 5,0 5,0	29,4
3,7 3,8 3,8 3,9 3,9	4,0 4,0 4,1 4,1 4,4	4,5 4,6 4,6 4,7 4,7	4,8 4,8 4,9 4,9 5,0	30,0
3,7 3,7 3,8 3,8 3,9	3,9 4,0 4,0 4,1 4,1	4,5 4,5 4,6 4,6 4,7	4,7 4,8 4,8 4,9 4,9	30,6
3,6 3,7 3,7 3,8 3,8	3,9 3,9 4,0 4,0 4,1	4,4 4,5 4,5 4,6 4,6	4,7 4,7 4,8 4,8 4,9	31,1
3,6 3,6 3,7 3,7 3,8	3,8 3,9 3,9 4,0 4,0	4,4 4,4 4,5 4,5 4,6	4,6 4,7 4,7 4,8 4,8	31,7
3,5 3,6 3,6 3,7 3,7	3,8 3,8 3,9 3,9 4,0	4,3 4,4 4,4 4,5 4,5	4,6 4,6 4,7 4,7 4,8	32,2
3,5 3,5 3,6 3,6 3,7	3,7 3,8 3,8 3,9 3,9	4,3 4,3 4,4 4,4 4,5	4,5 4,6 4,6 4,7 4,7	
0,394 0,401 0,408 0,415 0,422	0,429 0,436 0,443 0,450 0,457	0,464 0,471 0,478 0,485 0,492	0,499 0,506 0,513 0,520 0,527	0,534 0,541 0,548 0,555 0,562

PRESION MANOMETRICA EN MEGA PASCALES

Continuación de la Tabla 1.

				4,5°
				5,0
				5,6
				6,1
				6,7
				7,2
				7,8
				8,3
				8,9
				9,4
				10,0
				10,6
				11,1
				11,7
				12,2
				12,8
				13,3
				13,9
				14,4
				15,0
				15,6
				16,1
				16,7
				17,2
				17,8
				18,3
				18,9
				19,4
				20,0
				20,6
				21,1
				21,7
				22,2
				22,8
				23,3
				23,9
6,0				24,4
5,9 6,0				25,0
5,8 5,9 6,0				25,6
5,8 5,8 5,9 5,9 6,0				26,1
5,7 5,7 5,8 5,9 5,9	6,0			26,7
5,6 5,7 5,7 5,8 5,9	5,9 6,0			27,2
5,6 5,6 5,7 5,7 5,8	5,8 5,9 6,0			27,8
5,5 5,5 5,6 5,7 5,7	5,8 5,8 5,9 6,0			28,3
5,4 5,5 5,5 5,6 5,6	5,7 5,8 5,8 5,9 5,9	6,0		28,9
5,4 5,4 5,5 5,5 5,6	5,6 5,7 5,7 5,8 5,9	5,9 6,0		29,4
5,3 5,4 5,4 5,5 5,5	5,6 5,6 5,7 5,7 5,8	5,9 5,9 6,0		30,0
5,3 5,3 5,4 5,4 5,5	5,5 5,6 5,6 5,7 5,7	5,8 5,8 5,9 5,9 6,0		30,6
5,2 5,3 5,3 5,4 5,4	5,5 5,5 5,6 5,6 5,7	5,7 5,7 5,8 5,8 5,9	6,0	31,1
5,1 5,2 5,2 5,3 5,4	5,4 5,5 5,5 5,6 5,6	5,7 5,7 5,8 5,8 5,9	5,9 6,0	31,7
5,1 5,1 5,2 5,2 5,3	5,3 5,4 5,4 5,5 5,5	5,6 5,6 5,7 5,7 5,8	5,8 5,9 5,9 6,0	32,2
5,0 5,1 5,1 5,2 5,2	5,3 5,3 5,4 5,4 5,5	5,5 5,6 5,6 5,7 5,7	5,8 5,8 5,9 5,9 6,0	
0,605 0,612 0,619 0,626 0,633	0,640 0,647 0,654 0,661 0,668	0,665 0,662 0,669 0,696 0,703	0,710 0,717 0,724 0,731 0,738	

PRESION MANOMETRICA EN MEGA PASCALES

TEMPERATURA DEL LIQUIDO EN GRADOS CENTIGRADOS

ANEXO C: CÁLCULO DE LOS ANÁLISIS FÍSICOS Y QUÍMICOS DE LA BEBIDA NO CARBONATADA

a)

Peso (g)	Muestra 1	Promedio	Muestra 2	Promedio
Picnómetro	13,8026	13,803	15,0876	15,087
	13,8025		15,0868	
Picnómetro con agua destilada	23,6654	23,659	25,0603	25,105
	23,6588		25,148	
	23,6536		25,1063	
Picnómetro con "Maíztea"	23,996	23,688	25,3978	25,396
	23,987		25,395	
	23,0808		25,3938	

Para la muestra 1:

$$\frac{23,688 - 13,803}{23,659 - 13,803} = 1,002$$

Para la muestra 2:

$$\frac{25,396 - 15,087}{25,105 - 15,087} = 1,0290$$

Muestra	Resultado
1	4,06 g/100 ml
2	7,52 g/ 100 ml
Promedio	5,79 g/ 100 ml

b)

$$2,6 \text{ ml NaOH} * 0,1 \text{ N (NaOH)} = C * \frac{100 \text{ ml}}{10 \text{ ml}}$$

$$C = 0,026 \text{ N}$$

$$C(\text{ácido cítrico}) = 0,026 \frac{\text{mili - eq}}{\text{ml}} * 0,064 \frac{\text{g}}{\text{mili - eq}} = 1,664 * 10^{-3} \frac{\text{g}}{\text{ml}}$$

$$C(\text{ácido cítrico}) = 0,1664 \frac{\text{g}}{100 \text{ ml}}$$

NOTAS:

- a) Cálculo de sólidos solubles a 20 °C fracción másica como porcentaje (%) de sacarosa
- b) Cálculo de la acidez titulable, como ácido cítrico a 20 °C.

**CATEGORIA D
EL
DIAGRAMA:**

- Aprobado
- Preliminar
- Certificado
- Por aprobar
- Información
- Por calificar

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA
DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**

ELABORADO POR:

Jhon Kevin Tacuri
Tayupanda

LAMINA	ESCALA	FECHA
1	1:1	11/03/2024

ANEXO C: CONTINUACIÓN; ANTOCIANINAS

a)

	ph=1		ph=4,5	
	510 nm	700 nm	510 nm	700 nm
Muestra 1	0,136	0,01	0,03	0,003
	0,134	0,009	0,03	0,003
Muestra 2	0,131	0,007	0,028	0,001
	0,132	0,008	0,028	0,001
	0,131	0,008		

b)

	ph=1		ph=4,5	
	510 nm	700 nm	510 nm	700 nm
Muestra 1	0,115	0,017	0,031	0,007
	0,115	0,017	0,035	0,012
	0,115	0,016	0,033	0,009
Muestra 2	0,106	0,011	0,027	0,004
	0,107	0,011	0,027	0,004
	0,107	0,01	0,027	0,004

NOTAS:

- a) Datos obtenidos mediante el espectrómetro para la bebida no carbonatada.
- b) Datos obtenidos mediante el espectrofotómetro para la bebida carbonatada.

**CATEGORIA D
EL DIAGRAMA:**

- Aprobado
- Preliminar
- Certificado
- Por aprobar
- Información
- Por calificar

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA
DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**

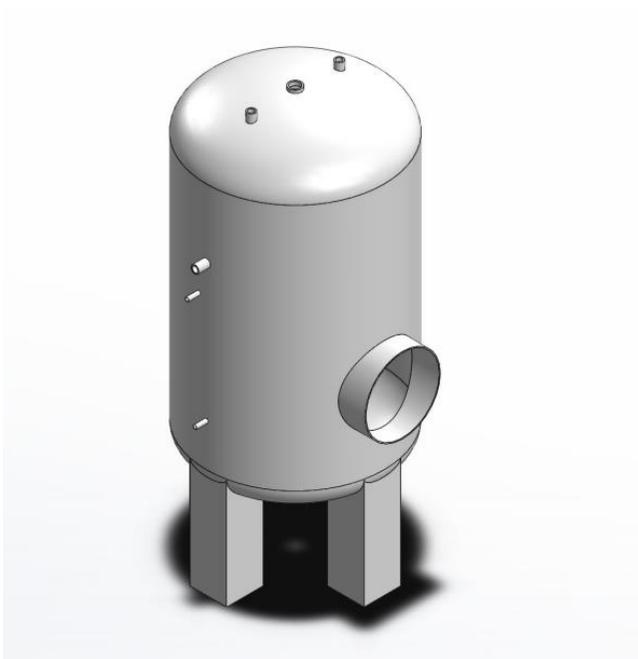
ELABORADO POR:

Jhon Kevin Tacuri Tayupanda

LAMINA	ESCALA	FECHA
2	1:1	11/03/2024

ANEXO D: DISEÑO 3D DEL EQUIPO

a)



b)



NOTAS:

- a) Diseño del tanque de carbonatación
- c) Diseño del serpentín helicoidal

**CATEGORIA D
EL DIAGRAMA:**

- Aprobado
- Preliminar
- Certificado
- Por aprobar
- Información
- Por calificar

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA
DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**

ELABORADO POR:

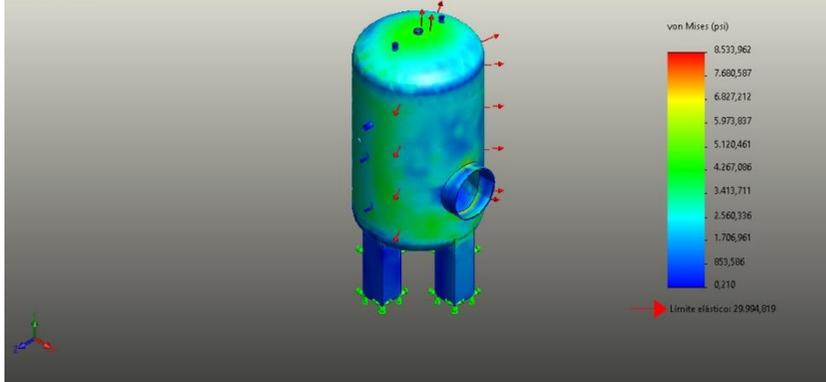
Jhon Kevin Tacuri Tayupanda

LAMINA	ESCALA	FECHA
3	1:1	11/03/2024

ANEXO E: FACTOR DE SEGURIDAD DE LOS EQUIPOS

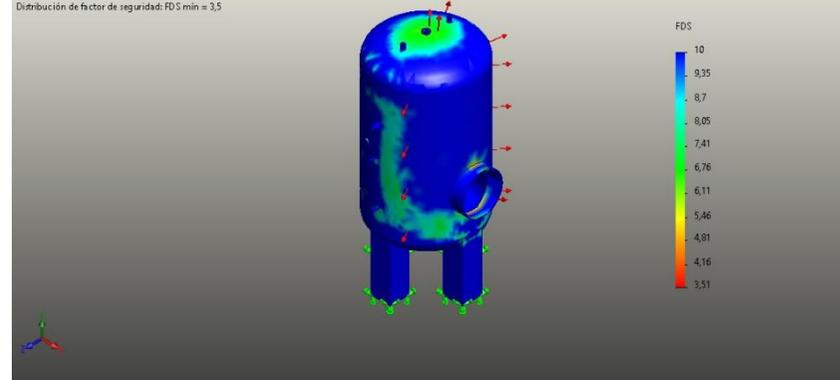
a)

Nombre del modelo: Ensamblaje2
 Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado)
 Tipo de resultado: Análisis estático tensión no da1 Tensiones1
 Escala de deformación: 1



b)

Nombre del modelo: Ensamblaje2
 Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado)
 Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
 Criterio: Tensiones von Mises máx.
 Distribución de factor de seguridad: FDS min = 3,5



NOTAS:

- a) Análisis de tensión Von Mises
- b) Factor de seguridad en el tanque de carbonatación

**CATEGORIA D
 EL DIAGRAMA:**

- Aprobado
- Preliminar
- Certificado
- Por aprobar
- Información
- Por calificar

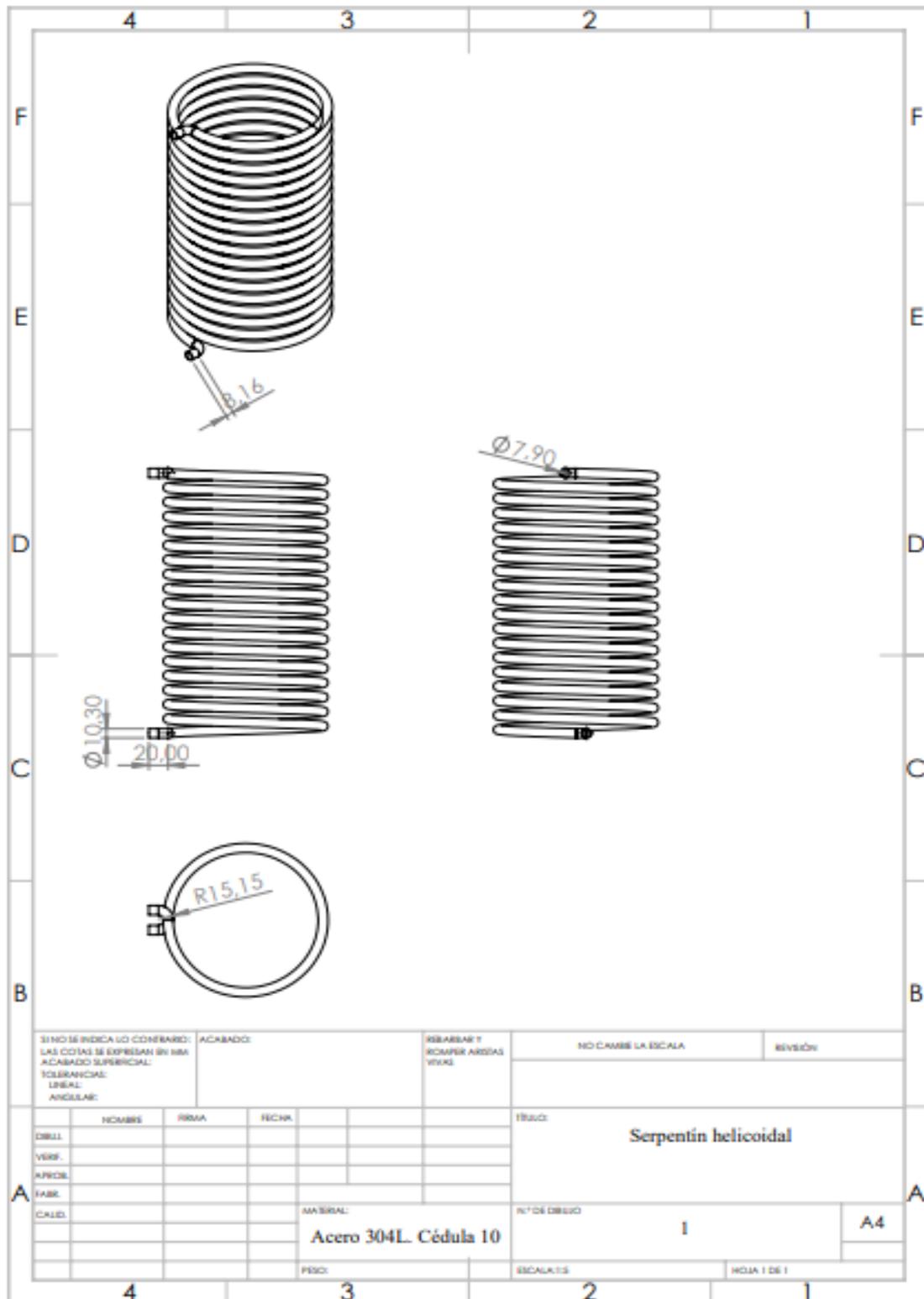
**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA
 DE CHIMBORAZO
 FACULTAD DE CIENCIAS
 ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**

ELABORADO POR:

Jhon Kevin Tacuri
 Tayupanda

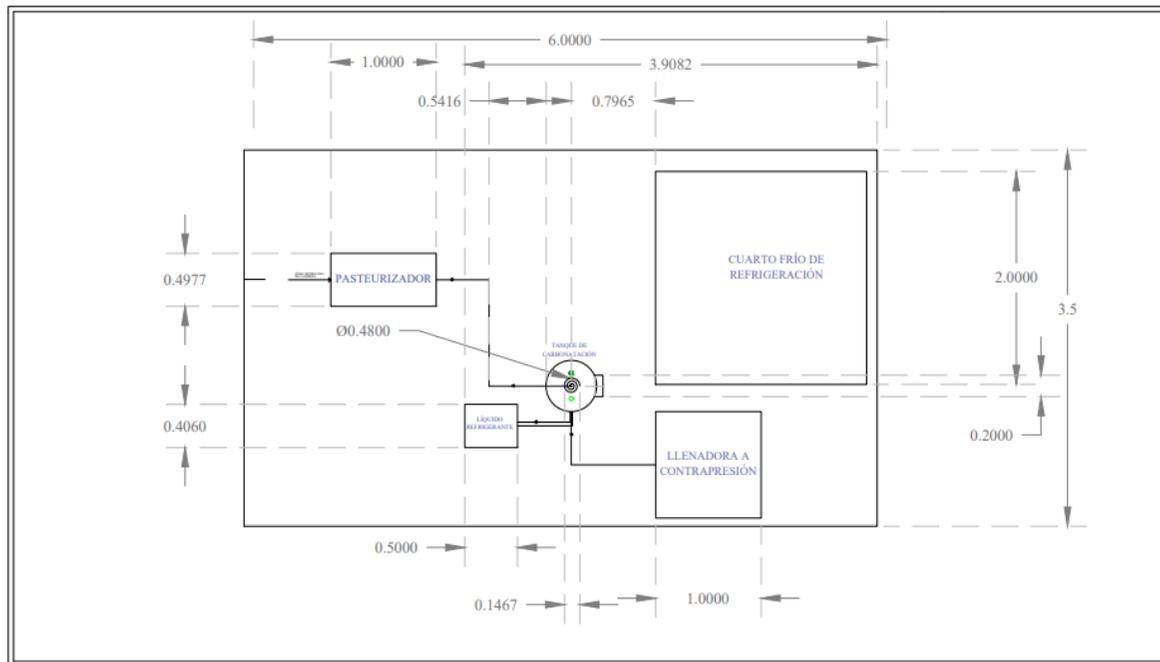
LAMINA	ESCALA	FECHA
4	1:1	11/03/2024

ANEXO F: CONTINUACIÓN, SERPENTÍN HELICOILDAL



ANEXO G: LAYOUT DEL PROCESO DE CARBONATACIÓN

a)



NOTAS:

a) Vista superior del Layout del proceso de carbonatación

**CATEGORIA D
EL DIAGRAMA:**

- Aprobado
- Preliminar
- Certificado
- Por aprobar
- Información
- Por calificar

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA
DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**

ELABORADO POR:

Jhon Kevin Tacuri
Tayupanda

LAMINA	UNIDADES	FECHA
5	Metros	11/03/2024

ANEXO H: ANÁLISIS FÍSICO, QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO

a)



b)



c)



d)



e)



NOTAS:

- a) Determinación de pH
- b) Determinación de acidez titulable como ácido cítrico
- c) Determinación de sólidos solubles
- d) Determinación de antocianinas
- e) Análisis microbiológicos

CATEGORIA D EL DIAGRAMA:

- Aprobado
- Preliminar
- Certificado
- Por aprobar
- Información
- Por calificar

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA
DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**

ELABORADO POR:

Jhon Kevin Tacuri
Tayupanda

LAMINA

UNIDADES

FECHA

5

Metros

11/03/2024

ANEXO I: DISEÑO EXPERIMENTAL

a)



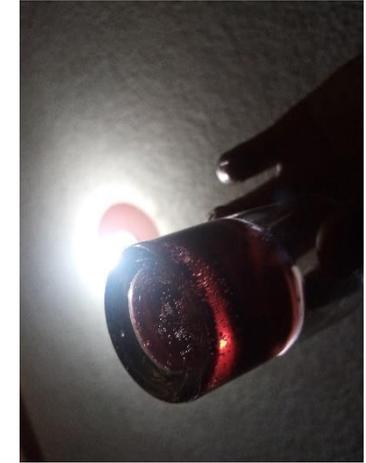
b)



c)



d)



NOTAS:

- a) Equipo de experimentación armado.
- b) Bebida "Maíztea" en proceso de carbonatación.
- c) Medidor de volúmenes de CO₂.
- d) Bebida final carbonatada.

**CATEGORIA D
EL DIAGRAMA:**

- Aprobado
- Preliminar
- Certificado
- Por aprobar
- Información
- Por calificar

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA
DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**

ELABORADO POR:

Jhon Kevin Tacuri
Tayupanda

LAMINA	UNIDADES	FECHA
6	Metros	11/03/2024

ANEXO J: PRUEBA SENSORIAL

a)

	Kolmogorov-Smirnov		Valor -p
	DN	GL	
Preferencia		100	1,0000
Efecto refrescante	0,239785	100	0,0000
Acidez	0,254459	100	0,0000

b)



c)



NOTAS:

- b) Análisis estadístico de normalidad
- c) Muestra 785 y 672
- d) Análisis sensorial

CATEGORIA D EL DIAGRAMA:

- Aprobado
- Preliminar
- Certificado
- Por aprobar
- Información
- Por calificar

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA
DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**

ELABORADO POR:

Jhon Kevin Tacuri
Tayupanda

LAMINA	ESCALA	FECHA
7	1:1	11/03/2024

ANEXO K: RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DE LA BEBIDA NO CARBONATADA



saqmic
LABORATORIO DE SERVICIOS ANALÍTICOS
QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS EN AGUA Y ALIMENTOS

RESULTADOS DE ANÁLISIS

Fecha: 22 de diciembre del 2023
Análisis solicitado por: Sr. Jhon Tacuri
Tipo de muestras: Bebida "MAIZTEA"
Localidad: Riobamba

EXAMEN FÍSICO

ATRIBUTO	Descripción
Color	Violeta oscuro
Sabor	Dulce agradable
Aspecto	Líquido ligeramente turbio

EXAMEN MICROBIOLÓGICO

Parámetros	Unid.	Método	Resultados
Recuento de Aerobios mesófilos	UFC/mL	INEN 1529-6	10
Recuento de Mohos y Levaduras	UFC/mL	INEN 1529-10	< 10
Escherichia coli	UFC/mL	INEN 1529-8	< 10

RESPONSABLE:



SAQMIC Servicio de Análisis Químicos y Microbiológicos
Dra. Gina Álvarez
Tel. 2 924 322 // Cel. 0995560374

Dra. Gina Álvarez R.
RESPONSABLE TÉCNICO LABORATORIO

El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo; el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables.
*La muestra fue receptada en laboratorio.

Avenida 9 de Octubre # 12 y Madrid Q
Contactanos: @0998580374 @032 942 322
Saqmic Laboratorio
Riobamba - Ecuador



ANEXO L: RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICOS, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DE LA BEBIDA CARBONATADA



saqmic
LABORATORIO DE SERVICIOS ANALÍTICOS
QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS EN AGUA Y ALIMENTOS

INFORME DE ANÁLISIS QUÍMICO

ANÁLISIS SOLICITADO POR: Sr. Jhon Tacuri
TIPO DE MUESTRA: Bebida Carbonatada "MAIZTEA" a base de maíz morado
FECHA DE ANÁLISIS: 01 de marzo del 2024
PROCEDENCIA: Cantón Riobamba Provincia de Chimborazo

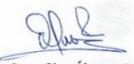
EXAMEN FÍSICO

ATRIBUTO	Descripción
Color	Rojo oscuro
Sabor	Dulce refrescante ligeramente ácido
Aspecto	Líquido, carbonatado, homogéneo

DETERMINACIONES	UNIDADES	MÉTODO DE ANÁLISIS	*VALORES DE REFERENCIA	RESULTADOS
pH		NTE INEN 1 087	2.4 – 5.0	3.71
Acidez titulable, expresado como ácido cítrico	% (g/100mL)	NTE INEN 1 091	Max 0.5	0.25

*Referencia Norma NTE INEN -1101-2008 Bebidas gaseosas

RESPONSABLE:





SaQMIC
Servicio de Análisis Químico y Microbiológico
Dra. Gina Álvarez
Telf. 2 924 322 / Cel. 0998580374

Dra. Gina Álvarez R.

El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo; el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables.
 *La muestra fue receptada en laboratorio



Avenida 9 de Octubre # 12 y Madrid
 Contactarnos: (5)0998580374 (5)032 942 322
 Saqmic Laboratorio
 Riobamba - Ecuador



saqmic
LABORATORIO DE SERVICIOS ANALÍTICOS
QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS EN AGUA Y ALIMENTOS

INFORME DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

ANÁLISIS SOLICITADO POR: Sr. Jhon Tacuri
TIPO DE MUESTRA: Bebida Carbonatada "MAIZTEA" a base de maíz morado
FECHA DE ANÁLISIS: 01 de marzo del 2024
PROCEDENCIA: Cantón Riobamba Provincia de Chimborazo

EXAMEN FÍSICO

ATRIBUTO	Descripción
Color	Rojo oscuro
Sabor	Dulce refrescante ligeramente ácido
Aspecto	Líquido, carbonatado, homogéneo

DETERMINACIONES	UNIDADES	MÉTODO DE ANÁLISIS	*VALORES DE REFERENCIA	RESULTADOS
Coliformes totales	UFC/mL	INEN 1529-6	Ausencia	Ausencia
Mohos y Levaduras	UFC/mL	INEN 1529-10	10	Ausencia

*Referencia Norma NTE INEN -1101-2008 Bebidas gaseosas

RESPONSABLE:





SaQMIC
Servicio de Análisis Químico y Microbiológico
Dra. Gina Álvarez
Telf. 2 924 322 / Cel. 0998580374

Dra. Gina Álvarez R.

El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo; el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables.
 *La muestra fue receptada en laboratorio



Avenida 9 de Octubre # 12 y Madrid
 Contactarnos: (5)0998580374 (5)032 942 322
 Saqmic Laboratorio
 Riobamba - Ecuador



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 24/ 06/ 2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: Jhon Kevin Tacuri Tayupanda
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Química
Título a optar: Ingeniero Químico
 Ing. Cristina Alejandra Muñoz Shugulí. PhD Directora del Trabajo de Integración Curricular
 Ing. Mónica Lilián Andrade Avalos Asesora del Trabajo de Integración Curricular