

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



ACONDICIONAMIENTO DE AGUA Y PROPUESTA DE  
ADAPTACIÓN DE SISTEMA DE FILTRACIÓN PARA MOSTO Y  
FILTRACIÓN A BAJA TEMPERATURA PARA CERVEZA  
ARTESANAL TIPO LAGER EN EL LABORATORIO DE  
OPERACIONES UNITARIAS DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE DE  
GUATEMALA

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por  
Julio Estuardo Santa Cruz Márquez  
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Química  
Industrial

Guatemala

2021



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Acondicionamiento de agua y propuesta de adaptación de sistema de filtración para mosto y filtración a baja temperatura para cerveza artesanal tipo Lager en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala

Trabajo de graduación presentado por  
Julio Estuardo Santa Cruz Márquez  
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Química  
Industrial

Guatemala, 2021

Vo. Bo.:

(f)

Ing. Gamaliel Giovanni Zambrano Ruano

Tribunal Examinador:

(f)

Ing. Gamaliel Giovanni Zambrano Ruano

(f)

Ing. Luis Ernesto Núñez González

(f)

Ing. Ana Regina Cruz Serré

Fecha de aprobación: 26 de febrero de 2021

# ÍNDICE

LISTA DE TABLAS .....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN .....	x
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. OBJETIVOS .....	2
A. GENERAL.....	2
B. ESPECÍFICOS.....	2
III. JUSTIFICACIÓN .....	3
IV. MARCO TEÓRICO.....	4
A. CERVEZA .....	4
1. Lúpulo.....	4
2. Malta.....	5
3. Tipos de cerveza .....	6
B. CARACTERÍSTICAS DE LA CERVEZA .....	6
1. Temperatura.....	7
2. Color .....	7
C. TURBIDEZ DE LA CERVEZA.....	8
1. Tipos de turbidez .....	8
2. Mediciones.....	10
D. AGUA EN LA FABRICACIÓN DE LA CERVEZA .....	10
E. COMPORTAMIENTO DE LOS SÓLIDOS .....	12
1. Densidad aparente.....	12
2. Densidad compactada.....	13
3. Ángulo de reposo y ángulo de deslizamiento.....	13
4. Ángulo de ruptura.....	14
5. Ángulo de espátula .....	15
6. Sedimentación .....	15
F. FILTRACIÓN.....	16
1. Equipo para filtración por tortas.....	16

2.	Sólidos disueltos .....	18
3.	Sólidos suspendidos.....	18
4.	Viscosidad .....	18
5.	Clasificación neumática de los sólidos.....	19
G.	EQUIPOS AUXILIARES.....	19
1.	Bombas .....	19
2.	Tubería.....	21
V.	ANTECEDENTES .....	22
VI.	METODOLOGÍA.....	23
A.	CARACTERIZACIÓN DE MALTA TIPO PILSENER.....	23
1.	Cálculo de ángulo de reposo.....	23
2.	Cálculo de ángulo de deslizamiento .....	23
3.	Cálculo de densidad aparente .....	24
4.	Cálculo de densidad compactada.....	24
5.	Cálculo de humedad relativa .....	25
6.	Análisis granulométrico.....	25
B.	PROPUESTA DE SISTEMA DE DOSIFICACIÓN DE MALTA .....	25
1.	Dimensionamiento de la tolva .....	25
C.	ACONDICIONAMIENTO DE AGUA PARA LA PRODUCCIÓN DE CERVEZA LAGER .....	26
1.	Acondicionamiento de agua para producción de cerveza tipo Lager .....	26
D.	FILTRACIÓN DE CERVEZA TIPO LAGER.....	27
1.	Selección de filtro.....	27
2.	Instalación de filtro .....	28
3.	Pruebas de turbidez.....	28
4.	Pruebas de sedimentación.....	28
5.	Pruebas de filtrado .....	29
6.	Pruebas de centrifugación.....	29
VII.	RESULTADOS.....	30
VIII.	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	42
IX.	CONCLUSIONES .....	50
X.	RECOMENDACIONES.....	52
XI.	BIBLIOGRAFÍA .....	53

XII.	ANEXOS .....	55
A.	DATOS ORIGINALES .....	55
B.	DATOS CALCULADOS .....	61
C.	CÁLCULOS DE MUESTRA.....	62
D.	ANÁLISIS DE ERROR.....	66
E.	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS .....	68
F.	REGISTRO GRÁFICO DE EXPERIMENTACIÓN .....	73
G.	ANÁLISIS DE MUESTRA DE AGUA UTILIZADA PARA PRODUCCIÓN DE CERVEZA .....	77
H.	NORMA COGUANOR NTG 29001 .....	82
I.	PASOS DE OPERACIÓN EN SISTEMA DE FILTRACIÓN .....	94
XIII.	GLOSARIO .....	96

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Temperatura ideal para servir cervezas.....	7
Tabla 2. Mediciones SMR para distintos colores de cervezas.....	8
Tabla 3. Especificaciones físicas, organolépticas y químicas de la norma NTG 29001 de agua destinada a consumo.....	11
Tabla 4. Coeficiente de pérdidas por fricción en accesorios.....	20
Tabla 5. Especificaciones físicas, organolépticas y químicas de muestra de agua Salvavidas en presentación de garrafón.....	30
Tabla 6. Especificaciones físicas, organolépticas y químicas de muestra de agua Salvavidas en presentación de garrafón, añadiendo cloruro de calcio, utilizada para producción de cerveza.....	31
Tabla 7. Comparación de parámetros químicos establecidos por la norma COGUANOR NTG 29001.....	32
Tabla 8. Tamaño de partícula de malta utilizada para la producción.....	32
Tabla 9. Especificaciones para la tolva propuesta para dosificación de malta.....	34
Tabla 10. Comparación de métodos de remoción de sólidos.....	39
Tabla 11. Comparación de turbidez reducida por métodos de remoción de sólidos.....	41
Tabla 12. Volumen aparente y compactado de malta para cálculo de densidades.....	55
Tabla 13. Radio y altura de pilas para determinar ángulo de reposo de la malta.....	55
Tabla 14. Radio y altura de superficie para determinar ángulo de deslizamiento de la malta.....	56
Tabla 15. Humedad relativa de la malta.....	56
Tabla 16. Tamizaje de malta utilizada para la producción.....	57

Tabla 17. Mediciones de turbidez en pruebas de sedimentación.....	58
Tabla 18. Mediciones de densidad en pruebas de sedimentación.....	58
Tabla 19. Mediciones de tiempo para determinación de viscosidad en sedimentación.....	58
Tabla 20. Mediciones de turbidez en pruebas de centrifugación.....	59
Tabla 21. Mediciones de densidad en pruebas de centrifugación.....	59
Tabla 22. Mediciones de tiempo para determinación de viscosidad en centrifugación.....	59
Tabla 23. Mediciones de turbidez en pruebas de filtración.....	60
Tabla 24. Mediciones de densidad en pruebas de filtración.....	60
Tabla 25. Mediciones de tiempo para determinación de viscosidad en filtración.....	60
Tabla 26. Comparación de turbidez producida con cervezas en el mercado.....	61
Tabla 27. Densidad aparente y compactada.....	61
Tabla 28. Ángulo de reposo y ángulo de deslizamiento de malta tipo pilsen.....	61
Tabla 29. Determinación de viscosidad con relación al tiempo.....	62
Tabla 30. Especificaciones de filtro de elemento 1.....	69
Tabla 31. Especificaciones de filtro de elemento 2.....	70
Tabla 32. Especificaciones de bomba centrífuga.....	71
Tabla 33. Especificaciones de tamiz vibratorio.....	72
Tabla 34. Especificaciones físicas, organolépticas y químicas de muestra de agua Salvavidas en Megaproyecto titulado “Construcción de una planta piloto para producción de cerveza en el Laboratorio de Operaciones Unitarias”.....	81

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Interacción entre polifenoles y proteínas.....	9
Figura 2. Filtración por tortas.....	17
Figura 3. Factor de fricción de Fanning para tuberías circulares.....	20
Figura 4. Balance de masa de tamizaje realizado en tamizadora.....	32
Figura 5. Comparación de malta retenida en tamices.....	33
Figura 6. Histograma de masa retenida en tamices.....	33
Figura 7. Esquema de tolva propuesta para dosificación de malta.....	34
Figura 8. Balance de masa de centrifugado realizado a cerveza fermentada.....	35
Figura 9. Balance de masa de sedimentado realizado a cerveza fermentada.....	35
Figura 10. Balance de masa de filtración realizada a cerveza fermentada.....	35
Figura 11. Vista de planta de nueva instalación de equipo de filtración.....	36
Figura 12. Vista de perfil de nueva instalación de equipo de filtración.....	37
Figura 13. Vista de elevación de nueva instalación de equipo de filtración.....	38
Figura 14. Comparación de turbidez de métodos de remoción.....	39
Figura 15. Comparación de densidad de métodos de remoción.....	40
Figura 16. Comparación de viscosidad de métodos de remoción.....	40
Figura 17. Representación tridimensional de planta de producción de cerveza.....	68
Figura 18. Turbidímetro Marca Hanna, Modelo HI 98703.....	73
Figura 19. Viscosímetro marca EZ Zahn.....	73
Figura 20. Centrifugadora por lotes.....	74
Figura 21. Tamizadora marca W.S. Tyler, Modelo RX-29.....	74

Figura 22. Filtro de cartuchos.....	75
Figura 23. Bomba centrífuga de 0.45 kW marca Aquastrong.....	75
Figura 24. Molino de rodillos.....	76
Figura 25. Planta de cerveza instalada.....	76

## RESUMEN

El objetivo general del Trabajo de Graduación fue acondicionar agua, caracterizar malta tipo pilsen y adaptar un sistema de filtración de mosto y filtración en frío post-fermentación, en la planta piloto del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala, para producción de cerveza tipo lager.

La experimentación consistió en determinar las condiciones iniciales del agua a utilizar y adicionar las sales necesarias que sean capaces de adecuar el producto final, potenciando sabores y cumpliendo con la norma COGUANOR NGO 29001 para su consumo. Además, se realizó el análisis granulométrico de la malta con el fin de determinar las dimensiones necesarias con las que debe contar la tolva propuesta. De la misma manera se hizo una adición de sales al agua utilizada para la producción pretendiendo adecuarla a los requerimientos que presenta una cerveza tipo lager. Por último, se implementó el equipo de filtración y la realización de análisis por diferencia de pesos para verificar la cantidad de materia retenida en el filtro, evaluando las propiedades del líquido obtenido posterior a la fermentación.

La experimentación permitió plantear que es posible utilizar agua purificada de marca comercial y para el debido acondicionamiento del agua solo es necesaria la adición de 1.00 gramo de cloruro de calcio por cada 37.80 litros de agua a utilizar, ya que esta sal acentúa los sabores de la cerveza y regula el pH, a diferencia de sales como los sulfatos que, potencia aromas y sabores de los lúpulos, lo cual no es conveniente para el tipo de cerveza que se desea producir. La malta utilizada para la producción de cerveza Lager mostró estar compuesta en un 93.81% por granos con un tamaño mayor a  $\mu\text{m}$ ; adicionalmente se determinó que el ángulo de reposo de la malta tipo pilsen es en promedio  $24.5793 \pm 0.3933^\circ$ , mientras que el ángulo de deslizamiento es de  $10.0261 \pm 0.0585^\circ$ , teniendo en cuenta que el porcentaje de humedad relativa de esta es de  $5.1160\% \pm 0.1854\%$ . Gracias a esto se determinó que las dimensiones de la tolva de alimentación de dicha malta son de  $60.7640 \pm 0.05$  cm de alto,  $40.00 \pm 0.05$  cm de diámetro, un diámetro de salida de  $10 \pm 0.05$  cm, lo cual representa un volumen total de  $25,490.2782 \pm 5.9074$  cm<sup>3</sup>. Por último, fue posible determinar que, gracias a la filtración de la cerveza por filtros de elementos de 5 y 1 micras, se obtuvieron valores de turbidez de  $494.4 \pm 16.6373$  NTU

# I. INTRODUCCIÓN

El trabajo de graduación presentado a continuación pretende brindar solución a tres etapas fundamentales de la producción de cerveza tipo lager. Una de ellas es la dosificación de malta hacia un tanque de maceración, seguido del acondicionamiento de agua para la producción de la cerveza tipo lager y el sistema de filtración que permitiera una remoción adecuada de sólidos presentes en la cerveza previo al embotellado final.

Para cumplir con esto fue propuesto un sistema de dosificación de malta al tanque de maceración de la planta piloto, partiendo de la caracterización de propiedades físicas de malta tipo pilsen de la marca Cargill, con el fin de disminuir la pérdida de material que se presenta al realizar la dosificación de materia prima manualmente. Asimismo, fue propuesta una serie de pasos que permitieran el correcto acondicionamiento del agua utilizada para la producción de la cerveza tipo lager. Para dicho acondicionamiento se buscaba añadir una cantidad específica de sales que permitiera regular parámetros como el pH y lograra potenciar los sabores del producto final, sin sobrepasar los límites establecidos por la norma COGUANOR NGO 29001; por lo que fue necesaria la adición de cloruro de calcio para obtener resultados satisfactorios.

Finalmente fue adaptado un sistema de filtración por cartuchos que asegurará la remoción de sólidos suspendidos que se arrastran desde la fermentación, de manera que el líquido final cumpliera con los requisitos básicos que caracterizan una cerveza tipo lager, los cuales son que sea clara y cristalina.

El presente documento incluye la metodología propuesta con cada uno de los pasos a seguir para el acondicionamiento del agua, la caracterización de la malta, la propuesta de sistema de dosificación y la adaptación del filtro a utilizar posterior a la fermentación, incluyendo figuras de los cambios realizados a la planta piloto ya instalada, y los parámetros medidos de la cerveza obtenida como producto final.

## II. OBJETIVOS

### A. GENERAL

Acondicionar agua, caracterizar malta tipo pilsen y adaptar un sistema de filtración de mosto y filtración en frío post-fermentación, en la planta piloto del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala, para producción de cerveza tipo lager.

### B. ESPECÍFICOS

1. Seleccionar el agua a utilizar y añadir los iones necesarios para la producción y determinar su cumplimiento con la norma COGUANOR NGO 29001 para producción artesanal de cerveza tipo lager.
2. Estandarizar el proceso de acondicionamiento de agua tratada, de acuerdo con estándares establecidos, mediante la propuesta de un procedimiento de adición de sales que permitan la producción de cerveza tipo lager en el Laboratorio de Operaciones Unitarias.
3. Caracterizar físicamente la malta utilizada para la fabricación de cerveza tipo lager para proponer un sistema de almacenamiento y dosificación de esta materia prima para que sea ingresada al tanque de maceración.
4. Seleccionar el equipo a utilizar para la remoción de sólidos en la cerveza y disminuir la turbidez de esta, implementando dicho equipo al sistema de filtración ya instalado en el Laboratorio de Operaciones Unitarias.
5. Sedimentar la cerveza tipo lager durante el proceso de maduración y realizar filtraciones a esta cerveza con el equipo propuesto, con el fin de remover levadura, sólidos suspendidos y reducir la turbidez.

### III. JUSTIFICACIÓN

El mercado cervecero se encuentra en constante crecimiento año con año a nivel mundial. En 2019, las exportaciones de cerveza de malta de América Latina y el Caribe alcanzaron un valor de 4,420 millones de dólares, frente a los 4,750 millones de dólares registrados en 2018. En el 2018, Chile fue el principal socio exportador de malta de Estados Unidos en América Latina con cerca de 25 millones de galones de cerveza exportada (Trade Map, 2020). Se espera que el mercado de la cerveza de EE. UU. sea el mercado de cerveza más grande del mundo en 2027, con un valor de mercado proyectado de aproximadamente 171.7 mil millones de dólares estadounidenses ese año. Brasil sigue en la clasificación con un valor de mercado proyectado en alrededor de 87,28 mil millones de dólares estadounidenses, lo que representa menos de la mitad del mercado de la cerveza de EE. UU (Conway, 2019).

Las cervezas tipo lager son el tipo más conocido y producido a nivel industrial en el mundo, por lo que la producción de esta cerveza es indispensable para toda planta que desee iniciar a producir esta bebida. En el año 2019 se realizó la instalación de una planta piloto de producción de cerveza artesanal tipo IPA en la Universidad del Valle de Guatemala.

Ya que dicha planta, ubicada en el Laboratorio de Operaciones Unitarias fue instalada para producir únicamente cerveza tipo Indian Pale Ale, fue necesaria la adaptación del sistema de filtración de manera que el líquido final cumpla con los requisitos básicos que caracterizan una cerveza tipo lager, los cuales son que sea clara y cristalina, a diferencia de la IPA que usualmente presenta restos de sólidos suspendidos producidos desde la fermentación.

Para la producción de dicho tipo de cerveza, se requiere que las propiedades del agua utilizada aseguren que sean las especificadas por estándares de la norma COGUANOR NGO 29001, por lo que fue necesario el acondicionamiento de agua mediante la adición de sales que permitieran cumplir con dichos estándares, regular parámetros como el pH y potenciar los sabores del producto final. De igual manera, fue propuesta una tolva dosificadora que permitiera la adecuada dosificación de malta al tanque en el que se realizará la maceración, con el fin de disminuir la cantidad de materia prima que se pierde en el proceso previo a la maceración.

## IV. MARCO TEÓRICO

### A. CERVEZA

La cerveza resulta del proceso de fermentación alcohólica, mediante un tipo de levadura determinado, de un mosto proveniente de la malta de cebada, sola o con otros productos amiláceos transformables en azúcar a través de la digestión enzimática, a la cual se agrega lúpulo y se somete a un proceso de cocción (De Loma, Friend, & Rodríguez, 1999).

La primera etapa en el proceso de elaboración de cerveza, producción del mosto, concluye con una ebullición prolongada conocida como cocción, la cual resulta en una gran cantidad de consecuencias fisicoquímicas y microbiológicas favorables. Posteriormente, en la fermentación, se comienza la producción de alcohol, el cuál es de gran beneficio para evitar que el producto final contenga microorganismos, además de las propiedades antisépticas naturales del lúpulo, la ausencia de oxígeno, la presencia de anhídrido carbónico, la acidez y la escasez de nutrientes; todos ellos hacen de la cerveza un producto que no permite el desarrollo de microorganismos patógenos. En las etapas de filtración y pasteurización de la cerveza también son de gran ayuda para evitar el crecimiento de los microorganismos (De Loma, Friend, & Rodríguez, 1999).

#### 1. Lúpulo

Para poder adquirir las características de aroma y sabor, la cerveza depende en gran parte del lúpulo, el cual proviene de una planta del género *Humulus*, de la familia de las *cannabáceas*. Además, este fruto se encarga de brindarle una mayor estabilidad a la espuma generada por la cerveza (Carrizo, 2013)

El lúpulo cuenta con una gran variedad de tipos, difiriendo estos en las características que son capaces de brindarle a la cerveza que se desea producir. Gracias a ello generalmente se dividen en lúpulos amargos, como el Brewer's Gold o el Northern Brewer, lúpulos aromáticos, como las variedades Saaz/Zatec, siendo uno de los más conocidos la variedad Fuffle, la cual es utilizada para la elaboración de cervezas tipo pilsen (Carrizo, 2013).

Es de suma importancia que este fruto sea tratado cuidadosamente y se deben tomar en cuenta los períodos en los que este es capaz de brindar las características previamente mencionadas, ya que después de un tiempo determinado pierde esta capacidad (Carrizo, 2013).

La *Guía de Estilos de cerveza* de la Beer Judge Certification Program plantea una división muy general de los tipos de lúpulo, siendo estos los siguientes:

- Lúpulos americanos: estos lúpulos tienen características cítricas y resinosas. Los lúpulos más modernos, pueden añadir características frutales como bayas, corozo y melón, que suelen ser características más inusuales y experimentales (BJCP, 2018).
- Lúpulos del viejo mundo: Estos son lúpulos europeos tradicionales, como los Saaz, lúpulos británicos y demás variedades de Europa Continental. Por lo general, estos lúpulos presentan características florales, especiados, herbales o terrosos y son más intensos que los de Nuevo Mundo (BJCP, 2018).
- Lúpulos de Nuevo Mundo: Estos lúpulos son provenientes de América, Nueva Zelanda y Australia principalmente. Pueden tener todos los atributos de los lúpulos americanos clásicos, como las frutas tropicales, frutas de corozo, uva blanca y otros compuestos aromáticos (BJCP, 2018).
- Lúpulos tipo Saaz: Llamados también Lúpulos Nobles, están compuestos por los mejores lúpulos de Europa continental. Tienen un carácter ligeramente floral, especiado o herbal. Suele tener características sutiles y “elegantes” en estado natural (BJCP, 2018).

## 2. Malta

La malta resulta de un proceso aplicado a granos de cereal provenientes de la cebada o del trigo, en el cual se sumergen en agua y se retiran rápidamente, obteniendo así una de las principales materias primas de la cerveza. Esta materia es capaz de brindar características aromáticas y de sabor a las cervezas, siendo también parte esencial en el proceso de elaboración. Estas maltas son divididas principalmente por la capacidad de brindar ciertas características al sabor de las cervezas, siendo las principales divisiones las siguientes:

- Malta Múnich: Este tipo de malta puede brindar cualidades maltosas, parecidas a las del pan, que son capaces de mejorar la columna vertebral de la malta en una cerveza, sin añadir dulzor residual. Estas tienden a ser más oscuras y son capaces de añadir una cualidad profunda a malta tostada, similar a la corteza del pan tostado (BJCP, 2018)
- Malta Vienna: Estas, igualmente, son capaces de brindar una presencia de malta parecida a la del pan tostado, sin ser tan fuerte como la de la Malta Munich (BJCP, 2018).
- Malta Pilsner: Esta malta tiene un carácter ligeramente dulce y a grano, con una cualidad suave, ligeramente tostada y parecida a la miel. Esta tiende a presentar un sabor menor a DMS que otras maltas (BJCP, 2018).

- Productos de Maillard: Estos son una clase de compuestos producidos a partir de complejas interacciones entre azúcares y aminoácidos a altas temperaturas, lo cual genera colores marrones y compuestos ricos maltosos e incluso cárnicos (BJCP, 2018).
- Biscuit: Estas maltas brindan sabores a grano tostado, seco, harina o masa (BJCP, 2018).

### 3. Tipos de cerveza

Existen generalmente dos tipos de cerveza, diferenciados principalmente por el tipo de levadura que se utiliza, ya que esta depende de la temperatura a la que se desee fermentar, siendo estos, la cerveza Lager, caracterizada por ser elaborada con levadura de floculación baja, y las cervezas Ale, elaboradas con floculación alta. Dentro de estos renglones existen subtipos de cerveza con características variables como el aroma, sabor, color y amargor (Hernández, 2002).

En Alemania y otros países que desde años atrás elaboran cervezas, comúnmente dividen los tipos en cervezas de fermentación alta y cervezas de fermentación baja.

#### a. Lager

Tipo de cerveza con sabor acentuado, que se caracteriza por fermentar en condiciones de temperaturas bajas y que se almacena en fases finales de la producción en temperaturas bajas con el objeto de limpiar partículas residuales y estabilizar los sabores. Los tipos de cerveza lager más comunes son las Pale Lagers o Pilsner. Además, se le conoce también como cerveza rubia, haciendo referencia a la tonalidad más común de las cervezas lager (BJCP, 2018).

#### b. Ale

Estas cervezas pertenecen al grupo de las cervezas de fermentación alta, ocurriendo la fermentación en la superficie del líquido. Para estas cervezas se utiliza comúnmente la levadura *Saccharomyces Cerevisiae* y fermenten rápidamente a temperaturas desde los 15°C hasta los 25°C, presentando generalmente un color más oscuro, comparado a los de las cervezas tipo lager (BJCP, 2018).

## B. CARACTERÍSTICAS DE LA CERVEZA

Las características de la cerveza varían ampliamente en el ámbito organoléptico, como el aroma, sabor, color, además de variaciones en el porcentaje de alcohol y la turbidez de estas. Estas características son brindadas por las materias primas previamente mencionadas, la malta y el lúpulo, así como de los tiempos de elaboración, específicamente en la fermentación.

## 1. Temperatura

El aspecto de la temperatura no solo hace referencia a la temperatura a la que se fermenta la cerveza, sino también a la temperatura a la que esta debe ser servida para explotar las características de cada tipo de cerveza. El consumo de la cerveza también depende de una temperatura específica que es capaz de resaltar las características de estas. Cabe resaltar que hoy en día no se cuenta con un manual o regla que defina las temperaturas a las que estas deben ser servidas y consumidas; las temperaturas han sido definidas a través de los años, gracias a catadores que han experimentado el realce de los sabores a diferentes temperaturas. Usualmente, las cervezas de trigo deben ser ingeridas a temperaturas bajas, cercanas a los 4°C.

Posteriormente, las cervezas rubias deben ser ingeridas a temperaturas cercanas a los 6°C y las cervezas amargas deben ingerirse a los 10°C (Cerveceros de México, 2017). A continuación, se presenta una tabla que representa los principales tipos de cerveza, o los más consumidos, y las temperaturas a las cuales estas deben ser ingeridas:

**Tabla 1.** Temperatura ideal para servir cervezas

<b>Tipo de cerveza</b>	<b>Temperatura mínima (°C)</b>	<b>Temperatura máxima (°C)</b>
Lager	2	4
Pilsen	4	7
Kolsch	4	7
IPA	7	10
Pale Ale	7	10
Porter	7	10
Stout	7	10
Ale	10	13
Bock	10	13
Imperial Stout	13	16
Doppelbock	13	16

Fuente: (Cerveceros de México, 2017)

## 2. Color

El color de la cerveza se define principalmente a la malta utilizada para la fabricación de esta. El factor principal que afecta este aspecto es el tostado de la malta previo a realizar la maceración, brindando una paleta de colores que recorre colores claros amarillentos hasta colores oscuros casi negros. Una de las mediciones que se tienen del color de la cerveza es el SRM (Standard Reference Method), que mide

específicamente la densidad del color de la cerveza (BJCP, 2018). Usualmente se utiliza la siguiente escala para categorizar las cervezas:

**Tabla 2.** Mediciones SMR para distintos colores de cervezas

<b>Color</b>	<b>Medición SMR</b>
Pajizo	2-3
Amarillo	3-4
Dorado	5-6
Ámbar	6-9
Ámbar profundo/cobrizo claro	10-14
Cobrizo	14-17
Cobrizo profundo/marrón claro	17-18
Marrón	19-22
Marrón oscuro	22-30
Marrón muy oscuro	30-35
Negro	30+
Negro opaco	40+

Fuente: (BJCP, 2018)

## C. TURBIDEZ DE LA CERVEZA

La turbidez en la cerveza está formada por partículas en suspensión que reflejan la luz y se componen principalmente por proteínas, levadura y taninos, afectando directamente los problemas de claridad. Existe un término llamado “falsa turbidez”, que se genera cuando las partículas pequeñas si reflejan la luz, pero no afectan la claridad de la cerveza. Visualmente esta turbidez puede ser detectable gracias a la floculación, sedimentación y precipitación. Sabiendo que la cerveza es rica en polifenoles y polipéptidos, se ve perjudicada por la formación de partículas por el transcurso del tiempo (Siebert & Carrasco, 1996).

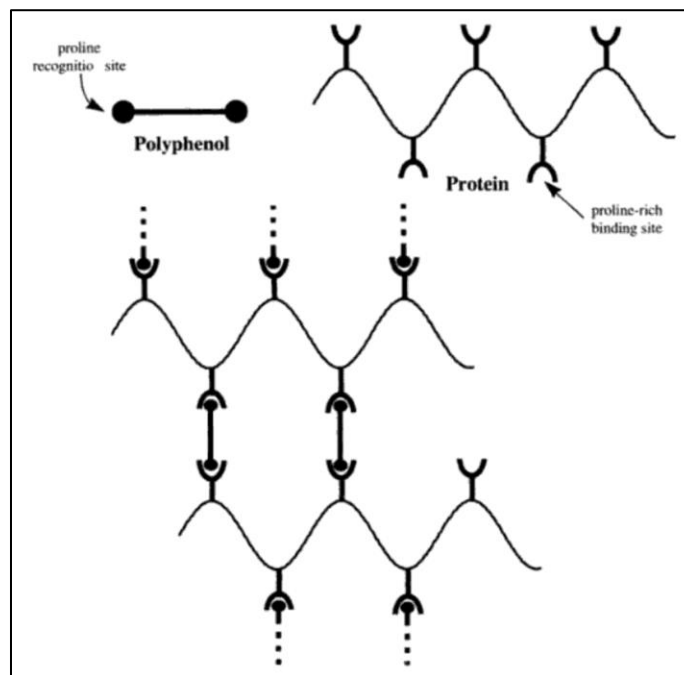
### 1. Tipos de turbidez

La turbidez se clasifica en dos categorías generales, las cuales son la biológica y la coloidal.

a. Turbidez biológica:

Previamente se mencionaron las razones por las cuales el crecimiento de microorganismos en una cerveza no se favorece, siendo estos el alcohol, el pH, la falta de oxígeno y la presencia de anhídrido carbónico. Por lo que la causa principal de turbidez biológica en una cerveza se debe a la presencia de levadura que puede afectar no solo la apariencia de la cerveza, sino también el sabor de esta. Este tipo de turbidez se debe principalmente a la interacción intermolecular entre un polifenol y una proteína. Posteriormente suceden procesos oxidativos que resultan en enlaces covalentes entre proteínas y polifenoles. Este modelo se muestra en la Figura 1, la cual es una representación propuesta por Siebert de las interacciones entre las proteínas y polifenoles (Siebert & Carrasco, 1996).

**Figura 1.** Interacción entre polifenoles y proteínas



Fuente: (Siebert & Carrasco, 1996)

b. Turbidez coloidal:

Al generar alcohol mediante la fermentación se generan compuestos estables e inestables. Los compuestos inestables se nombran así debido a la inestabilidad que crean en la cerveza, creando estructuras coloidales que con el paso del tiempo se vuelven cada vez más grandes. De esta categoría se dividen dos subcategorías, la turbidez por frío y la turbidez permanente. La primera hace referencia a que al realizar cambios de temperatura específicos, abruptos y continuos se genera turbidez coloidal.

## 2. Mediciones

Para realizar mediciones de turbidez en la cerveza, es necesario evaluar la dispersión que sufre la luz al ser refractada, absorbida y dispersada en vez de continuar sin cambiar de dirección. Es por ello que el grado de turbidez de un líquido nos permite conocer si el líquido requiere de un tratamiento previo a su consumo y determinar la sedimentación, coagulación y filtración por la que ha pasado el producto antes de llegar a la presentación final (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2007).

El turbidímetro es el instrumento utilizado para medir estos parámetros, determinando las variaciones en la dirección de la luz al atravesar la muestra que se desea analizar (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2007).

La escala NTU (Nephelometric Turbidity Units) es la más común para la determinación de turbidez en líquidos. A partir de ella se derivan dos estándares de medición, la EPA 180.1 en la que se utiliza un haz de luz blanco con un rango de 400 a 68 nanómetros de longitud, y la ISO 2027 en la que se utiliza un haz de luz infrarrojo; es por ello que ambos estándares son independientes. A lo largo del tiempo se ha presentado variaciones en los equipos de medición de NTU, siendo el cambio principal la cantidad de receptores de haces de luz (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2007).

Otros parámetros para la medición de la turbidez en la cerveza son las EBC o las SRM, cuyas mediciones son lineales, siendo la EBC el igual a 1.97 veces la medición de las SRM. Cabe resaltar que estos parámetros no se limitan solamente a la medición de turbidez, ya que toman en cuenta factores como el color o el amargor de la cerveza. También son mediciones independientes de los NTU, por lo que no pueden ser comparados entre sí (Rabin, 2013).

El equipo utilizado para la medición de los NTU de un líquido, en este caso un turbidímetro Hanna modelo HI 98703 determina mediante la siguiente ecuación la incertidumbre medida por su equipo:

**Ecuación 1.** Incertidumbre de turbidímetro Hanna modelo HI 98703

$$\text{Incertidumbre} = \text{Medición} * 2\% + 0.02\text{NTU}$$

## D. AGUA EN LA FABRICACIÓN DE LA CERVEZA

La Norma Técnica Guatemalteca 29001 establecida por la Comisión Guatemalteca de normas (COGUANOR) establece los valores de las características que definen la calidad del agua apta para consumo humano aplicada a toda aquella agua que se vea destinada a alimentación y uso doméstico (Comisión Guatemalteca de Normas, 2013).

En esta norma se establecen tanto parámetros físicos, organolépticos y químicos con los cuales se debe cumplir para que el agua sea apta para su consumo. Dichos parámetros se ven detallados en la siguiente tabla:

**Tabla 3.** Especificaciones físicas, organolépticas y químicas de la norma NTG 29001 de agua destinada a consumo

<b>Característica</b>	<b>LMA</b>	<b>LMP</b>
Color (U)	5.00	35.00
Olor	No rechazable	No rechazable
Turbiedad (NTU)	5.00	15.00
Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	750.00	1500.00
Potencial de hidrógeno	7.00 - 7.50	6.50 – 8.50
Sólidos totales disueltos (mg/L)	500.00	1000.00
Cloro residual (mg/L)	0.50	1.00
Cloruro (mg/L)	100.00	250.00
Dureza total (mg/L)	100.00	500.00
Sulfato (mg/L)	100.00	250.00
Aluminio (mg/L)	0.05	0.10
Calcio (mg/L)	75.00	150.00
Cinc (mg/L)	3.00	70.00
Cobre (mg/L)	0.050	1.50
Magnesio (mg/L)	50.00	100.00
Manganeso total (mg/L)	0.10	0.40

Fuente: (Comisión Guatemalteca de Normas, 2013)

Para la fabricación de cerveza generalmente se utiliza el agua de pozo, que en el caso de tener dudas sobre su acondicionamiento debe ser sometida a estudios o análisis acorde a la legislación y al estatuto vigente de acuerdo con cada país. Uno de los principales problemas de la elaboración de la cerveza, radica en la calidad del agua y en el control que se realice en el caso de utilizar agua envasada. Si el agua posee microorganismos acidificantes o formadores de ácido acético, se producirá una alteración de la cerveza, ligado a un cambio rotundo en las características de sabor (BJCP, 2018).

Las propiedades del agua son aptas para elaborar cerveza por varias razones. En primer lugar, porque los seis principales iones del agua son vitales sobre las enzimas que modifican los almidones de la malta. Un pH adecuado determina la efectividad del trabajo de esas enzimas. En segundo lugar, porque el agua potable influencia fuertemente el balance de los sabores. Por último, el agua contiene varios iones que ayudan a la levadura en el proceso de fermentación del mosto. Además, posee minerales de mucha importancia como son el calcio, el sodio, los sulfatos, los nitritos y los cloruros (BJCP, 2018).

- $HCO_3^-$ : Primer determinante del nivel de dureza temporal del agua. Determina la acidez de la mezcla de grano.
- $Na^+$ : Contribuye al cuerpo y la sensación en la boca de la cerveza.
- $Cl^-$ : Potencia la sensación en la boca y la complejidad de la cerveza, dando una textura más plena.
- $SO_4^{2-}$ : Potencia el lúpulo y “saca” el amargor de la cerveza. Añade notas secas y agudiza a las cervezas bien lupuladas.
- $Ca^{+2}$ : Principal determinante en la dureza permanente del agua. Ayuda a reducir el nivel de pH durante el macerado, ayudando en la precipitación de proteínas durante la ebullición, potenciando la estabilidad de la cerveza (rebajando su color y opacidad) y actúa como un importante nutriente para las levaduras, aumentando su vigor y efecto.
- $Mg^{+2}$ : Contribuye a alimentar las levaduras.

## E. COMPORTAMIENTO DE LOS SÓLIDOS

Las partículas de mayor densidad tienden a estar como unidades de materia separadas. Entre más densa es una partícula, resulta más difícil de fluidizar para su transporte adecuado. En un punto determinado, el tamaño de partícula determina las propiedades de flujo del material que se desea trabajar. El flujo libre dejará de ser flujo libre y las partículas más finas van a tender a formar arcos (Carr, 1969).

### 1. Densidad aparente

La densidad aparente es una propiedad del suelo ampliamente utilizada en la agricultura. Se relaciona principalmente a la aplicabilidad del manejo de suelos y de aguas. Es de suma importancia la correcta determinación y exactitud en su medición, la cual, en las aplicaciones previamente mencionadas ha generado desconcierto debido al incremento del uso de irrigación, de tierras cultivadas sin labranza y a la compactación del suelo (Salamanca & Sadeghian, 2005).

La densidad aparente hace referencia a la característica que en mayor grado influye sobre la productividad de los cultivos, debido a su estrecha relación con otras propiedades del suelo. Este comportamiento está asociado con las condiciones de disponibilidad y la tasa de difusión de los nutrimentos en el suelo (Salamanca & Sadeghian, 2005).

Cuando la densidad aparente del suelo aumenta, se incrementa la compactación y se afectan las condiciones de retención de humedad, limitando a su vez, el crecimiento de las raíces. En este caso la densidad aparente se ve afectada por partículas sólidas y por el espacio poroso. A medida que aumenta la materia orgánica y el espacio poroso, disminuye la densidad aparente y viceversa. La naturaleza, las

dimensiones y el arreglo de las partículas del suelo, además de otros factores relacionados con su formación, también influyen sobre los valores de la densidad aparente (Salamanca & Sadeghian, 2005).

Además de la materia orgánica y la textura del suelo, la variación de la densidad aparente está asociada con las prácticas de manejo. Cuando un sólido suelto es ligeramente compactado, la humedad volumétrica aumenta y la longitud de la ruta de difusión de los componentes presentes en este se acorta, pero cuando un sólido se compacta, las partículas se unen a tal magnitud que la ruta de difusión se hace más tortuosa y la solución del suelo debe moverse alrededor de las partículas, reduciendo su tasa de difusión y absorción (Salamanca & Sadeghian, 2005).

## 2. Densidad compactada

La densidad compactada es obtenida al golpear de manera mecánica un recipiente de medición graduado que contiene la muestra del sólido que se desea analizar, reduciendo el volumen que se obtuvo en la determinación de la densidad aparente (FEUM, 2016).

La reducción de volumen se obtiene por el asentamiento mecánico de la muestra del sólido, al levantar el recipiente que lo contiene y se impacta desde una altura específica. Es de suma importancia establecer una metodología que determine siempre un mismo proceso para no alterar el volumen obtenido al realizar los golpes mecánicos (FEUM, 2016).

## 3. Ángulo de reposo y ángulo de deslizamiento

Cuando un sólido es vaciado sobre una superficie horizontal plana, el producto forma un montículo, similar a un cono invertido. El ángulo formado por la horizontal u el talud es el ángulo de reposo.

El ángulo de reposo está influenciado por el tamaño, forma, volumen, superficie del sólido, contenido de humedad y orientación de las partículas que conforman la masa del grano. El ángulo de reposo varía con el contenido de humedad debido a la lámina superficial de humedad que rodea a cada partícula y a los efectos de la tensión superficial que predomina sobre los productos granulares. Igualmente, cuando se llena un silo, el ángulo de reposo puede variar dependiendo la altura de llenado y el flujo del material (Ospina, 2001).

Existen dos tipos de ángulos de reposo:

- Ángulo de reposo estático: Se refiere al ángulo que forma el material granular cuando se desliza sobre sí mismo.
- Ángulo de reposo dinámico: Es el más importante y se presenta en todos los casos en que la masa granular se encuentra en movimiento, como en las operaciones de cargue y descargue de un silo, una bodega o una máquina.

El ángulo de reposo es un indicador útil para saber la fluidez del material. Entre menor sea el ángulo de reposo, más fácil se desliza el grano, sin riesgo de impacto (Ospina, 2001).

La inclinación de la pendiente es un factor de estabilidad muy importante. Esto porque con el aumento de la inclinación de la pendiente aumenta el efecto de la fuerza de gravedad en relación con la fuerza de rozamiento. De esta forma cuanto mayor la pendiente mayor que la tendencia de movimiento de los materiales sobre ella. La estabilidad de los materiales en pendiente con diferentes inclinaciones está definida por los factores anteriormente mencionados. Cualquier factor que altere la inclinación de la pendiente puede por tanto alterar la estabilidad de estas (Ospina, 2001).

Algunos autores sugieren que ángulos hasta 35 ° indican que el material puede fluir libremente, entre 35-45 ° indican que el material es algo cohesivo, mientras que ángulos entre 45 y 55 ° señalan una gran cohesividad del material, finalmente ángulos mayores a 55 ° indican movilidad nula. A pesar de que el ángulo de reposo es indicativo de la capacidad de fluir del material, no debe usarse directamente en el diseño de silos (Ospina, 2001).

Por ejemplo, un material que libremente posee un ángulo de reposo bajo (puede fluir bien) al momento de ser compactado por otras partículas que se almacenan sobre él, puede desarrollar fuerzas cohesivas que limiten la salida del material del silo. Como regla general, se puede decir que partículas más grandes tienen menores ángulos de reposo ya que tienden a adherirse menos que las partículas pequeñas (Ospina, 2001).

Las partículas esféricas poseen menor que ángulo de reposo que las no esféricas. La humedad aumenta la cohesividad del material, por lo tanto, el ángulo de reposo también aumenta. Si se aplican tensiones bajas a un sistema particulado, el ángulo de reposo puede ser de utilidad para el diseño de silos (Gálvez & Roselló, 2000).

Es el ángulo que necesita dar a un plano para que el material se deslice por el mismo, debido a su propio peso. Este ángulo está obviamente influenciado por la rugosidad del plano (Ospina, 2001).

#### 4. Ángulo de ruptura

Este ángulo es similar al ángulo de reposo. Hace referencia al ángulo formado cuando un sólido se mueve por la influencia de la gravedad cuando se encuentra a granel. Este ángulo se puede medir de manera sencilla mediante el uso de una caja de cartón. Para ello se debe llenar la caja y se debe quitar uno de los extremos, provocando que el material se deslice por ese lado. Posteriormente se debe medir el ángulo obtenido. Esto dará una indicación del comportamiento del sólido en una tolva o un silo (Carr, 1969).

## 5. Ángulo de espátula

Este método es de suma utilidad se pretende ahorrar tiempo en la determinación de un ángulo de fricción interna relativo. Para casi cualquier sólido, es necesario utilizar una espátula de 5 x 7/8 boca abajo, introduciéndola en el sólido seco y retirarla con una carga de este (Carr, 1969).

Una sustancia de flujo libre formará un “ángulo de reposo” en la espátula mientras que una sustancia que no presenta las características de flujo libre contendrá una serie de ángulos irregulares de flujo (Carr, 1969).

En cualquiera de los casos es necesario realizar la medición de los ángulos y determinar un promedio de estos. Posteriormente, se deben dar pequeños golpes a la espátula y se deben medir los nuevos ángulos formados. El promedio de los dos ángulos medidos representa el ángulo de fricción interna. Este ángulo brinda una mayor cantidad de información que el ángulo de reposo, ya que es un mejor indicador del flujo del sólido estudiado (Carr, 1969).

El valor de este ángulo siempre es mayor que el del ángulo de reposo, exceptuando algunos sólidos de flujo libre. Para un sólido seco considerado de flujo libre, el ángulo de fricción interna debe ser menor a 40°, si es mayor a este valor el sólido no es considerado como de flujo libre. Este ángulo es de suma importancia ya que es una medición indirecta de la cohesión, área superficial, tamaño, forma, fluidez, porosidad y la deformación del sólido. Entre más grande sea el ángulo en un material, menor es su capacidad de fluir, y viceversa (Carr, 1969).

## 6. Sedimentación

La sedimentación hace referencia a una operación unitaria que tiene como fin separar por gravedad, un sólido finamente dividido suspendido en un líquido, obteniendo un líquido clarificado y un lodo con elevado porcentaje de sólidos. Además, los sólidos finamente divididos forman flóculos cuando se encuentran en disolución. La sedimentación se puede llevar a cabo de forma continua o intermitente, pero normalmente en la industria, los sedimentadores operan en régimen continuo (Mártin & Salcedo, 2011).

La velocidad de sedimentación puede ser determinada mediante la siguiente ecuación:

**Ecuación 2.** Velocidad de sedimentación

$$V_s = \frac{g}{18} \frac{(\rho_s - \rho)}{\mu} d_p^2 = \frac{g}{18} \frac{d_p^2}{\nu} (\delta - 1)$$

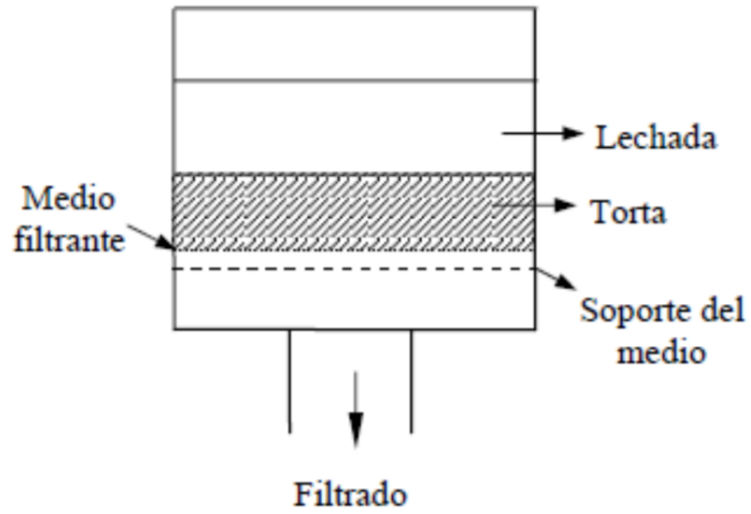
## F. FILTRACIÓN

### 1. Equipo para filtración por tortas

Los equipos para llevar a cabo la filtración de sólidos están diseñados para que realicen la operación de forma continua, alimentando al equipo de forma continua una suspensión y se obtiene de forma continua sendas corrientes de filtrado y lodo espeso. Existen muchas disposiciones de equipos continuos de filtración, pero los dos más habituales son los filtros de mangas y los filtros de tambor (Mártin & Salcedo, 2011).

- Filtros de mangas: Básicamente, se hace circular la suspensión por un sistema múltiple de medios filtrante, en los que existen distintos marcos. Sobre las distintas mangas se van formando las tortas, por lo que son retiradas cada cierto tiempo. Por lo que un conjunto de prensas está trabajando en filtración, y otros están en limpieza de torta.
- Los sistemas de este tipo normalmente operan a pérdida de presión constante. Por lo que para su diseño se deben utilizar las ecuaciones de filtración a pérdida de presión constante para el periodo de tiempo en el cual se permita crecer la torta hasta un determinado espesor, después del cual se limpia el medio filtrante (Mártin & Salcedo, 2011).
- Filtro de tambor: Consta de un tambor rotatorio, que gira con una frecuencia constante, por cuya superficie desarrollada cilíndrica está el medio filtrante y penetra el líquido claro. El cilindro se encuentra situado en el interior de un recipiente, sobre el que alimenta la suspensión a filtrar, quedando sumergida en la suspensión parte de la superficie exterior cilíndrica del tambor.
- Con objeto de optimizar la succión y evitar pérdidas de energía sobre la superficie no sumergida, el tambor está dividido en sectores. Por medio de una valvulería circular, solo se permite la succión por el eje del tambor a aquellos sectores que estén sumergidos en la suspensión (Mártin & Salcedo, 2011).

Figura 2. Filtración por tortas



Fuente: (Coulson & Richardson, 1998)

La velocidad de filtrado es dependiente de la diferencia que exista entre la presión de entrada y la presión de salida del medio. Esta diferencia cambiará a lo largo del tiempo. Ya que la formación de la torta actúa como un medio filtrante extra que impide el paso del líquido. Además, la viscosidad, el área superficial y el material del medio filtrante son factores que determinan la velocidad de filtrado. La ley de Darcy define que la velocidad media de filtrado ( $u^+$ ) se puede determinar mediante la siguiente ecuación (Darcy, 1856) :

**Ecuación 3.** Ley de Darcy

$$u^+ = \frac{1}{A} \frac{dV}{dt} = \frac{P_1 - P_2}{\mu R_t} = \frac{P_2 - P_3}{\mu R_f} = \frac{P_1 - P_3}{\mu(R_t + R_f)}$$

Donde:

P1: Presión del líquido en superficie de la torta

P3: Presión del líquido de descarga

Rf: Resistencia del medio filtrante

Rt: Resistencia de la torta

$\mu$ : Viscosidad del filtrado

## 2. Sólidos disueltos

Los sólidos disueltos hacen referencia a una medida de la cantidad de materia disuelta en el agua, siendo determinada por evaporación de un volumen de agua previamente filtrada y corresponde al residuo seco con filtración previa. El origen de estos sólidos puede ser múltiple, ya sea orgánico e inorgánico y es un indicador para poder realizar una aproximación de la bondad del agua. En usos industriales, una elevada concentración de sólidos disueltos puede ser perjudicial ya que puede causar interferencias en el proceso de fabricación, como por ejemplo las espumas en las calderas (Lepeña, 1989).

## 3. Sólidos suspendidos

Esta es una medida de los sólidos sedimentables, todos aquellos sólidos que no se encuentran disueltos en la solución y que pueden ser retenidos por un filtro. Es posible determinar la cantidad de sólidos suspendidos mediante el pesaje del filtro después de haber filtrado la solución, esto dará una masa retenida por el filtro representativa a la cantidad de sólidos suspendidos; sin embargo, la cantidad de sólidos suspendidos por este método puede variar significativamente dependiendo del filtro a utilizar (Lepeña, 1989).

Este tipo de sólidos es indeseable en aguas de proceso ya que pueden ser los principales causantes de depósitos en las tuberías, calderas, equipos a utilizar, etcétera. Normalmente para evitar que estos sólidos afecten los sistemas, se aplican procesos de filtración u decantación que permiten eliminar los sólidos suspendidos del fluido (Lepeña, 1989).

## 4. Viscosidad

La viscosidad puede ser determinada mediante la medición de tiempo en la que un fluido se distribuye en un equipo llamado viscosímetro. Mediante experimentación se han podido determinar ecuaciones que determinan la viscosidad de un líquido en función del tiempo en el que este se mantiene retenido en el equipo. Los equipos más utilizados constan de una copa con dimensiones predeterminadas y un orificio en la parte inferior que varía dependiendo del número de copa que se utilice. El número de copa a utilizar depende de la misma manera del fluido que se desea analizar y el procedimiento consiste básicamente en medir el tiempo que le toma al líquido en salir de la copa.

La siguiente ecuación representa la obtención de la viscosidad en relación con el tiempo, para la copa 2.

**Ecuación 4.** Determinación de viscosidad de acuerdo con el tiempo para copa 2

$$V = 1.24T - \frac{770}{T}$$

## 5. Clasificación neumática de los sólidos

La clasificación describe equipos que producen una clasificación de sólidos por tamaños y una separación de sólidos finos, mediante el flujo de fluidos, sin que influya en la separación ni la acción de la gravedad ni la acción de un medio filtrante (Mártin & Salcedo, 2011).

- Clasificación neumática: Si una corriente de sólidos, con una distribución heterogénea de tamaños, desciende por la acción de la gravedad, y se hace circular en contracorriente un caudal de gas de forma que supere la velocidad terminal de una parte de la distribución, las partículas más gruesas caerán a un depósito inferior, mientras que los finos serán arrastrados por la corriente.

## G. EQUIPOS AUXILIARES

### 1. Bombas

Las bombas son las encargadas de desplazar líquidos de un punto a otro, variando la elevación y posición del fluido. Se dividen en dos categorías generales, las bombas de desplazamiento positivo y las bombas centrífugas.

#### a. Bombas de desplazamiento positivo

Estas desplazan el líquido al aplicar presión directa o mediante cámaras que se llenan y vacían alternamente de líquido. Debido a estas diferencias, las bombas de desplazamiento positivo se dividen en tres secciones más, bombas peristálticas, bombas reciprocantes y bombas rotatorias (McCabe, Smith, & Harriot, 2007).

#### b. Bombas centrífugas

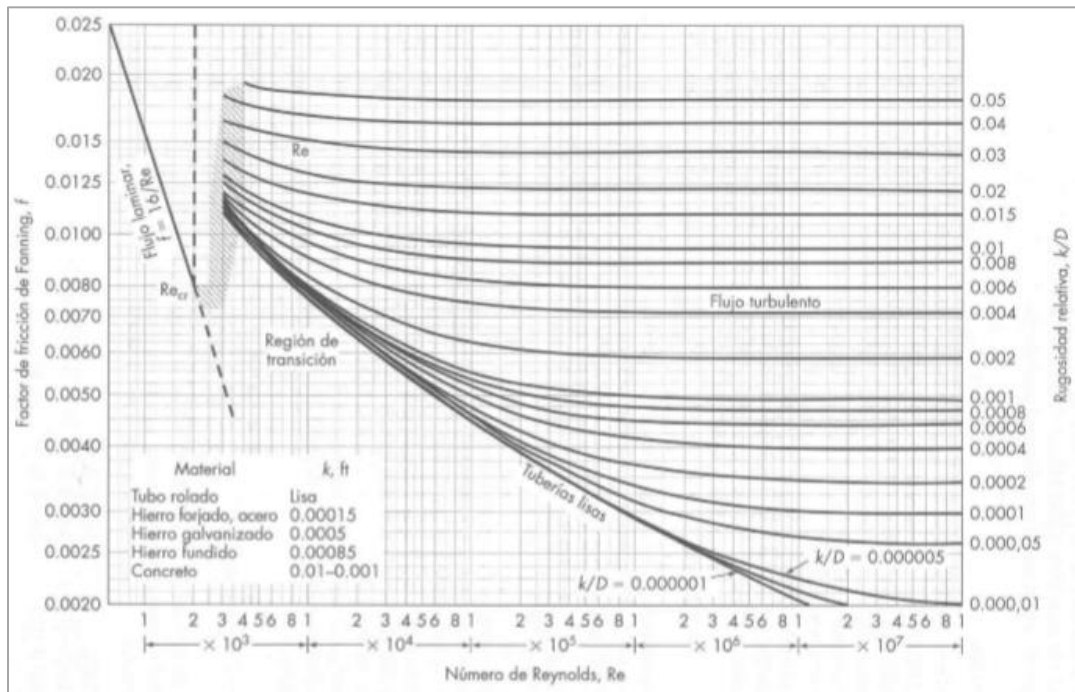
Las bombas centrífugas son capaces de desplazar líquidos mediante rotación a altas velocidades. El líquido entra a estas bombas mediante una succión para que posteriormente este sea desplazado gracias al giro del rotor a alta velocidad. Para calcular el trabajo requerido por esta bomba, se utiliza la ecuación de Bernoulli, en la que se representa un punto de carga A y un punto de descarga B, tomando en cuenta las presiones y densidades (McCabe, Smith, & Harriot, 2007).

#### **Ecuación 5.** Bernoulli para bombas centrífugas

$$\frac{P_A}{\rho_A} + \frac{gZ_A}{g_c} + \frac{\alpha_A V_A^2}{2g_c} + nWp = \frac{P_B}{\rho_B} + \frac{gZ_B}{g_c} + \frac{\alpha_B V_B^2}{2g_c} + h_f$$

Sin embargo, para poder determinar estos datos es necesario conocer el factor de fricción de Fanning y los coeficientes de pérdidas por fricción. Para poder determinar el factor de fricción de Fanning, es posible utilizar el número de Reynolds y la rugosidad relativa y aplicarlos a la Figura 3. En el caso de los coeficientes de pérdidas por fricción, estos se pueden determinar mediante la Tabla 4.

**Figura 3.** Factor de fricción de Fanning para tuberías circulares



Fuente: (McCabe, Smith, & Harriot, 2007)

Tabla 4. Coeficiente de pérdidas por fricción en accesorios

Accesorio	$K_f$
Codo estándar	
45°	0.35
90°	0.75
T	
En línea recta	0.4
Usados como codo	1.0
Retorno, 180°	1.5
Válvula de compuerta	
Semiabierta	4.5
Completamente abierta	0.17
Válvula de ángulo, abierta	2.0
Válvula de globo, abierta	6.0

Fuente: (McCabe, Smith, & Harriot, 2007)

## 2. Tubería

Todo fluido que quiera ser transportado de un punto A a un punto B, debe pasar por tramos de tubería que van cambiando sus especificaciones, dependiendo del fluido que se desea transportar. Estas características varían según su espesor de pared, sección transversal y material de construcción. Cabe resaltar que existe una diferencia entre las tuberías y los tubos, siendo esta principalmente el espesor de pared y el largo; las tuberías tienen espesor de pared grande, con diámetros grandes y largos de 6 a 12 metros. En cambio, los tubos cuentan con paredes delgadas y se encuentran en rollos de cientos de pies (McCabe, Smith, & Harriot, 2007).

En ambos casos, el material de construcción tiene aspectos que pueden afectar directa o indirectamente el transporte del fluido. Tal y como sucede como la rugosidad de las paredes internas, aumentando la caída de presión y por ende la presión necesaria por la bomba. Los tres materiales más utilizados son PVC, para transportar aguas residuales, hierro negro, para transportar agua, y el acero inoxidable, que transporta fluidos que no pueden ser contaminados en el tramo de transporte.

Además de las tuberías, es posible usar alternativas como las mangueras o la gravedad. En ambos casos es necesario tomar en cuenta una gran variedad de variables que pueden afectar de manera significativa el fluido que se desea transportar. Estas variables que deben ser controladas son la temperatura y la presión en el caso de las mangueras (McCabe, Smith, & Harriot, 2007).

## V. ANTECEDENTES

A lo largo del año 2019 se llevó a cabo la instalación de una planta piloto de producción de cerveza tipo IPA en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala. Para esto fue necesaria la instalación de equipos y herramientas como un tanque fermentador, un tanque de maceración, un filtro y equipos auxiliares que facilitarían la toma de medidas de los datos necesarios a lo largo del proceso (Recinos Berganza, y otros, 2019).

Para llevar a cabo dicha instalación fue necesaria la participación de un conjunto de estudiantes seccionados por módulos que les permitieran trabajar de manera adecuada y fuera posible delegar las tareas de una manera más eficaz y sencilla. Con esto fue posible realizar el megaproyecto de la instalación de una planta piloto de cerveza artesanal en las instalaciones previamente descritas.

Además, la compañía Intech GmbH, que se dedica a la automatización industrial en más de 10 tipos de industrias distintos, incluyendo la automotriz, farmacéutica, alimenticia y química, ha redactado un manual que especifica factores decisivos a tomar en cuenta y cálculos necesarios para la selección adecuada de equipos filtrantes para el uso que se le desea proporcionar.

La capacidad de producción de la planta instalada en el Laboratorio de Operaciones Unitarias es de 38 litros y es capaz de producir un lote de cerveza en un período de dos semanas, las cuales abarcan desde la molienda de la malta previamente seleccionada, el proceso de maceración, cocción, fermentación, maduración, filtración y carbonatación. A lo largo de todo el proceso, el fluido es transportado por una tubería de acero inoxidable con la ayuda de una bomba centrífuga de 0.45 kW.

El estilo lager de la cerveza se produjo mediante la utilización de levadura SafLager W34/70 y lúpulo Fuggles. La cerveza final obtuvo un porcentaje de alcohol de 3.57% y con una turbidez de  $494.4 \pm 16.6373$  NTU. Una representación tridimensional de la planta instalada y utilizada se puede encontrar en los anexos, Figura 17.

## VI. METODOLOGÍA

### A. CARACTERIZACIÓN DE MALTA TIPO PILSENER

#### 1. Cálculo de ángulo de reposo

- a. Se pesaron  $250 \pm 0.0001$  g de malta en una balanza analítica marca Ohaus Valor 3000 Xtreme.
- b. Se dejó caer la muestra pesada sobre una superficie sólida.
- c. A la pila formada se le realizaron mediciones de radio y altura
- d. Se calculó el ángulo de reposo de la muestra mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación 6.} \quad \theta = \tan^{-1} \frac{h}{r}$$

Donde:

h = Altura de la pila

r = Radio de la pila

- e. Se repitió el proceso previamente descrito con cinco muestras iguales.

#### 2. Cálculo de ángulo de deslizamiento

- a. Se pesaron  $250 \pm 0.0001$  g de muestra en una balanza analítica marca Ohaus Valor 3000 Xtreme.
- b. Se dejó caer la muestra en una superficie sólida que se pudiera mover libremente.
- c. Se levantó la superficie hasta que la pila de la muestra se comenzara a deslizar.
- d. Se determinó la medida del radio y la altura de la superficie en el momento en el que la pila se deslizara.
- e. Se calculó con los datos obtenidos el ángulo al que sucedió el deslizamiento, mediante la siguiente ecuación:

**Ecuación 7.**  $\theta = \tan^{-1} \frac{h}{r}$

Donde:

h = Altura de la superficie

r = Radio de la superficie

- f. Se repitió el proceso previamente descrito con cinco muestras iguales.

3. Cálculo de densidad aparente

- a. Se pesaron  $10 \pm 0.0001$  g de muestra en una balanza analítica marca Ohaus Valor 3000 Xtreme.
- b. Se introdujo la muestra pesada, sin compactar, en una probeta de 100mL.
- c. Se tomó la lectura del volumen ocupado por los 10 gramos de muestra.
- d. Se calculó la densidad aparente de la muestra mediante la siguiente ecuación:

**Ecuación 8.**  $Densidad\ aparente = \frac{masa\ de\ la\ muestra}{volumen\ aparente}$

- e. Se repitió el proceso previamente descrito con cinco muestras iguales.

4. Cálculo de densidad compactada

- a. Se pesaron  $200 \pm 0.0001$  g de muestra en una balanza analítica marca Ohaus Valor 3000 Xtreme.
- b. Se introdujo la muestra pesada, en una probeta de 100mL.
- c. Se golpeó la base de la probeta 200 veces contra una superficie sólida.
- d. Se tomó la lectura en la probeta, de manera visual, del volumen ocupado por los 20 gramos de muestra compactada.
- e. Se calculó la densidad compactada de la muestra mediante la siguiente ecuación:

**Ecuación 9.**  $Densidad\ compactada = \frac{masa\ de\ la\ muestra}{volumen\ compactado}$

- f. Se repitió el proceso previamente descrito con cinco muestras iguales.

5. Cálculo de humedad relativa

- a. Se estableció la configuración necesaria en la balanza de humedad marca Ohaus modelo MB120 para secar la muestra de malta ( $105^{\circ}\text{C}$ , intervalo de  $1.0 \pm 0.0001$  g cada  $60 \pm 0.05$  segundos).
- b. Se pesaron  $2 \pm 0.0001$  g de muestra en la balanza de humedad marca Ohaus modelo MB120.
- c. Se dejó reposar la muestra en la balanza hasta que esta notificara que la muestra ya estaba seca.
- d. Se extrajeron los datos de la balanza para determinar la humedad relativa de la muestra.

6. Análisis granulométrico

- a. Se pesaron los tamices individualmente, siendo estos el plato No. 20 con una apertura de 850 micrómetros, seguido del plato No. 30, con una apertura de 600 micrómetros, posteriormente el plato No. 45 con apertura de 355 micrómetros, el plato No. 60 con una apertura de 250 micrómetros, plato No. 80 con apertura de 180 micrómetros, plato No. 100 con apertura de 150 micrómetros y finalmente el plato de polvos finos, que tiene partículas menores a los 150 micrómetros del plato No. 100 no es capaz de retener.
- b. Se colocaron los platos en orden ascendente en la tamizadora.
- c. En el plato superior se colocaron 300 gramos de muestra de malta molida.
- d. Se fijó un tiempo de funcionamiento de 15 minutos en la tamizadora.
- e. Al pasar los 15 minutos se pesaron nuevamente cada uno de los platos.
- f. Se determinó la cantidad de muestra retenida en cada uno de los platos y se expresó en porcentajes.
- g. Al realizar la relación, se determinó en qué plato se encontraba el mayor porcentaje retenido de la muestra.

**B. PROPUESTA DE SISTEMA DE DOSIFICACIÓN DE MALTA**

1. Dimensionamiento de la tolva

- a. A partir de la cantidad de malta a utilizar para un batch de cerveza, se calculó el volumen que ocuparía dicha cantidad de material al dividirla en su densidad

compactada, mediante la siguiente ecuación dictada por la Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos:

$$\text{Ecuación 10. } \textit{Volumen de material} = \frac{\textit{masa}}{\textit{densidad compactada}}$$

(FEUM, 2016)

- b. A partir del ángulo de reposo del material, se determinó el ángulo del cono que representa la tolva.

$$\text{Ecuación 11. } \alpha_{\textit{tolva}} = \alpha_{\textit{de reposo}} + 10^\circ$$

- c. Mediante la obtención del ángulo del cono y teniendo el volumen ocupado por los 8.1647 kg de malta, se aplicó álgebra para obtener los valores de la altura y el radio del cono que representa la tolva, utilizando las siguientes ecuaciones:

$$\text{Ecuación 12. } h_{\textit{cono}} = r \tan \alpha_{\textit{tolva}}$$

$$\text{Ecuación 13. } V_{\textit{cono}} = \frac{1}{3}\pi r^2 h$$

- d. Se calculó el volumen y altura de un cono pequeño, utilizando como base el diámetro de salida de la tolva, con el fin de representar la punta del cono previamente calculado.
- e. Se restó el cono pequeño del cono grande, con el fin de formar un cono truncado que será el encargado de representar la tolva final.

## C. ACONDICIONAMIENTO DE AGUA PARA LA PRODUCCIÓN DE CERVEZA LAGER

1. Acondicionamiento de agua para producción de cerveza tipo Lager
  - a. Se mezclaron 2 garrafones de agua pura (37.8 litros en total) a 23.5°C.
  - b. Se pesó  $1.0 \pm 0.0001$  g de cloruro de calcio en una balanza analítica marca Ohaus Valor 3000 Xtreme.
  - c. Se añadió  $1.00 \pm 0.0001$  g de cloruro de calcio al tanque con agua para ionizarla y acondicionarla.

- d. Se agitó durante un período de tres minutos, hasta que la sal agregada se disolviera por completo.
- e. Se determinó estequiométricamente la concentración final de parámetros químicos (cloruros y calcio) en el agua para verificar el cumplimiento con la norma COGUANOR NTG 29001.
- f. Se realizó un análisis fisicoquímico que verificara el cumplimiento de los parámetros establecidos por la norma previamente mencionada.

## D. FILTRACIÓN DE CERVEZA TIPO LAGER

### 1. Selección de filtro

- a. Se tomó una muestra de 40 mL de una prueba de fermentación a escala laboratorio y se dividió en cuatro muestras de 10 mL cada una.
- b. Se realizó una prueba de turbidez a cada una de las muestras mediante un turbidímetro portátil marca Hanna modelo HI 98703 para definir el estado inicial de cada una.
- c. Se cortaron 4 secciones circulares de papel para filtrar, cada uno con un tamaño de poro distinto: 20, 10, 5 y 1 micras; se pesaron cada una de ellas.
- d. Se armó un filtrado al vacío con un embudo Buchner y conexión al vacío.
- e. Se realizó un filtrado al vacío para cada una de las muestras, variando el tamaño del poro del papel en el que se realizaba el filtrado, parando en el momento en el que todo el líquido se filtraba.
- f. Para cada una de las secciones de papel, se dejó reposar hasta que éstas estuvieran completamente secas y se volvió a determinar el peso de cada una.
- g. Por diferencia de pesos se logró determinar la masa retenida en los papeles con distintos tamaños de poro.
- h. Ya que ya se contaba con un filtro de cartucho de 5 micras, fue necesario evaluar la instalación de una nueva sección con un cartucho que fuese capaz de retener aún más los sólidos arrastrados por el líquido.
- i. Se determinó que un filtro de una micra era capaz de retener un 28% más sólidos que el de 5 micras, por lo que se decidió instalar una sección nueva con un cartucho de 1 micra en serie para remover los sólidos más grandes en el primer cartucho y los más pequeños en el segundo, reduciendo así el tiempo de filtrado.

2. Instalación de filtro
  - a. Se midió la estructura que contenía el filtro previamente instalado.
  - b. Se dibujaron planos isométricos de los nuevos planos.
  - c. Se dividió la tubería con el fin de agregar una carcaza nueva con un elemento de una micra.
  - d. Se conectaron los filtros en serie al resto del sistema.
  - e. Se dividió nuevamente la tubería para añadir un tramo que cuente con una sola carcaza, en caso sea necesario dividir el flujo.
  - f. Se conectaron ambos tramos al resto del sistema.
  - g. Se instalaron válvulas en la entrada y salida de los tramos para poder controlar en qué secciones viajará el fluido.
  - h. Se realizaron pruebas en las que se dejaba pasar agua, para revisar fugas en el sistema.
  
3. Pruebas de turbidez
  - a. Se tomaron cuatro muestras de  $50 \pm 0.05$  mL de fermentado con levadura.
  - b. Se realizaron los análisis de turbidez a las cuatro muestras anteriores colocando  $5 \pm 0.01$  mL de fermentado en una de las celdas del turbidímetro portátil marca Hanna modelo HI 98703.
  - c. Se graficaron los resultados obtenidos para compararlos con los obtenidos después del filtrado.
  
4. Pruebas de sedimentación
  - a. Se tomaron diez muestras de  $50 \pm 0.05$  mL de cerveza, una vez la fermentación terminara.
  - b. Se determinó la turbidez, densidad y viscosidad de cuatro muestras.
  - c. Se pesó la muestra en una balanza analítica para determinar la densidad.
  - d. Se realizó pruebas de viscosidad con una copa de viscosidad, llenando la copa hasta el borde y tomando el tiempo en que esta se vaciaba por completo.
  - e. Se dejaron reposar las cuatro restantes muestras por un periodo de dos días.
  - f. Se realizaron pruebas de turbidez, densidad, viscosidad, velocidad de sedimentación.

- g. Se determinó la cantidad de sedimento u sobrenadante decantando el líquido sobrenadante de los sólidos sedimentados, y pesando cada uno por separado.
- h. Se determinó la velocidad de sedimentación.
- i. El resto del lote se dejó reposar por 4 días desde la finalización de la fermentación.
- j. Al cumplir el tiempo, se realizaron las mismas pruebas de turbidez, densidad, viscosidad, velocidad de sedimentación y cantidad de sedimentado y sobrenadante.
- k. Se compararon los resultados de ambas muestras con distinto tiempo de reposo.

#### 5. Pruebas de filtrado

- a. Se sacaron tres muestras de  $50 \pm 0.05$  mL de cerveza y se determinó la densidad y turbidez de estas.
- b. Se pesó el filtro previo a que este filtrara la cerveza.
- c. Se dejó correr cerveza por los filtros.
- d. Se retiró la cerveza remanente en las carcasas.
- e. Se pesaron nuevamente los filtros con la capa de sedimento formada.
- f. Se calculó la cantidad de cerveza retenida y filtrada
- g. Se realizaron pruebas de densidad y turbidez a tres muestras de 50mL de la cerveza ya filtrada.
- h. Se compararon ambos resultados.

#### 6. Pruebas de centrifugación

- a. Se tomaron ocho muestras de  $100 \pm 0.05$  mL de cerveza ya fermentada.
- b. Se realizó pruebas de densidad y turbidez a cada una de las cuatro muestras.
- c. Se llenaron ocho viales de 45 mL de cerveza.
- d. Se conectó la centrífuga por lotes a corriente trifásica y se ajustó a una velocidad de 1277 revoluciones por minuto durante 10 minutos.
- e. Al terminar el tiempo, se retiraron las muestras, se extrajo el líquido y se realizaron pruebas de turbidez, densidad y cantidad de centrifugado y sobrenadante.
- f. Se compararon los resultados con los resultados de las pruebas de filtración.

## VII. RESULTADOS

Tabla 5. Especificaciones físicas, organolépticas y químicas de muestra de agua Salvavidas en presentación de garrafón

<b>Análisis</b>	<b>Dimensional <sup>(1)</sup></b>	<b>Límite de detección</b>	<b>Resultados</b>	<b>LMA <sup>(2)</sup></b>	<b>LMP <sup>(2)</sup></b>	<b>Método de análisis <sup>(3)</sup></b>
Cloro residual	mg/L	0.05	< 0.05	0.5	1.0	Spectroquant Merck 14801
Cloruros <sup>(4)</sup>	mg/L	0.4	5.5	100	250	Spectroquant Merck 14897
Color <sup>(4)</sup>	Pt/Co	1	1	5.0	35.0	STM 2120 C
Conductividad	us/cm	6	152	750	1500	STM 2510 B
Nitratos	mg/L	0.04	1.5	---	50.0	Spectroquant Merck 14773
Nitritos <sup>(4)</sup>	mg/L	0.010	< 0.010	---	3.0	Spectroquant Merck 14776
Calcio	mg/L	0.725	17.27	75	150	STM 3111 B
Hierro	mg/L	0.043	< 0.043	0.3	---	STM 3111 B
Magnesio	mg/L	0.048	1.18	50	100	STM 3111 B
Maganeso	mg/L	0.012	< 0.012	0.1	0.4	STM 3111 B
Dureza	mg/L	2.01	47.97	100	500	STM 2340 B
Olor	---	---	No rechazable	No rechazable	No rechazable	Organoléptico
pH	---	0.02	8.03	7.0 – 7.5	6.5 – 8.5	STM 4500-H* B
Sulfatos	mg/L	3	< 3	100	250	Spectroquant Merck 02537
Turbiedad	UNT	0.5	< 0.5	5.0	15.0	STM 2130 B

(1) mg/L = ppm; u Pt-Co = unidades Platino Cobalto; us/cm = micro siemens por centímetro; Unt = unidades de turbiedad.

(2) LMA: Límite Máximo Aceptable; LMP: Límite Máximo Permisible (COGUANOR NTG 29001).

(3) STM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23<sup>rd</sup> Edition 2017.

(4) Análisis acreditado COGUANOR NTG/ISO/IEC 17025:2017 según OGA-LE-051-13.

Tabla 6. Especificaciones físicas, organolépticas y químicas de muestra de agua Salvavidas en presentación de garrafón, añadiendo cloruro de calcio, utilizada para producción de cerveza

<b>Análisis</b>	<b>Dimensional <sup>(1)</sup></b>	<b>Límite de detección</b>	<b>Resultados</b>	<b>LMA <sup>(2)</sup></b>	<b>LMP <sup>(2)</sup></b>	<b>Método de análisis <sup>(3)</sup></b>
Cloro residual	mg/L	0.05	0.08	0.5	1.0	Spectroquant Merck 14801
Cloruros <sup>(4)</sup>	mg/L	0.4	22.8	100	250	Spectroquant Merck 14897
Color <sup>(4)</sup>	Pt/Co	1	3	5.0	35.0	STM 2120 C
Conductividad	us/cm	6	198	750	1500	STM 2510 B
Nitratos	mg/L	0.04	1.3	---	50.0	Spectroquant Merck 14773
Nitritos <sup>(4)</sup>	mg/L	0.010	< 0.010	---	3.0	Spectroquant Merck 14776
Calcio	mg/L	0.725	29.09	75	150	STM 3111 B
Hierro	mg/L	0.043	< 0.043	0.3	---	STM 3111 B
Magnesio	mg/L	0.048	1.20	50	100	STM 3111 B
Maganeso	mg/L	0.012	< 0.012	0.1	0.4	STM 3111 B
Dureza	mg/L	2.01	77.56	100	500	STM 2340 B
Olor	---	---	No rechazable	No rechazable	No rechazable	Organoléptico
pH	---	0.02	7.86	7.0 – 7.5	6.5 – 8.5	STM 4500-H* B
Sulfatos	mg/L	3	< 3	100	250	Spectroquant Merck 02537
Turbiedad	UNT	0.5	< 0.5	5.0	15.0	STM 2130 B

(1) mg/L = ppm; u Pt-Co = unidades Platino Cobalto; us/cm = micro siemens por centímetro; Unt = unidades de turbiedad.

(2) LMA: Límite Máximo Aceptable; LMP: Límite Máximo Permisible (COGUANOR NTG 29001).

(3) STM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23<sup>rd</sup> Edition 2017.

(4) Análisis acreditado COGUANOR NTG/ISO/IEC 17025:2017 según OGA-LE-051-13.

Tabla 7. Comparación de parámetros químicos establecidos por la norma COGUANOR NTG 29001

Característica	LMA	LMP	Agua Salvavidas en presentación de garrafón	Agua Salvavidas en presentación de garrafón con CaCl <sub>2</sub>
Cloruro (mg/L)	100.00	250.00	5.5 ± 0.9070	22.8 ± 0.9070
Calcio (mg/L)	75.00	150.00	17.27 ± 0.9070	29.09 ± 0.0060
pH	7.0 – 7.5	6.5 – 8.5	8.03 ± 0.9070	7.86 ± 0.9070

Figura 4. Balance de masa de tamizaje realizado en tamizadora

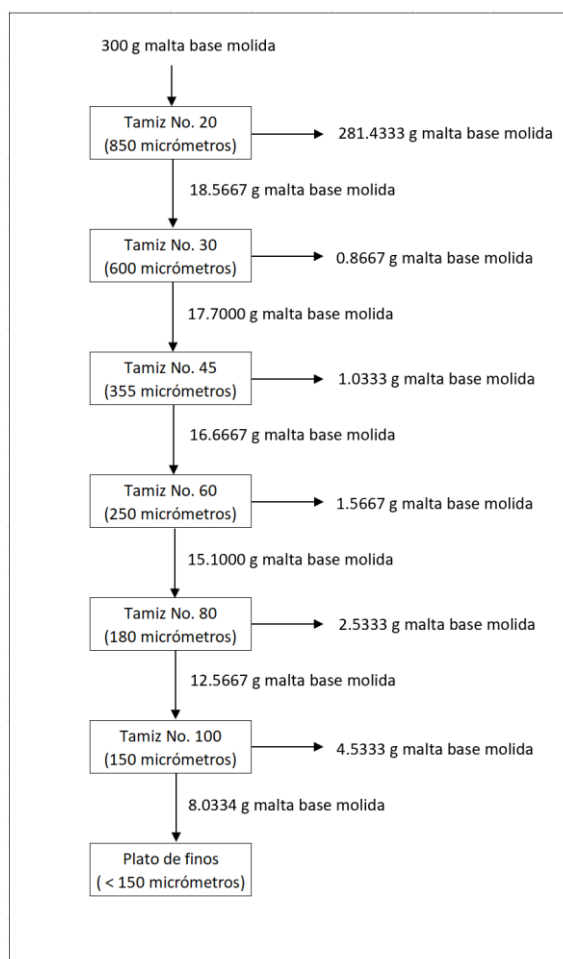
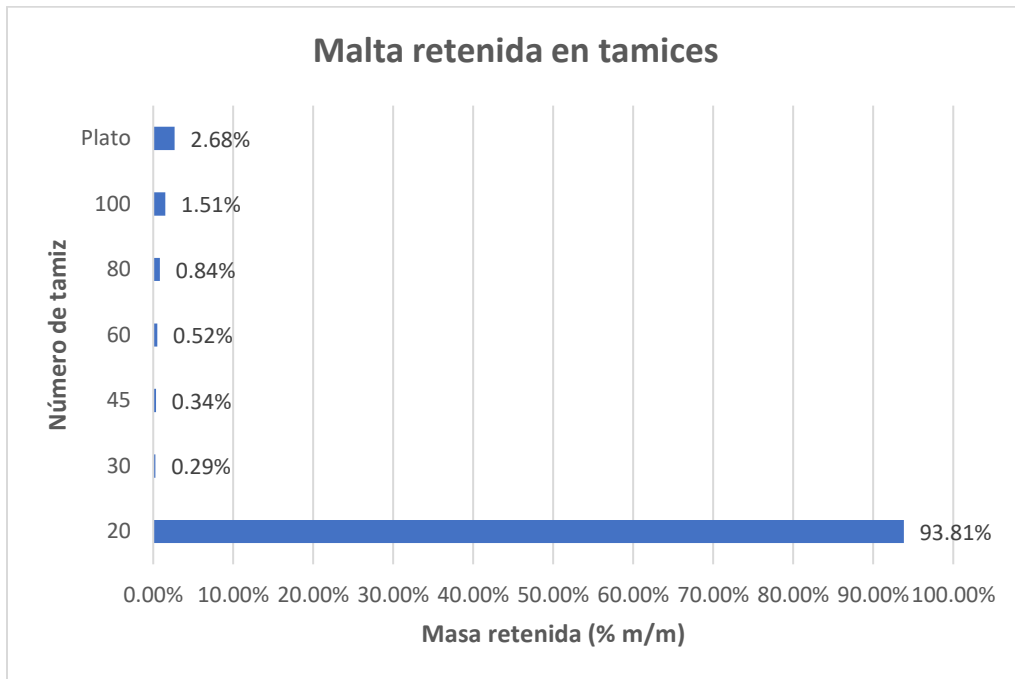


Tabla 8. Tamaño de partícula de malta utilizada para la producción

Tamiz	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio	Desviación estándar (g)
20	94.40%	93.13%	93.90%	93.81%	1.91
Polvos finos	2.53%	2.90%	2.60%	2.68%	0.59

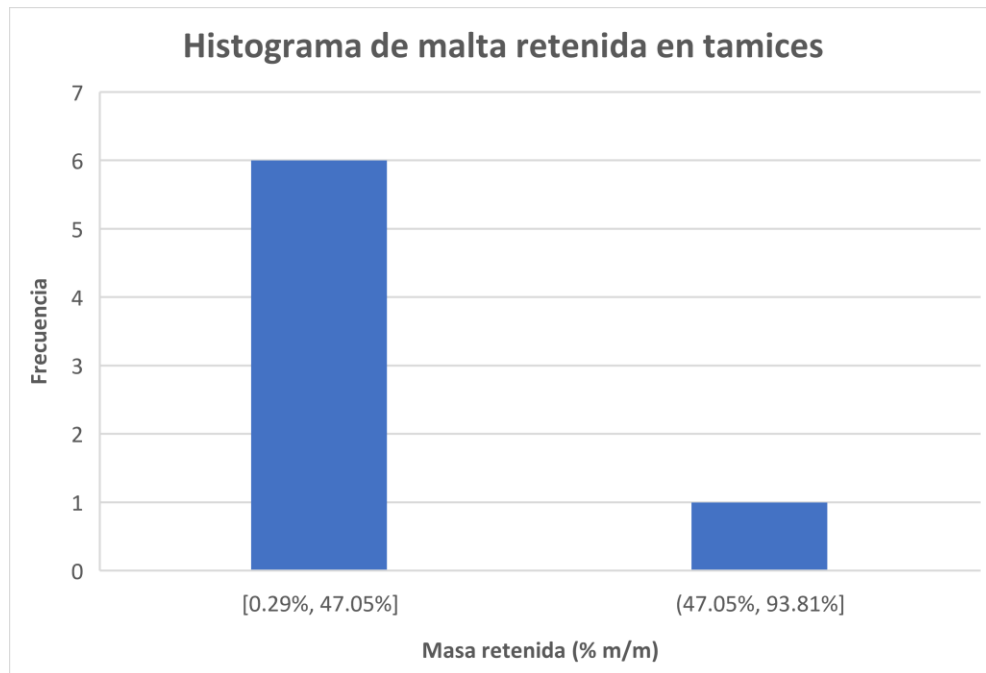
\*Para el dimensionamiento se utilizó la cantidad de malta necesaria para la producción de un lote de cerveza (8.1647 kg de malta pilsen)

Figura 5. Comparación de malta retenida en tamices



\*Datos originales mostrados en tabla 16 en Anexos.

Figura 6. Histograma de malta retenida en tamices



\*Datos originales mostrados en tabla 16 en Anexos.

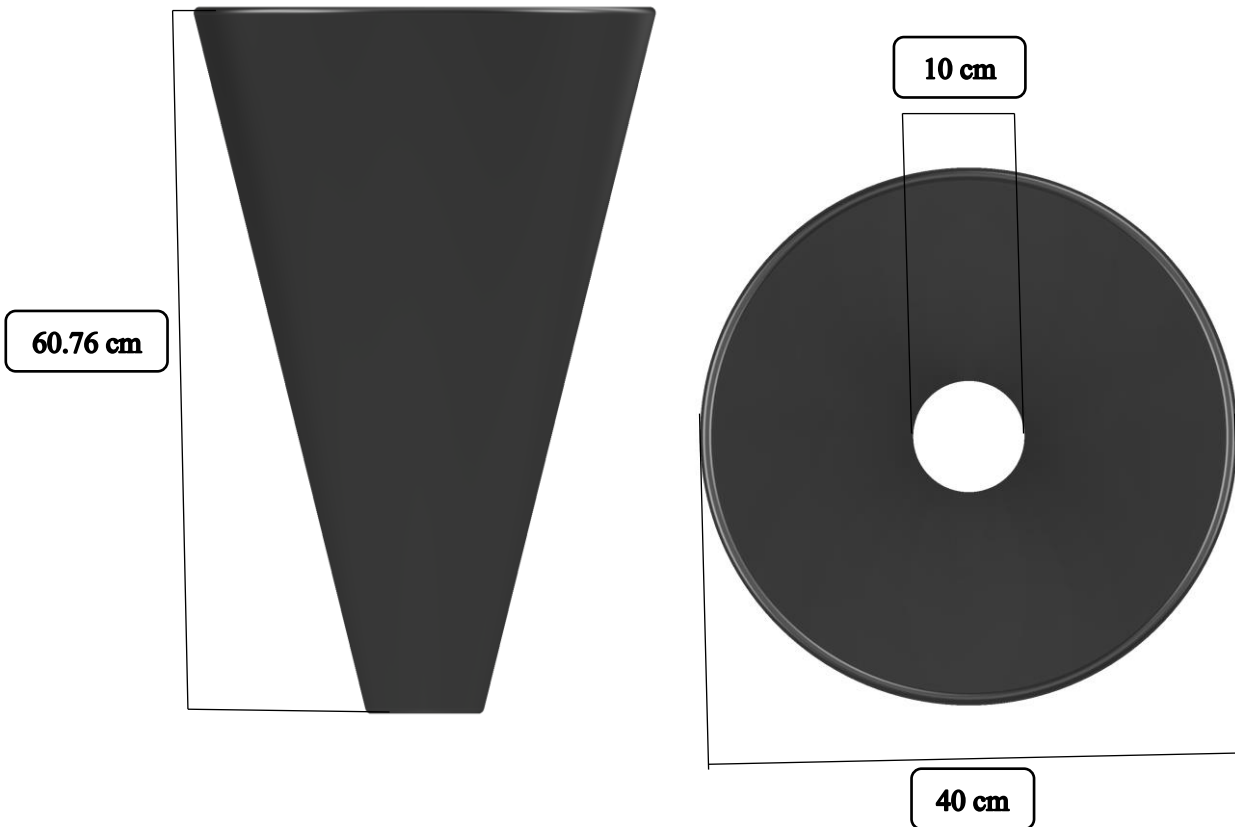
Tabla 9. Especificaciones para la tolva propuesta para dosificación de malta

Parámetro	Unidades	Valor
Material de la tolva	-	Acero inoxidable
Capacidad de la tolva	kg	11.00
Volumen de material por lote	cm <sup>3</sup>	18922.1597 ± 4.3852
Altura de la tolva	cm	60.8640 ± 0.0439
Diámetro de la tolva	cm	40.00 ± 0.0500
Diámetro de salida de la tolva	cm	10.00 ± 0.0500
Volumen total del cono	cm <sup>3</sup>	25493.1298 ± 5.9080
Volumen de cono a retirar	cm <sup>3</sup>	2.8516 ± 5.9080
Volumen total de la tolva	cm <sup>3</sup>	25490.2782 ± 5.9074

*\*Para el dimensionamiento se utilizó la cantidad de malta necesaria para la producción de un lote de cerveza (8.1647 kg de malta pilsen)*

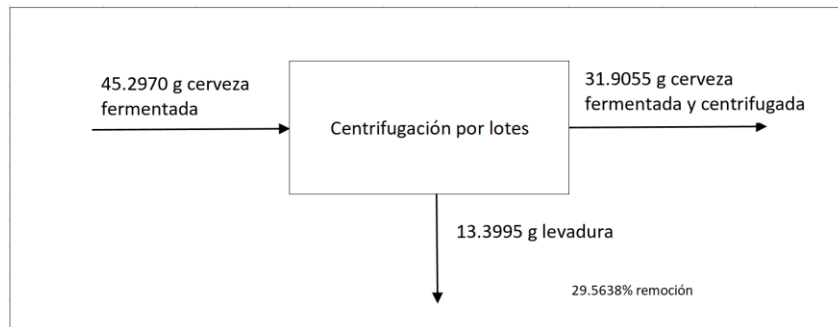
*\*\*La tolva propuesta opera a 23°C y 1 atm*

Figura 7. Esquema de tolva propuesta para dosificación de malta



*\*La tolva se diseñó con un 25% de sobredimensionamiento*

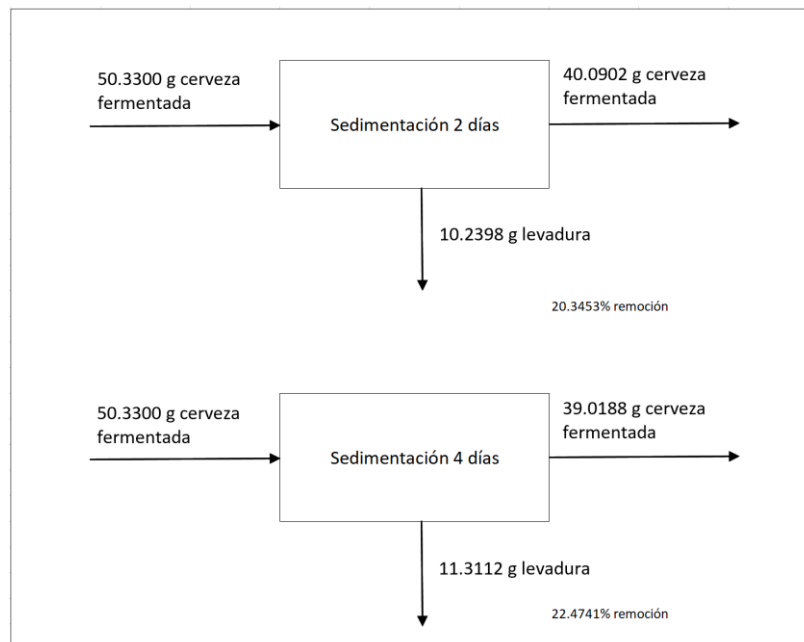
Figura 8. Balance de masa de centrifugado por lotes a cerveza fermentada



\*El balance de masa se realiza a partir de los 45 mL de capacidad de un vial de la centrifugadora por lotes.

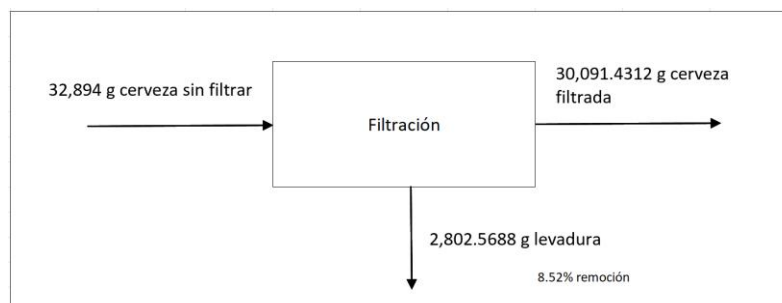
\*\*Centrifugación realizada a 22.5°C.

Figura 9. Balance de masa de sedimentación realizada a cerveza fermentada



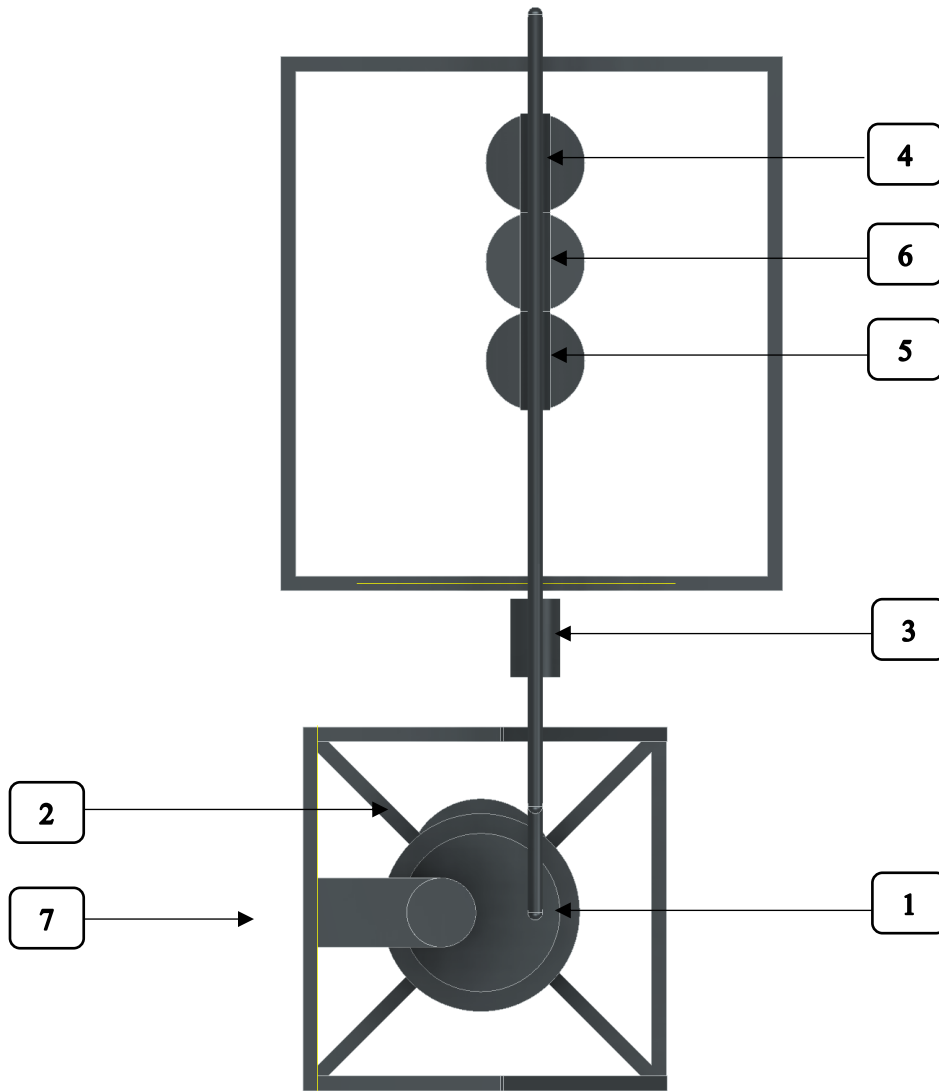
\*Centrifugación realizada a 3°C durante un período de 2 y 4 días.

Figura 10. Balance de masa de filtración realizada a cerveza fermentada



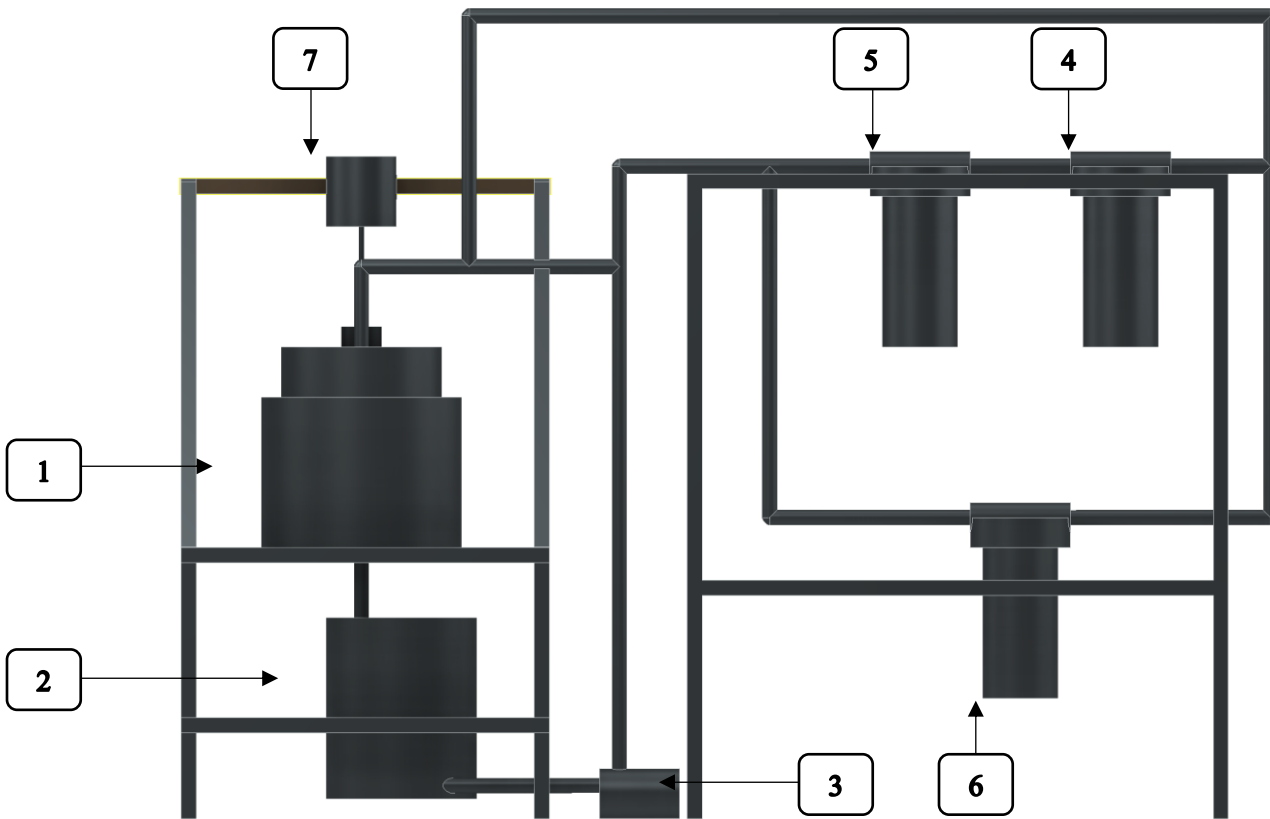
\*Al momento de la filtración, la cerveza se encontraba a 6°C.

Figura 11. Vista de planta de nueva instalación de equipo de filtración



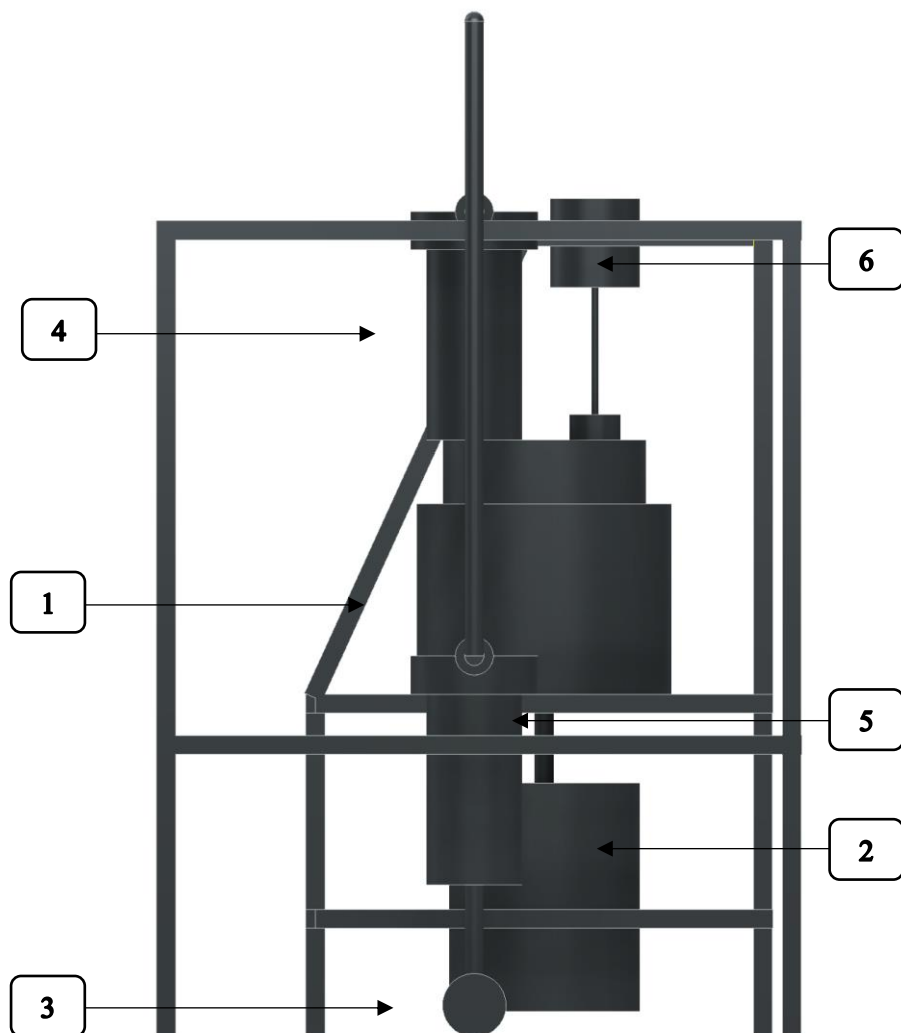
1	Tanque de maceración/cocción/fermentación/maduración
2	Tanque receptor
3	Bomba centrífuga Aquastrong de 0.45 kW
4	Filtro de cartuchos marca PENTAIR modelo Big Blue de 1 micras
5	Filtro de cartuchos marca PENTAIR modelo Big Blue de 5 micras
6	Filtro de cartuchos marca PENTAIR modelo Big Blue de 5 micras
7	Agitador

Figura 12. Vista de perfil de nueva instalación de equipo de filtración



1	Tanque de maceración/cocción/fermentación/maduración
2	Tanque receptor
3	Bomba centrífuga Aquastrong de 0.45 kW
4	Filtro de cartuchos marca PENTAIR modelo Big Blue de 1 micras
5	Filtro de cartuchos marca PENTAIR modelo Big Blue de 5 micras
6	Filtro de cartuchos marca PENTAIR modelo Big Blue de 5 micras
7	Agitador

Figura 13. Vista de elevación de nueva instalación de equipo de filtración



1	Tanque de maceración/cocción/fermentación/maduración
2	Tanque receptor
3	Bomba centrífuga Aquastrong de 0.45 kW
4	Filtro de cartuchos marca PENTAIR modelo Big Blue de 1 y 5 micras
5	Filtro de cartuchos marca PENTAIR modelo Big Blue de 5 micras
6	Agitador

Tabla 10. Comparación de métodos de remoción de sólidos

Parámetro	Inicial	2 días de sedimentado	4 días de sedimentado	Centrifugación	Filtración
Turbidez (NTU)	784.6 ± 14.1174	198.4 ± 12.6016	187.6 ± 7.0569	84.0800 ± 9.0770	494.4000 ± 16.6373
Densidad (g/mL)	1.0066 ± 0.0017	1.0114 ± 0.0018	1.008 ± 0.0023	1.0048 ± 0.0038	1.0000 ± 0.0032
Viscosidad (cSt)	6.8353 ± 14.1174	2.3331 ± 0.3041	2.1658 ± 0.2436	2.5096 ± 0.3417	3.9984 ± 0.3901

\*Para el dimensionamiento se utilizó la cantidad de malta necesaria para la producción de un lote de cerveza (8.1647 kg de malta pilsen)

Figura 14. Comparación de turbidez de métodos de remoción de sólidos

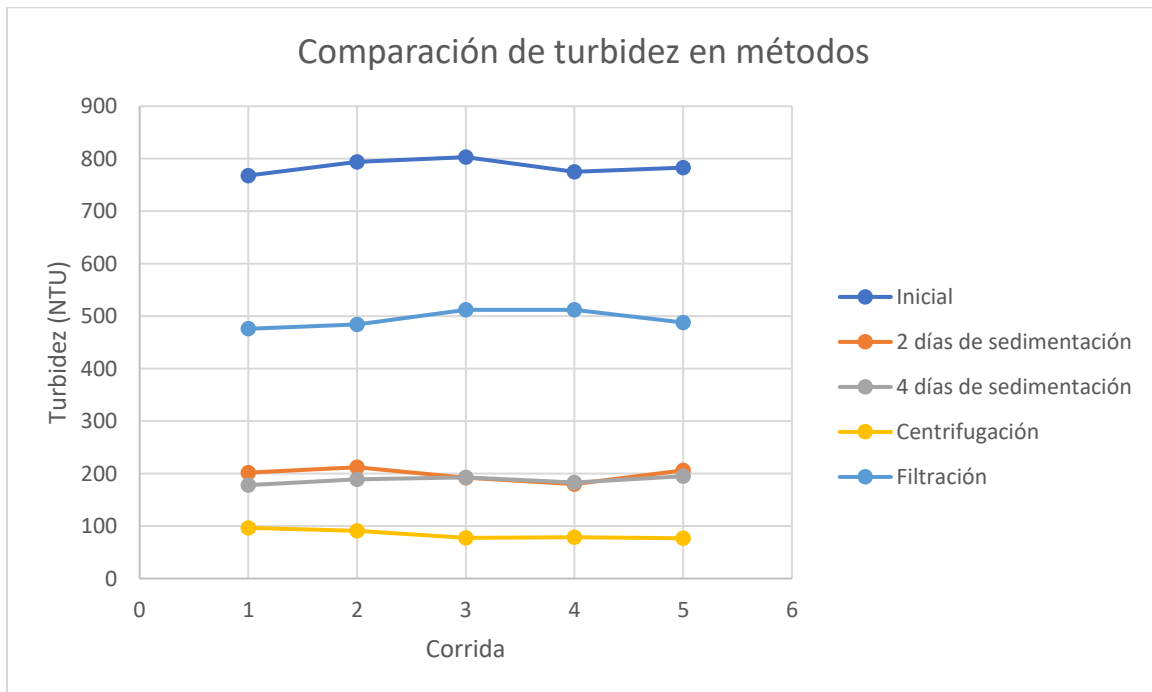


Figura 15. Comparación de densidad de métodos de remoción de sólidos

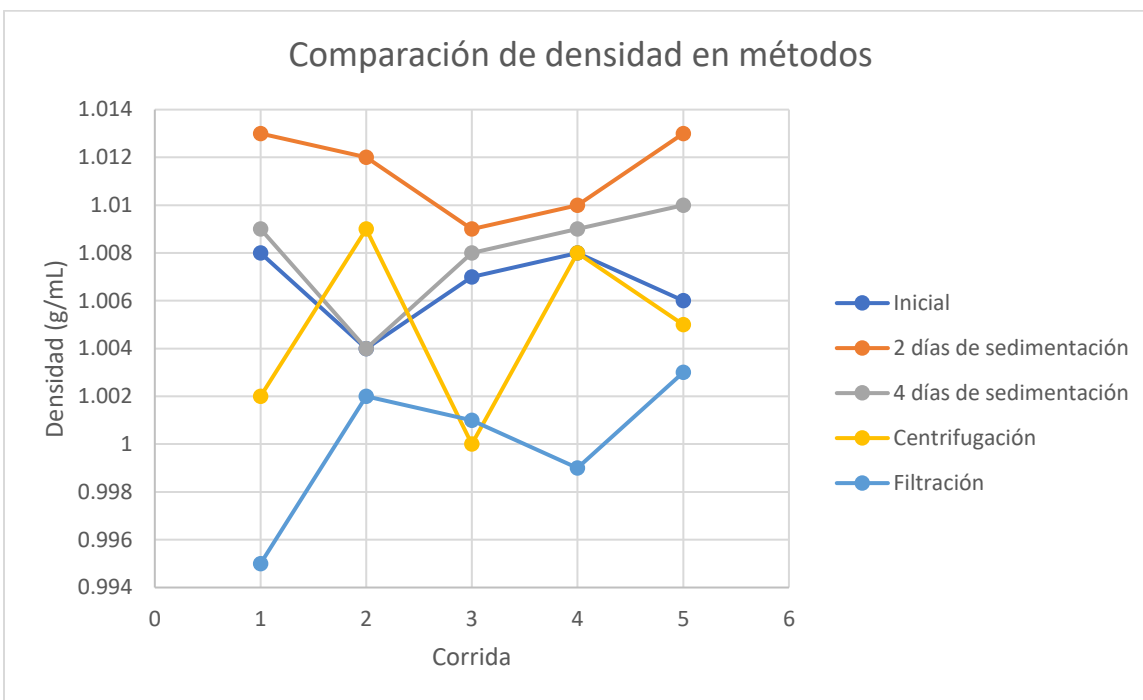


Figura 16. Comparación de viscosidad de métodos de remoción de sólidos

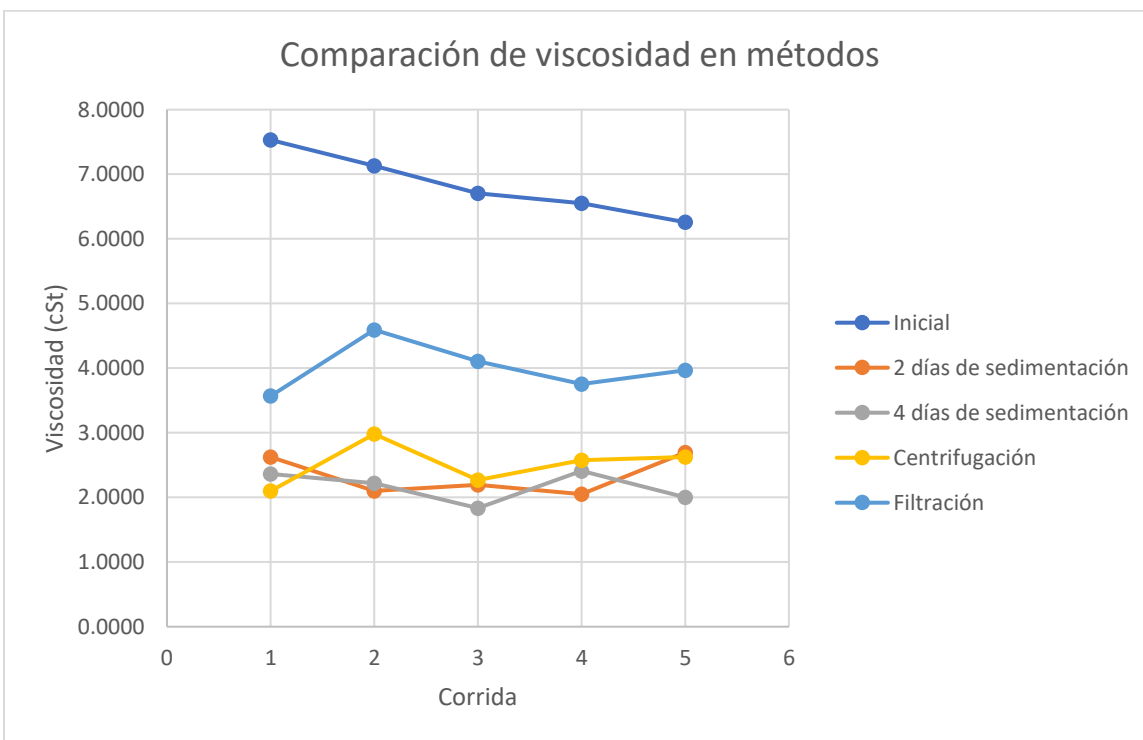


Tabla 11. Comparación de turbidez reducida por métodos de remoción de sólidos

<b>Método de remoción</b>	<b>Turbidez reducida (NTU)</b>	<b>Porcentaje de reducción</b>
Sedimentación 2 días	586.20 ± 11.7440	75%
Sedimentación 4 días	597.00 ± 11.9600	76%
Centrifugación	700.52 ± 14.0304	89%
Filtración	290.20 ± 5.824	37%

## VIII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El trabajo de graduación pretendía realizar la implementación de equipos y la adaptación del sistema de filtración ya implementado, con el fin de obtener como producto final una cerveza tipo lager con una turbidez reducida. Además, se pretendía llevar a cabo una caracterización de la materia prima de la que más volumen se necesita, con el fin de proponer un sistema de dosificación de esta al tanque encargado de hacer el proceso de maceración. Adicionalmente a ello, se debía hacer la adición de sales al agua utilizada para la preparación de la cerveza, dada la necesidad de acentuar sabores y acondicionar el agua para que esta fuera la adecuada y tuviera las características necesarias para preparar el tipo de cerveza deseado.

Para cumplir con los objetivos específicos del trabajo, fue necesario realizar una serie de pruebas que incluían el análisis de parámetros como, turbidez, viscosidad y densidad de la cerveza obtenida después del proceso de maduración y posterior a la implementación de metodologías que permitieran reducir de manera significativa estos parámetros. Para cumplir con estas pruebas, fue necesaria la adición de un solo tipo de sales en el agua pura utilizada, ya que dependiendo del tipo de sal que se adicione, distintos serán los resultados del producto final, relacionados a sabor, pH y aroma. Dado que los sulfatos se utilizan principalmente para potenciar sabores y aromas del lúpulo, no son características deseadas en el producto final por el tipo de cerveza que se desea obtener. Otra sal comúnmente utilizada en la producción de cerveza para el acondicionamiento del agua es el bicarbonato de sodio; no obstante, esta sal se utiliza principalmente para elevar el pH en el proceso de maceración y que este se encuentre en el rango ideal de operación (5.0 - 5.4) por lo que se utiliza en ocasiones en las que las maltas tostadas predominan ya que estas tienen a disminuir el pH. Es por ello que esta sal no es conveniente utilizarla para la mezcla que se planeaba realizar.

Los cloruros se encargan principalmente de acentuar el sabor de la cerveza y dependiendo de la sal que se utilice puede causar otros efectos. Por ejemplo, el cloruro de sodio se encarga de acentuar sabores y el sodio puede servir como alimento para la levadura. Por otra parte, en el cloruro de sodio, el sodio puede ser utilizado también para regular el pH de la mezcla. Es de suma importancia que, si se desea utilizar cloruro de sodio, mejor conocida como “sal de mesa”, esta no debe contener yodo, ya que este puede alterar negativamente los sabores de la cerveza que se desea producir al perjudicar la levadura, tal y como lo establece Eric Reinsvold en el artículo “*A pinch of salt*” publicado en el año 2016 por la revista digital Beer & Brewing.

Por lo anterior se llegó a la conclusión de que la mejor manera de acondicionar el agua pura para la producción de cerveza lager, sería la adición de la menor cantidad posible de sales, de manera que solo se acentúe el sabor y se regule el pH. El agua seleccionada para la producción de la cerveza fue agua comercial marca Salvavidas en presentación de garrafones ya que esta agua cuenta con altos estándares de calidad y bajos niveles de parámetros químicos que puedan afectar de manera negativa la cerveza final.

Se utilizaron dos garrafones del agua previamente mencionada (37.8 L totales) y se utilizó como referencia el análisis realizado en el año 2019 en el megaproyecto de la Universidad del Valle de Guatemala titulado “Construcción de una planta piloto para producción de cerveza en el Laboratorio de Operaciones Unitarias” con el fin de definir los parámetros iniciales con los que esta contaba. Inicialmente el agua contaba mediciones de calcio de  $0.03 \pm 0.006$  mg/L,  $0.04 \pm 0.012$  mg/L para el cloro,  $13.93 \pm 0.907$  mg/L de cloruros,  $3.83 \pm 0.331$  mg/L de magnesio,  $8.03 \pm 0.115$  mg/L en nitratos,  $0.42 \pm 0.006$  mg/L en nitritos y  $3.00 \pm 0.001$  mg/L en sulfatos.

De acuerdo con la BJCP, el calcio es capaz de reducir el pH y actúa como un nutriente importante para las levaduras. Además, ayuda a la precipitación de proteínas durante la ebullición, lo cual afecta de manera positiva la opacidad de la cerveza. Otro mineral que puede beneficiar el producto final es el cloruro, ya que potencia la sensación en la boca y la complejidad de la cerveza, dando una textura más plena. Es por ello que se añadió  $1.0 \pm 0.0001$  g de cloruro de calcio, con el fin de acentuar dichos sabores y regular el pH. La cantidad de sal utilizada permitió alcanzar concentraciones de  $30.8314 \pm 0.9070$  mg/L para el cloruro y de  $9.5836 \pm 0.0060$  mg/L para el calcio, de manera que no afecta de manera significativa el lote, ya que esta no supera los límites máximos admitidos por la norma COGUANOR NGO 29001, los cuales son de 75 mg/L para el calcio y de 100 mg/L para el cloruro.

Uno de los factores que pudo afectar significativamente los resultados obtenidos mediante la experimentación fue

Ya que se pretendía reducir de manera significativa los parámetros de turbidez, regular la densidad y la viscosidad, fueron comparados tres métodos distintos de remoción de sólidos suspendidos para determinar de qué manera se podía realizar un proceso más efectivo. Es por ello que, se llevaron a cabo pruebas de densidad, viscosidad y turbidez a la muestra inicial después de que esta haya fermentado y madurado, para posteriormente hacer pruebas de centrifugación para una muestra, filtración para el lote completo y dos pruebas de sedimentación para determinar cuánto tiempo es necesario para que la cerveza alcance el nivel deseado en cada uno de esos parámetros. La filtración se realizó para el lote completo, ya que parte de los objetivos era la adaptación de un sistema de filtración que permitiera alcanzar estos parámetros deseados.

Para la adaptación del sistema de filtración para el lote completo de cerveza fue necesario tomar en cuenta con qué equipo y sistema se contaba previo a realizar los cambios. Dado que se contaba con un sistema de filtración de cartucho con elemento de cinco micras y partiendo del antecedente de que el filtro ya instalado era capaz de regular adecuadamente los parámetros deseados, se decidió continuar con el sistema de filtros de cartucho. Sin embargo, el filtro ya instalado funcionaba adecuadamente para una cerveza tipo IPA; ya que la cerveza deseada es tipo lager, que se caracteriza por ser clara y poco turbia, se decidió instalar un filtro de cartuchos extra en el sistema de filtración, con

el fin de remover partículas aún más pequeñas que el filtro de cinco micras no puede retener. Es por ello que se decidió añadir dos filtros de cartucho en serie, pasando la cerveza primero por el elemento de cinco micras y posteriormente por el elemento de una micra. La ventaja de realizar esta adaptación se basa principalmente en la capacidad de retención de sólidos suspendidos.

Otra opción para tomar en cuenta para la adaptación era simplemente el cambio de elemento de cinco micras por el de una micra, ya que se contaba con la instalación necesaria para sustituir solamente el medio filtrante y retener una mayor cantidad de sólidos suspendidos en el fluido. Sin embargo, en caso se hiciera dicha adaptación, la utilización del filtro de una podía resultar en una saturación de los poros de una manera más rápida y que se formara una torta más densa sin permitir que el líquido atravesara el elemento de manera correcta. Además, al utilizar solamente el filtro con elemento de una micra, la generación de espuma iba a incrementar significativamente, dando como resultado la pérdida de carbonatación en la cerveza. Es por ello que se optó por la adaptación de dos filtros colocados en serie, reteniendo una parte de los sólidos suspendidos en el filtro con mayor porosidad y posteriormente el filtro con menor porosidad fuese capaz de remover solamente las partículas más pequeñas. La generación de espuma, a pesar de ser significativamente menor, provocó una pérdida significativa en la carbonatación de la cerveza. Además, este cambio en el sistema no implicaba cambiar la bomba centrífuga de 0.45 kW ya instalada, ya que esta funcionaba perfectamente para el recorrido completo de la cerveza por todo el sistema, sin sobrecargar la tubería y los filtros. Dada la pérdida de gas carbónico en la cerveza por el paso en ambos filtros, se realizó la adaptación de un tramo de tubería extra que permitiera el paso de la cerveza en uno solo de los elementos, en este caso el de cinco micras. Esta adaptación se realizó con el fin de filtrar la cerveza posterior al proceso de carbonatación y que no se presentara dicha pérdida de gas. El flujo de la cerveza en ambos sistemas se seleccionaría mediante un sistema de válvulas que regulara el flujo en una u otra vía, dependiendo de la etapa de filtración que se desee realizar.

Una vez determinados los sistemas que se deseaban instalar a la planta de cerveza, se debía realizar la selección del material de la tubería. Dada la instalación previa, su versatilidad e inocuidad, se seleccionó proseguir con la utilización de tubería y accesorios de acero inoxidable de  $\frac{3}{4}$  de pulgada de diámetro. Los planos de la red de tuberías instaladas se representan en las figuras 11, 13, 13 y 17 de la sección de Resultados y la planta instalada se representa en la Figura 25 en anexos.

Para la adaptación del nuevo sistema de filtración, fue necesario realizar cambios en la estructura que soporta la tubería y los filtros, de manera que esta permitiera soportar ambos trayectos, el de dos filtros en línea y el de un solo filtro. La estructura se continuó trabajando con tubo cuadrado de una pulgada y con bases cuadradas, ya que estas características permitían soportar correctamente el sistema completo. Se tenía que tomar en cuenta que al realizar los procesos de filtración, parte de la cerveza se quedaría remanente en los filtros, ya que no es posible bombear por completo el líquido sin que la bomba cavitará por la pérdida de líquido. El líquido remanente en los filtros resultaba en un incremento significativo en el peso completo del sistema, por lo que se diseñó la base de manera que los tubos quedaran por encima del tubo cuadrado y el peso se distribuyera de forma pareja y no se sobrecargara la tubería.

Para la instalación de todo el sistema de filtración, fue necesaria la adaptación de tubería de  $\frac{3}{4}$  de pulgada, niples, codos, accesorios en T, válvulas de globo, reductores y manómetros de 0 a 60 psi, con el fin de regular la presión previa a la entrada a los filtros de cartucho y que esta no excediera la presión soportada por éstos.

Una vez instalado el sistema completo de filtración y habiendo terminado el proceso de fermentación y maduración, se realizaron las pruebas respectivas de turbidez, viscosidad y densidad de la cerveza previo a que esta pasara por alguna prueba de remoción de sólidos. Las pruebas de turbidez mostraron que este líquido presentaba una medición promedio de 784.6 NTU, una densidad de 1.0066 g/mL y una viscosidad de 6.8353 cSt. Estas mediciones demuestran que la cerveza obtenida se encuentra sumamente turbia y con una viscosidad relativamente alta, ya que al ser comparada con la viscosidad del agua (1 cSt), demuestra ser alta; en cuanto a la densidad, esta no presenta un valor elevado al compararlo con la densidad del agua. El objetivo de los métodos de remoción de sólidos es disminuir de manera significativa el parámetro de la turbidez, mantener el parámetro de densidad y disminuir el parámetro de viscosidad.

Al obtener los datos iniciales, que serán utilizados como punto de partida y comparación, era necesario definir qué métodos de remoción se utilizarían para comparar y determinar cuál de todos sería el más útil para la producción de la cerveza. Como método principal se decidió utilizar el sistema de filtración instalado. Posteriormente, se decidió utilizar la centrifugadora por lotes, ya que de acuerdo con investigaciones previas se ha determinado que este es el método más efectivo para la reducción de la turbidez. Por último, se decidió realizar dos pruebas de sedimentación de la muestra de cerveza, variando solamente el tiempo en el que esta estará sedimentando previo a la realización de los análisis. Para la sedimentación se realizaron las pruebas a los dos y cuatro días, comparando si la diferencia en las mediciones representaba un cambio significativo en los resultados.

Al realizar la centrifugación, se determinaron los valores de turbidez, densidad y viscosidad del líquido resultante en cada uno de los viales introducidos a la centrifugadora por lotes. Los resultados de las pruebas de turbidez pueden encontrarse en Tabla 20 en el apartado de Anexos. El valor obtenido fue de  $84.08 \pm 9.0770$  NTU, lo cual indica una reducción del 89% comparado con el resultado de turbidez inicial. En cuanto a la densidad promedio de dicha muestra, puede observarse el resultado en la Tabla 21 de los Anexos y muestra un resultado de  $1.0048 \pm 0.0038$  mg/L, siendo un valor muy similar al de la muestra inicial; esto demuestra que la densidad no se ve afectada de manera significativa al centrifugar la muestra de cerveza, dando como resultado un valor muy cercano al de la densidad del agua. Por último, se realizaron pruebas de viscosidad a la muestra mediante un viscosímetro marca EZ Zahn de copa número dos, la cual resulta ideal para muestras que presentan una viscosidad relativamente baja, similar a la del agua. Idealmente, la viscosidad de la cerveza, al igual que con el parámetro de la densidad, debe ser muy similar al del agua. Las mediciones realizadas del tiempo en el que el líquido abandona por completo la copa pueden ser observadas en la Tabla 25 de los Anexos y las viscosidades resultantes de dichos tiempos se muestran en la Tabla 29. En promedio se obtuvo una viscosidad de  $2.5096 \pm 0.3417$  cSt, lo cual demuestra que el proceso de centrifugación resultó ser adecuado para obtener los valores deseados al remover los sólidos suspendidos.

Las pruebas realizadas posteriormente fueron las de sedimentación. Para estas se tomaron muestras del lote de cerveza sin filtrar y se separaron en dos recipientes distintos; el primer recipiente sería reposado durante dos días y el segundo recipiente durante un tiempo estimado de cuatro días. Una vez transcurrido el tiempo en ambos recipientes, se realizaron nuevamente pruebas de turbidez, densidad y viscosidad en cada una, siempre con precaución de no tomar parte del sedimentado y que este pueda afectar los resultados de manera significativa. En el caso de las pruebas de turbidez, los resultados de estas pueden observarse en la Tabla 17 de los anexos. Para la muestra de dos días de sedimentado se obtuvo un valor promedio de  $198.4 \pm 12.6016$  NTU, mientras que en la muestra de sedimentado de cuatro días se obtuvo un valor promedio de  $187.6 \pm 7.0569$  NTU; los porcentajes de reducción de esta metodología fueron de 75% y 76% respectivamente. Posteriormente se obtuvieron valores de densidad de cada una de las muestras siendo estos  $1.0114 \pm 0.0018$  mg/L para la muestra con dos días de sedimentación y  $1.008 \pm 0.0023$  mg/L para la muestra de cuatro días de sedimentación; dichos resultados pueden ser observados en la Tabla 18 del apartado de Anexos. Por último, se realizaron las respectivas pruebas de viscosidad, de las cuales se determinó que en la primera muestra se cuenta con una viscosidad promedio de  $2.3331 \pm 0.3041$  cSt y de  $2.1658 \pm 0.2436$  cSt para la segunda muestra, tal y como se puede observar en la Tabla 29 de los Anexos.

Por último, se filtró completamente el lote de cerveza en el sistema de filtración instalado, pasando primero por el filtro de cartucho con elemento de cinco micras y pasando posteriormente en el filtro con elemento de una micra. Este proceso de filtración se realizó por un tiempo de 45 minutos continuos. Cabe resaltar que, durante el período de filtración, la cerveza generó un alto volumen de espuma, generada principalmente por el paso por los filtros y la agitación que estos pudieron generar a lo largo de todo el proceso. Además, la presencia de espuma en altas cantidades se debió a que la cerveza se carbonató previo a realizar el proceso de filtración. Una vez transcurridos los 45 minutos de filtración, se realizaron exactamente los mismos análisis a los parámetros previamente mencionados. Midiendo la turbidez se logró determinar que la cerveza tuvo una turbidez final de  $494.4 \pm 16.6373$  NTU, lo cual muestra un porcentaje de reducción del 37%, siendo el método de reducción de turbidez más bajo de los tres utilizados. Al realizar mediciones de densidad, tal como lo muestra la Tabla 25 del apartado de Anexos, fue posible determinar que la densidad promedio de dicha muestra fue de  $1.0000 \pm 0.0032$  mg/L. Finalmente, el análisis de la viscosidad de la muestra filtrada mostró tener un resultado promedio de  $3.9984 \pm 0.3901$  cSt, mostrando cada una de las corridas en la Tabla 29 en Anexos.

Al comparar cada uno de los resultados obtenidos, los cuales se pueden encontrar resumidos en la Tabla 10 del apartado de Resultados, es posible evidenciar que el método más eficiente para remover específicamente la turbidez de la cerveza sigue siendo la centrifugación, seguido de la sedimentación. En el caso de la sedimentación, es de esperarse que, a mayor tiempo de sedimentación, mayor será la remoción de sólidos suspendidos y mejores resultados se obtendrán. Finalmente, se cuenta con el sistema de filtración instalado, el cuál demostró remover solamente el 37% de la turbidez de la cerveza, valor que fue determinado mediante la realización de pruebas de turbidez al líquido previo y posterior al proceso de filtración.

Este resultado relativamente bajo se debe principalmente a un problema específico, la presencia de espuma en la cerveza final. Esta espuma generada originalmente por la carbonatación y el paso de la cerveza en cada uno de

los filtros generó que la turbidez de la cerveza aumentara significativamente. Dado el resultado de la metodología empleada, es recomendable que el proceso de filtración se lleve a cabo previo a la filtración de la cerveza y durante un tiempo prolongado, con el fin de reducir efectivamente el parámetro de turbidez, el cual resulta ser uno de los más importantes en la apariencia de una cerveza tipo lager. Asimismo, se recomienda la implementación de un sistema que permita combinar métodos de remoción de sólidos, de tal manera que se incremente la efectividad de disminución en el parámetro de turbidez. Los valores de densidad se mantuvieron constantes y muy similares entre sí, siendo todos y cada uno de los resultados un valor similar al de la densidad del agua. Es por ello que se puede evidenciar que los métodos de remoción funcionan correctamente y no afectan de manera negativa ni significativa el resultado final de la densidad de la cerveza. Finalmente, en el apartado de la viscosidad, se pretendía que la cerveza final se encontrara en un rango de 2.00 a 4.00 cSt. Como punto de comparación se puede encontrar el agua, la cual cuenta con una viscosidad promedio de 1.00 cSt. Al evaluar cada uno de los resultados, es posible evidenciar que el método más eficiente para disminuir la viscosidad de la cerveza es la centrifugación, seguido de la sedimentación y finalmente la filtración. Sin embargo, a pesar de que la filtración resulta tener el resultado de viscosidad más alto de los tres métodos de remoción, este parámetro se encuentra dentro de los límites previamente establecidos e indicados para una cerveza tipo lager. Es por ello que se puede definir que la adaptación de los filtros fue indicada para reducir el parámetro de la viscosidad y cumple con los estándares previamente establecidos.

La comparación de dichos parámetros entre cada uno de los métodos de remoción utilizados y la muestra inicial de cerveza pueden encontrarse de manera gráfica en las figuras 14, 15 y 16, las cuales muestran el comportamiento de la turbidez, densidad y viscosidad, respectivamente, en cada una de las pruebas realizadas.

Dada la dificultad de la dosificación de la materia prima en el tanque de maceración y cocción, se planteó la propuesta de un sistema que permitiera la correcta y rápida dosificación de la materia prima de la que más volumen se necesita en el proceso de producción de cerveza, que en este caso es la malta tipo pilsen, de la cual se necesitan 8.1647 kg de malta previamente molida. Para ello fue necesario realizar una serie de pruebas que nos permitieran conocer cada una de las características del sólido que se desea dosificar y con estos resultados plantear el sistema de dosificación.

La primera prueba realizada a la malta consistió en determinar el tamaño de partícula de esta materia prima, para lo cual se introdujo una muestra de  $300 \pm 0.0001$  g en la tamizadora durante un tiempo de 15 minutos. Dicha tamizadora contaba con 7 divisiones, cada una de ellas se componía de una malla con mesh de distinto tamaño, permitiendo que solo las partículas más pequeñas del mesh que lo compone. Estos platos se categorizaban por números, comenzando con el No. 20, el cuál presentaba una apertura de 850 micrómetros, seguido del plato No. 30, con una apertura de 600 micrómetros, posteriormente seguía el plato No. 45 con apertura de 355 micrómetros, el plato No. 60 con una apertura de 250 micrómetros, plato No. 80 con apertura de 180 micrómetros, plato No. 100 con apertura de 150 micrómetros y finalmente el plato de polvos finos, que tiene partículas menores a los 150 micrómetros del plato No. 100 no es capaz de retener. Mediante diferencia de pesos en los platos previo y posterior al tamizaje, fue posible determinar la cantidad de material retenido en cada plano. Tal y como se puede observar en la Tabla 16, la mayor cantidad de material retenido en los platos fue en el plato No. 20, en el cual se encontró el 93.81% del total del

material. Adicional a ello, en el plato No. 30 se encontró solamente el 0.29%, 0.34% en el No. 45, 0.52% en el plato No. 60, 0.84% en el plato No. 80, 1.51% en el plato No. 100 y finalmente 2.68% en el plato de polvos finos. Dados estos resultados es posible determinar, primero que la molienda de la malta se llevó a cabo correctamente, ya que la cantidad de polvos finos no supera el 3% del total ingresado.

A la muestra de malta se le realizaron análisis para determinar dos factores que afectan de manera directa el diseño del sistema de dosificación. Estos fueron el ángulo de reposo y el ángulo de deslizamiento, los cuales rigen el comportamiento de un sólido cuando este se deja caer formando una pila. En las tablas 13 y 14 se pueden encontrar los datos de radios y altura de la pila y la superficie en la que esta se encontraba previo a deslizarse, ya que con estos datos se calculó el ángulo deseado en cada una de las corridas. El ángulo de reposo de la malta tipo pilsen es en promedio  $24.5793 \pm 0.3933^\circ$ , mientras que el ángulo de deslizamiento es de  $10.0261 \pm 0.0585^\circ$ . Ambos resultados son de utilidad para dimensionar el sistema de dosificación y evitar que el material se sature en la salida.

Posteriormente, fue necesario determinar dos parámetros que permitirían determinar el volumen que ocuparía la cantidad de malta a utilizar en cada lote de cerveza que se desea producir. Es por ello que se midió la densidad aparente de la malta, la cual consta del volumen que ocupa el sólido cuando existen espacios con aire entre cada una de sus partículas. La densidad compactada pretende determinar el volumen ocupado por el sólido al ser compactado y eliminar el aire que se encuentra entre cada una de las partículas que lo componen. Según los resultados mostrados en la Tabla 27 del apartado de Anexos, se pudo determinar que la densidad aparente de la malta tipo pilsen es de  $0.4315 \pm 0.0158 \text{ g/cm}^3$ , mientras que la densidad compactada de esta malta es de  $0.4764 \pm 0.0113 \text{ g/cm}^3$ . Posteriormente, se determinó la humedad relativa de cinco muestras de malta mediante el uso de una balanza de humedad, resultando en un promedio de  $5.1160\% \pm 0.1854\%$ , lo cual indica que la malta es una materia prima con un bajo contenido de agua, por lo que no requiere un proceso previo de secado ni afecta de manera significativa ningún parámetro previamente mencionado la presencia de agua.

Con los resultados de las pruebas realizadas se decidió que el sistema de dosificación adecuado para la malta es una tolva con la capacidad del almacenar la cantidad necesaria para producir un lote de cerveza, con un 25% de sobredimensionamiento, el cual permite el almacenamiento de tres kilogramos adicionales de material, lo cual permitiría cocinar 44 litros de cerveza totales. Se calcularon las medidas de la tolva gracias a la determinación del ángulo de reposo, la densidad aparente y el diámetro de salida deseado en el cono. Con ello se calculó el dimensionamiento de un cono principal y uno secundario, el cuál será retirado del cono principal para formar un cono truncado que represente la tolva propuesta. Las dimensiones de dicha tolva pueden ser encontradas en la Tabla 9 de especificaciones; dicha tabla presenta que la capacidad total de la tolva será de 11 kg, tendrá una altura total de  $60.8740 \pm 0.0439 \text{ cm}$ , un diámetro superior de  $40 \pm 0.0500 \text{ cm}$  y un diámetro de salida de  $10 \pm 0.0500 \text{ cm}$ . Con estas dimensiones, la tolva tendrá una capacidad volumétrica de  $25,490.2782 \pm 5.9074 \text{ cm}^3$ . Un esquema gráfico de la representación de la tolva se puede observar en la Figura 7 del apartado de resultados.

Uno de los factores que pudo afectar de manera significativa la experimentación con la cual se obtuvieron los resultados fue la molienda del grano de malta tipo pilsen. Esto debido a que la molienda del grano no se encuentra correctamente estandarizada, por lo que la variación en la apertura del molino no es constante en cada una de las corridas de molienda que se realicen para los granos, lo que afecta la granulometría del grano y cada uno de los parámetros medidos para la propuesta de equipo de almacenaje y dosificación, tal y como los ángulos de reposo y deslizamiento. Una vez exista variación en dichos parámetros, se altera el dimensionamiento de la tolva propuesta, por lo que la estandarización de operación del molino es de suma importancia para asegurar resultados constantes y que el sistema de dosificación sea completamente funcional.

## IX. CONCLUSIONES

1. Es posible la utilización de agua purificada de marca comercial para la producción de cerveza artesanal tipo lager, ya que cumple con cada uno de los requerimientos establecidos por la norma COGUANOR 29001. Es necesaria únicamente la adición de sales que potencien el sabor del producto final, sin afectar de manera significativa el pH ni exceder los parámetros previamente mencionados.
2. Es necesaria la adición de solo 1 gramo de cloruro de calcio a 37.8 litros de agua para la preparación de la cerveza, con el fin de acondicionarla, acentuar sabores y regular pH, obteniendo valores de concentración de  $30.8314 \pm 0.9070$  mg/L para el cloruro y de  $9.5836 \pm 0.0060$  mg/L para el calcio, los cuales no exceden los límites establecidos por la norma COGUANOR NGO 29001, siendo estos de 75 mg/L para el calcio y de 100 mg/L para el cloruro.
3. La malta tipo pilsen cuenta con un ángulo de reposo de  $24.5793 \pm 0.3933^\circ$ , un ángulo de deslizamiento de  $10.0261 \pm 0.0585^\circ$  y una humedad relativa de  $5.1160 \pm 0.1854\%$ , brindándole así una densidad aparente de  $0.4315 \pm 0.0158$  g/cm<sup>3</sup>. El sistema propuesto para la correcta dosificación de la malta se compone de una tolva que cumpla con las siguientes dimensiones:  $60.8740 \pm 0.0439$  cm de altura, un diámetro superior de  $40 \pm 0.0500$  cm y un diámetro de salida de  $10 \pm 0.0500$  cm, de manera que el material a dosificar no presente atrapamiento al momento de aperturar la tolva y no se generen pérdidas de material.

4. La filtración realizada a la cerveza mediante el sistema de filtración en serie de elementos de cinco y una micra fue capaz de reducir la turbidez de la cerveza en un 37%, cambiando dicho parámetro de  $784.6 \pm 14.1174$  NTU a  $494.4000 \pm 16.6373$  NTU, además de obtener un porcentaje de reducción en la viscosidad del 42%, reduciendo el parámetro de  $6.8353 \pm 0.5005$  cSt a  $3.9984 \pm 0.3901$  cSt.
  
5. El proceso de sedimentación fue capaz de reducir la turbidez de la cerveza producida de  $784.6 \pm 14.1174$  NTU a  $187.6 \pm 7.0569$  NTU, representando una reducción del 76%; sin embargo, la centrifugación de la cerveza fue el proceso de remoción de sólidos suspendidos y reducción de turbidez más eficaz, resultando en un 89% de reducción al cambiar la medición del parámetro de  $784.6 \pm 14.1174$  NTU a  $84.08 \pm 9.0770$  NTU

## X. RECOMENDACIONES

1. Determinar la cantidad de almidón presente en la malta tipo pilsen marca Cargill, con el fin de establecer la cantidad de azúcares fermentables y la capacidad de producción de alcohol de dicha materia prima en el proceso de fermentación.
2. Implementar un sistema de molienda que minimice la producción de polvos finos y estos no se vean presentes como sólidos suspendidos en el producto final, además de potenciar el aprovechamiento de los azúcares fermentables presentes en los granos.
3. Producir lotes de cerveza tipo lager variando únicamente la cantidad de cloruro de calcio añadido al agua al momento de acondicionarla, definiendo como parámetros de medición y evaluación las propiedades organolépticas de la cerveza y la capacidad de sedimentación de los sólidos suspendidos, ya que ambos aspectos son los afectados al agregar dicha sal al agua.
4. Ya que se demostró que la filtración centrífuga es el método de remoción de sólidos más efectivo, evaluar la implementación de un sistema de filtración centrífugo continuo que permita reducir aún más los parámetros de turbidez de la cerveza obtenida.
5. Evaluar y determinar si la generación de espuma en el proceso de filtración afecta de manera significativa la turbidez del producto final. En el caso de que la espuma afecte de manera negativa, evaluar la implementación de un aditivo orgánico e injerible que permita reducir la espuma sin que sea necesaria la remoción posterior de éste.

## XI. BIBLIOGRAFÍA

- BJCP. (2018). *Programa de certificación para juzgar cervezas* (3 ed.). USA.
- Carr, R. (1969). *Properties of Solids*. Chemical Engineering Deskbook Issue.
- Carrizo, V. (2013). *El lúpulo: un ingrediente escencia para la elaboración de la cerveza*. Castilla: Sociedad Anónima Española del Fomento del Lúpulo.
- Cerveceros de México. (2017). *¿Cuál es la temperatura perfecta para servir la cerveza?* México D.F.: Cámara de la Cerveza y la Malta.
- Comisión Guatemalteca de Normas. (2013). *COGUANOR NTG 29001 - Agua para consumo humano (agua potable)*. Guatemala: Ministerio de Economía.
- Conway, J. (15 de Agosto de 2019). *Market value of beer worldwide in 2027, by country (in million U.S. dollars)\**. Obtenido de Statista:  
<https://www.statista.com/statistics/1038974/global-market-value-of-beer-by-country/>
- Coulson, J., & Richardson, J. (1998). *Chemical Engineering: Particle Technology and Separation Processes* (4 ed.). Inglaterra: The Bath Press.
- Darcy, H. (1856). *Les fontaines publiques de la ville de Dijon*. Dalmont.
- De Loma, E., Friend, O., & Rodríguez, D. (1999). *Industria de la cerveza: Guía para la aplicación del sistema de análisis de riesgos y control de puntos críticos*. Costa Rica: IICA.
- FEUM. (1 de 8 de 2016). Obtenido de Densidad aparente y densidad compactada de polvos:  
<https://www.farmacopea.org.mx/Repositorio/Documentos/258.pdf>
- Gálvez, L., & Roselló, S. (2000). *Manual de los derivados de la caña de azúcar*. Habana: Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar.
- Hernández, A. (2002). *Microbiología Industrial*. Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2007). *Turbiedad por Nefelometría en el Equipo Turbiquant 3000T*. Colombia: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

- Kerby, C., & Vriesekoop, F. (2017). *An overview of the utilization of brewery by-products as generated by british craft breweries* (1 ed.). Londres: Newport: Multidisciplinary Digital Publication Institute.
- Mártin, I., & Salcedo, R. (2011). «Tema 5. Operaciones separación sólido-fluido». *Mecánica de Fluidos*. Alicante, España: Universidad de Alicante.
- McCabe, W., Smith, J., & Harriot, P. (2007). *Operaciones Unitarias de Ingeniería Química* (7 ed.). México: McGraw-Hill.
- Ospina, J. (2001). *Características físico-mecánicas y análisis de calidad de granos*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Pérez, L. (2005). *Teoría de la sedimentación*. Buenos Aires: Instituto de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.
- Rabin, D. (2013). *The Dictionary of Beer and Brewing* (2 ed.). New York: Routledge.
- Recinos Berganza, R. A., Vilaró Letona, J. A., Urruela Morales, J. M., Cruz Pontaza, J. A., Álvarez Lemus, O. A., Zaghi Lara, M. M., & Orr Batres, W. A. (2019). *Construcción de una planta piloto para producción de cerveza en el Laboratorio de Operaciones Unitarias*. Guatemala.
- Rodríguez, H. (2003). *Determinación de Parámetros Fisicoquímicos para la Caracterización de Cerveza Tipo Lager Elaborada por Compañía Cervecería Kuntsmann S.A.* Valdivia, Chile: Universidad Austral de Chile.
- Ros, J. (1980). *Estabilidad coloidal de la cerveza*. Pamplona, España: Laboratorio Industrial de Bioquímica.
- Salamanca, A., & Sadeghian, S. (2005). La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetalera colombiana. *Cenicafé*, 381-397.
- Siebert, K., & Carrasco, A. (1996). *Formation of Protein-Polyphenol Haze in Beverages*. *Journal Agricultural Food Chemistry*.
- Trade Map. (Septiembre de 2020). *Exports of beer from Latin America and the Caribbean from 2016 to 2019*. Obtenido de Statista: <https://www.statista.com/statistics/1170137/latin-america-malt-beer-exports-value/>
- Universidad Nacional Autónoma de México. (2000). *Procesos de separación*. México D.F.: Facultad de Química.

## XII. ANEXOS

### A. DATOS ORIGINALES

Tabla 12. Volumen aparente y compactado de malta para cálculo de densidades

Corrida	Peso de la muestra (g)	Volumen aparente (mL)	Volumen compactado (mL)
	( $\pm 0.0001$ g)	( $\pm 0.5$ mL)	( $\pm 0.5$ mL)
1	20	44	42
2	20	46	41
3	20	48	43
4	20	46	41
5	20	48	43
Promedio		46.4000	42.0000
Desviación estándar		1.6733	1.0000

Tabla 13. Radio y altura de pilas para determinar ángulo de reposo de la malta

Corrida	Altura	Radio
	( $\pm 0.001$ cm)	( $\pm 0.001$ cm)
1	4.61	2.13
2	4.53	2.05
3	4.43	2.03
4	4.48	2.00
5	4.51	2.11
Promedio		2.0640
Desviación estándar		0.0546

*\*Para la determinación de las dimensiones se utilizaron 20 gramos de muestra*

Tabla 14. Radio y altura de superficie para determinar ángulo de deslizamiento de la malta

<b>Corrida</b>	<b>Altura (±0.001 cm)</b>	<b>Radio (±0.001 cm)</b>
1	3.66	20.60
2	3.61	20.60
3	3.66	20.60
4	3.63	20.60
5	3.65	20.60
Promedio	20.6000	3.6420
Desviación estándar	0.0000	0.0217

*\*Para la determinación de las dimensiones se utilizaron 20 gramos de muestra*

Tabla 15. Humedad relativa de malta

<b>Corrida</b>	<b>Peso de inicio (g)</b>	<b>Peso en seco (g)</b>	<b>Humedad (g)</b>	<b>Humedad (±0.01 % m/m)</b>
1	1.999	1.893	0.106	5.15
2	2.035	1.931	0.104	5.21
3	1.996	1.9	0.096	4.81
4	1.995	1.891	0.104	5.11
5	2	1.897	0.103	5.30
Promedio	2.0050	1.9024	0.1026	5.1160
Desviación estándar	0.0169	0.0164	0.0038	0.1854

*\*Para la determinación de la humedad se utilizó una balanza de humedad marca Ohaus modelo MB120.*

*\*\*La metodología utilizada por la balanza constó de una medición de peso cada 60 segundos hasta que la muestra no representara un cambio menor a 1mg, llevando el proceso a 105°C.*

Tabla 16. Tamizaje de malta utilizada para la producción

Tamiz	Corrida 1		Corrida 2		Corrida 3		Porcentaje promedio	Desviación estándar (g)
	Masa (g) ( $\pm 0.1$ g)	Porcentaje	Masa (g) ( $\pm 0.1$ g)	Porcentaje	Masa (g) ( $\pm 0.1$ g)	Porcentaje		
20	283.2	94.40%	279.4	93.13%	281.7	93.90%	93.81%	1.91
30	1.2	0.40%	0.5	0.17%	0.9	0.30%	0.29%	0.35
45	1.1	0.37%	1.2	0.40%	0.8	0.27%	0.34%	0.21
60	1.6	0.53%	1.8	0.60%	1.3	0.43%	0.52%	0.25
80	1.7	0.57%	3.1	1.03%	2.8	0.93%	0.84%	0.74
100	3.6	1.20%	5.3	1.77%	4.7	1.57%	1.51%	0.86
Plato	7.6	2.53%	8.7	2.90%	7.8	2.60%	2.68%	0.59
Total	300	100.00%	300	100.00%	300	100.00%	100.00%	

Tabla 17. Mediciones de turbidez en pruebas de sedimentación

<b>Corrida</b>	<b>Inicial (NTU)</b>	<b>2 días de sedimentado (NTU)</b>	<b>4 días de sedimentado (NTU)</b>
1	768 ± 15.3800	202 ± 4.0600	178 ± 3.5800
2	794 ± 15.9000	212 ± 4.2600	189 ± 3.8000
3	803 ± 16.0800	192 ± 3.8600	193 ± 3.8800
4	775 ± 15.5200	180 ± 3.6200	183 ± 3.6800
5	783 ± 15.6800	206 ± 4.1400	195 ± 3.9200
Promedio	784.6	198.4	187.6
Desviación estándar	14.1174	12.6016	7.0569

Tabla 18. Mediciones de densidad en pruebas de sedimentación

<b>Corrida</b>	<b>Inicial (g/ml)</b>	<b>2 días de sedimentado (g/ml)</b>	<b>4 días de sedimentado (g/ml)</b>
1	1.008 ± 0.00504	1.013 ± 0.005065	1.009 ± 0.005045
2	1.004 ± 0.00502	1.012 ± 0.00506	1.004 ± 0.00502
3	1.007 ± 0.00504	1.009 ± 0.005045	1.008 ± 0.00504
4	1.008 ± 0.00504	1.01 ± 0.00505	1.009 ± 0.005045
5	1.006 ± 0.00503	1.013 ± 0.005065	1.01 ± 0.00505
Promedio	1.0066	1.0114	1.008
Desviación estándar	0.0017	0.0018	0.0023

Tabla 19. Mediciones de tiempo para determinación de viscosidad en sedimentación

<b>Corrida</b>	<b>Inicial (s)</b>	<b>2 días de sedimentado (s)</b>	<b>4 días de sedimentado (s)</b>
1	28.14 ± 0.1	26 ± 0.1	25.89 ± 0.1
2	27.96 ± 0.1	25.78 ± 0.1	25.83 ± 0.1
3	27.77 ± 0.1	25.82 ± 0.1	25.67 ± 0.1
4	27.7 ± 0.1	25.76 ± 0.1	25.91 ± 0.1
5	27.57 ± 0.1	26.03 ± 0.1	25.74 ± 0.1
Promedio	27.8280	25.8780	25.8080
Desviación estándar	0.2242	0.1274	0.1016

Tabla 20. Mediciones de turbidez en pruebas de centrifugación

<b>Corrida</b>	<b>Inicial (NTU)</b>	<b>Centrifugado (NTU)</b>
1	768 ± 15.3800	96.6 ± 1.9520
2	794 ± 15.9000	90.9 ± 1.8380
3	803 ± 16.0800	77.7 ± 1.5740
4	775 ± 15.5200	78.5 ± 1.5900
5	783 ± 15.6800	76.7 ± 1.5540
Promedio	784.6	84.08
Desviación estándar	14.1174	9.0770

Tabla 21. Mediciones de densidad en pruebas de centrifugación

<b>Corrida</b>	<b>Inicial (g/ml)</b>	<b>Centrifugado (g/ml)</b>
1	1.008 ± 0.00504	1.002 ± 0.00501
2	1.004 ± 0.00502	1.009 ± 0.00505
3	1.007 ± 0.00504	1 ± 0.00500
4	1.008 ± 0.00504	1.008 ± 0.00504
5	1.006 ± 0.00503	1.005 ± 0.00503
Promedio	1.0066	1.0048
Desviación estándar	0.0017	0.0038

Tabla 22. Mediciones de tiempo para determinación de viscosidad en pruebas de centrifugación

<b>Corrida</b>	<b>Inicial (s)</b>	<b>Centrifugado (s)</b>
1	28.14 ± 0.1	25.78 ± 0.1
2	27.96 ± 0.1	26.15 ± 0.1
3	27.77 ± 0.1	25.85 ± 0.1
4	27.7 ± 0.1	25.98 ± 0.1
5	27.57 ± 0.1	26.0 ± 0.1
Promedio	27.8280	25.9520
Desviación estándar	0.2242	0.1434

Tabla 23. Mediciones de turbidez en pruebas de filtración

<b>Corrida</b>	<b>Inicial (NTU)</b>	<b>Filtrado (NTU)</b>
1	768 ± 15.3800	476 ± 9.5400
2	794 ± 15.9000	484 ± 9.7000
3	803 ± 16.0800	512 ± 10.2600
4	775 ± 15.5200	512 ± 10.2600
5	783 ± 15.6800	488 ± 9.7800
Promedio	784.6	494.4
Desviación estándar	14.1174	16.6373

Tabla 24. Mediciones de densidad en pruebas de filtración

<b>Corrida</b>	<b>Inicial (g/ml)</b>	<b>Filtrado (g/ml)</b>
1	1.008 ± 0.00504	0.995 ± 0.0498
2	1.004 ± 0.00502	1.002 ± 0.0501
3	1.007 ± 0.00504	1.001 ± 0.0501
4	1.008 ± 0.00504	0.999 ± 0.0500
5	1.006 ± 0.00503	1.003 ± 0.0502
Promedio	1.0066	1
Desviación estándar	0.0017	0.0032

Tabla 25. Mediciones de tiempo para determinación de viscosidad en filtración

<b>Corrida</b>	<b>Inicial (s)</b>	<b>Filtrado (s)</b>
1	28.14 ± 0.1	26.4 ± 0.1
2	27.96 ± 0.1	26.84 ± 0.1
3	27.77 ± 0.1	26.63 ± 0.1
4	27.7 ± 0.1	26.48 ± 0.1
5	27.57 ± 0.1	26.57 ± 0.1
Promedio	27.8280	26.5840
Desviación estándar	0.2242	0.1677

Tabla 26. Comparación de turbidez de cerveza producida con cervezas en el mercado

<b>Cerveza analizada</b>	<b>Turbidez (NTU)</b>
Cerveza producida	494.40 ± 9.9080
Marca comercial 1	193.67 ± 3.8934
Marca comercial 2	211.15 ± 4.2430
Marca comercial 3	203.82 ± 4.0964

## B. DATOS CALCULADOS

Tabla 27. Densidad aparente y compactada

<b>Corrida</b>	<b>Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidad compactada (g/cm<sup>3</sup>)</b>
1	0.4545	0.4762
2	0.4348	0.4878
3	0.4167	0.4651
4	0.4348	0.4878
5	0.4167	0.4651
Promedio	0.4315	0.4764
Desviación estándar	0.0158	0.0113

Tabla 28. Ángulo de reposo y ángulo de deslizamiento de malta tipo pilsen

<b>Corrida</b>	<b>Ángulo de reposo</b>	<b>Ángulo de deslizamiento</b>
1	24.80	10.07
2	24.35	9.94
3	24.62	10.07
4	24.06	9.99
5	25.07	10.05
Promedio	24.5793	10.0261
Desviación estándar	0.3933	0.0585

Tabla 29. Determinación de viscosidad con relación al tiempo

Corrida	Inicial	2 días de sedimentado	4 días de sedimentado	Centrifugación	Filtración
1	7.5304 ± 0.0378	2.6246 ± 0.0375	2.3624 ± 0.0337	2.0991 ± 0.0115	3.5693 ± 0.0191
2	7.1311 ± 0.0361	2.0991 ± 0.0300	2.2189 ± 0.0317	2.9805 ± 0.0161	4.5931 ± 0.0242
3	6.7070 ± 0.0342	2.1950 ± 0.0314	1.8347 ± 0.0262	2.2668 ± 0.0124	4.1064 ± 0.0218
4	6.5502 ± 0.0334	2.0511 ± 0.03293	2.4101 ± 0.0344	2.5770 ± 0.0140	3.3.7567 ± 0.0201
5	6.2579 ± 0.0321	2.6959 ± 0.0385	2.0031 ± 0.0286	2.6246 ± 0.0143	3.9667 ± 0.0211
Promedio	6.8353	2.3331	2.1658	2.5096	3.9984
Desviación estándar	0.5005	0.3041	0.2436	0.3417	0.3901

\*Para el dimensionamiento se utilizó la cantidad de malta necesaria para la producción de un lote de cerveza (8.1647 kg de malta pilsen)

### C. CÁLCULOS DE MUESTRA

#### Cálculo 1: Determinación de concentración al añadir sales

Partiendo de los gramos de sales agregados a los 37.8 litros de agua que se utilizarían para la producción de cerveza, se determinó la concentración final con la que contaría el agua:

$$\begin{aligned}
 & \text{Concentración final de Cloruros} \\
 &= 1.0000g \text{ CaCl}_2 \left( \frac{1 \text{ mol CaCl}_2}{110.986 \text{ g CaCl}_2} \right) * \left( \frac{2 \text{ mol Cl}}{1 \text{ mol CaCl}_2} \right) * \left( \frac{35.453 \text{ g Cl}}{1 \text{ mol Cl}} \right) \\
 & * \left( \frac{1000 \text{ mg Cl}}{1 \text{ g Cl}} \right) * \left( \frac{1}{37.8 \text{ L}} \right) + 13.93 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ Cl} \\
 &= 30.8314 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ Cl en agua de producción}
 \end{aligned}$$

Se realizó el mismo cálculo para la determinación de la concentración de calcio en el agua utilizada.

**Cálculo 2:** Viscosidad cinemática de la cerveza

La determinación de la viscosidad se realizó empleando un viscosímetro de copa número 2, marca EZ Zahn. Para dicho cálculo se requiere el tiempo, en segundos, que tarda el fluido a temperatura ambiente en vaciarse por el agujero ubicado en la parte inferior:

**Ecuación 14:**

$$\text{Viscosidad cinemática (cSt)} = 1.24T - \frac{770}{T}$$

Donde T se refiere al tiempo en el que la copa 2 del viscosímetro tarda en vaciarse. A continuación, se representa el cálculo de la corrida 1 para la muestra inicial sin proceso previo de filtración:

$$v = 1.24(28.14s) - \frac{770}{28.14s} = 7.5304 \frac{cSt}{s}$$

El mismo cálculo se realizó para todas las pruebas de viscosidad iniciales, posterior a sedimentación, centrifugación y filtración.

**Cálculo 3:** Porcentaje másico retenido en pruebas de tamizaje

El porcentaje másico se obtuvo al pesar cada uno de los tamices previo al tamizaje y posterior al tamizaje. La diferencia de pesos representa la cantidad de malta retenida en los tamices. Se comparó con la cantidad de masa ingresada (300 gramos) para obtener el porcentaje de retención mediante la siguiente expresión:

$$\text{Porcentaje de masa retenida en tamiz No. 20} = \frac{283.2 g}{300 g} * 100\% = 94.40\%$$

El mismo cálculo se realizó para cada uno de los tamices en las tres corridas realizadas.

**Cálculo 4:** Densidad aparente

Partiendo de los gramos pesados en la balanza analítica y el volumen representativo en la probeta, se determinó la densidad aparente mediante la siguiente expresión:

$$\text{Densidad aparente} = \frac{20 g}{44 mL} = 0.4545 \frac{g}{cm^3}$$

Se realizó el mismo cálculo para cada una de las corridas realizadas.

**Cálculo 5:** Densidad compactada

Partiendo de los gramos pesados en la balanza analítica y el volumen representativo compactado en la probeta, se determinó la densidad compactada mediante la siguiente expresión:

$$\text{Densidad compactada} = \frac{20 \text{ g}}{42 \text{ mL}} = 0.4762 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Se realizó el mismo cálculo para cada una de las corridas realizadas.

**Cálculo 6:** Ángulo de reposo y deslizamiento

Partiendo de la altura y el radio de la pila formada al dejar caer el material sobre una superficie sólida y de la superficie al levantarla levemente, se obtuvieron los ángulos de reposo y deslizamiento mediante las siguientes expresiones:

$$\text{Ángulo de reposo} = \tan^{-1} \frac{2.13}{4.61} = 24.80^\circ$$

$$\text{Ángulo de deslizamiento} = \tan^{-1} \frac{3.66}{20.60} = 24.80^\circ$$

**Cálculo 7:** Volumen del cono

Tomando en cuenta la cantidad de material que se desea almacenar en la tolva y la densidad aparente, se determinó el volumen necesario de la tolva mediante la siguiente expresión:

$$\text{Volumen cono} = 11 \text{ kg} * \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} * \frac{1 \text{ cm}^3}{0.4762 \text{ g}} = 25,493.1298 \text{ cm}^3$$

**Cálculo 8:** Volumen de cono inferior

Para el cálculo del volumen del cono inferior se tomó en cuenta el ángulo de reposo y se asumió un diámetro de salida de material en la tolva de 10 centímetros. El cálculo se representa mediante las siguientes expresiones:

$$\text{Ángulo tolva} = 24.5793^\circ + 10^\circ = 34.5793^\circ$$

$$\begin{aligned}\text{Altura de tolva} &= \frac{\text{Diámetro salida}}{2} * \tan(\text{ángulo tolva}) \\ &= \left(\frac{10 \text{ cm}}{2}\right) * \tan 34.5793^\circ = 0.1089 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volumen de cono inferior} &= \frac{1}{3}\pi r^3 \tan(\text{ángulo tolva}) \\ &= \frac{1}{3}\pi(5 \text{ cm})^3 \tan(34.5793^\circ) = 2.8516 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

**Cálculo 9:** Dimensionamiento de la tolva

Para el dimensionamiento de la tolva se restaron los valores del cono inferior al cono calculado:

$$\text{Altura de la tolva} = 60.8640\text{cm} - 0.1089\text{cm} = 60.7551\text{cm}$$

$$\text{Volumen de la tolva} = 25,493.1298 \text{ cm}^3 - 2.8516 \text{ cm}^3 = 25,490.2182 \text{ cm}^3$$

## D. ANÁLISIS DE ERROR

**Cálculo 10:** Incertidumbre de turbidez medida con el turbidímetro Hanna modelo HI 98703.

**Ecuación 15:**

$$\text{Incertidumbre} = NTU * 2\% + 0.02$$

$$768 \text{ NTU} * 2\% + 0.02 = \pm 15.38 \text{ NTU}$$

Se realizó el mismo cálculo para cada una de las pruebas de turbidez realizadas.

**Cálculo 11:** Incertidumbre de la densidad medida.

Para determinar la propagación de error de la densidad de la cerveza, se utilizó la siguiente expresión:

$$S_y = y * \sqrt{\left(\frac{S_a}{a}\right)^2 + \left(\frac{S_b}{b}\right)^2}$$

Donde:

Sy = Incertidumbre de la densidad

y = Densidad

Sa = Incertidumbre del peso

a = Peso

Sb = Incertidumbre de volumen

b = Volumen

$$1.008 \frac{g}{mL} * \sqrt{\left(\frac{0.0001 \text{ g}}{101.3 \text{ g}}\right)^2 + \left(\frac{0.5 \text{ mL}}{100 \text{ mL}}\right)^2} = \pm 0.00504 \frac{g}{mL}$$

Se realizó el mismo cálculo para cada una de las corridas en la determinación de la densidad.

**Cálculo 12:** Incertidumbre de la viscosidad.

Para determinar la propagación de error de la viscosidad de la cerveza, se utilizó nuevamente la siguiente expresión:

$$S_y = y * \sqrt{\left(\frac{S_a}{a}\right)^2 + \left(\frac{S_b}{b}\right)^2}$$

Donde:

Sy	=	Incertidumbre de la viscosidad
y	=	Viscosidad
Sa	=	Incertidumbre del tiempo
a	=	Tiempo
Sb	=	Incertidumbre del tiempo
b	=	Tiempo

$$7.5304 \text{ cSt} * \sqrt{\left(\frac{0.1 \text{ s}}{28.14 \text{ s}}\right)^2 + \left(\frac{0.1 \text{ s}}{28.14 \text{ s}}\right)^2} = \pm 0.0378 \text{ cSt}$$

**Cálculo 13:** Desviación estándar de la turbidez de la cerveza

Para determinar la desviación estándar de la turbidez de la cerveza se empleó la siguiente expresión:

$$DE = \frac{\sum_i^n |\bar{x} - x_i|}{n}$$

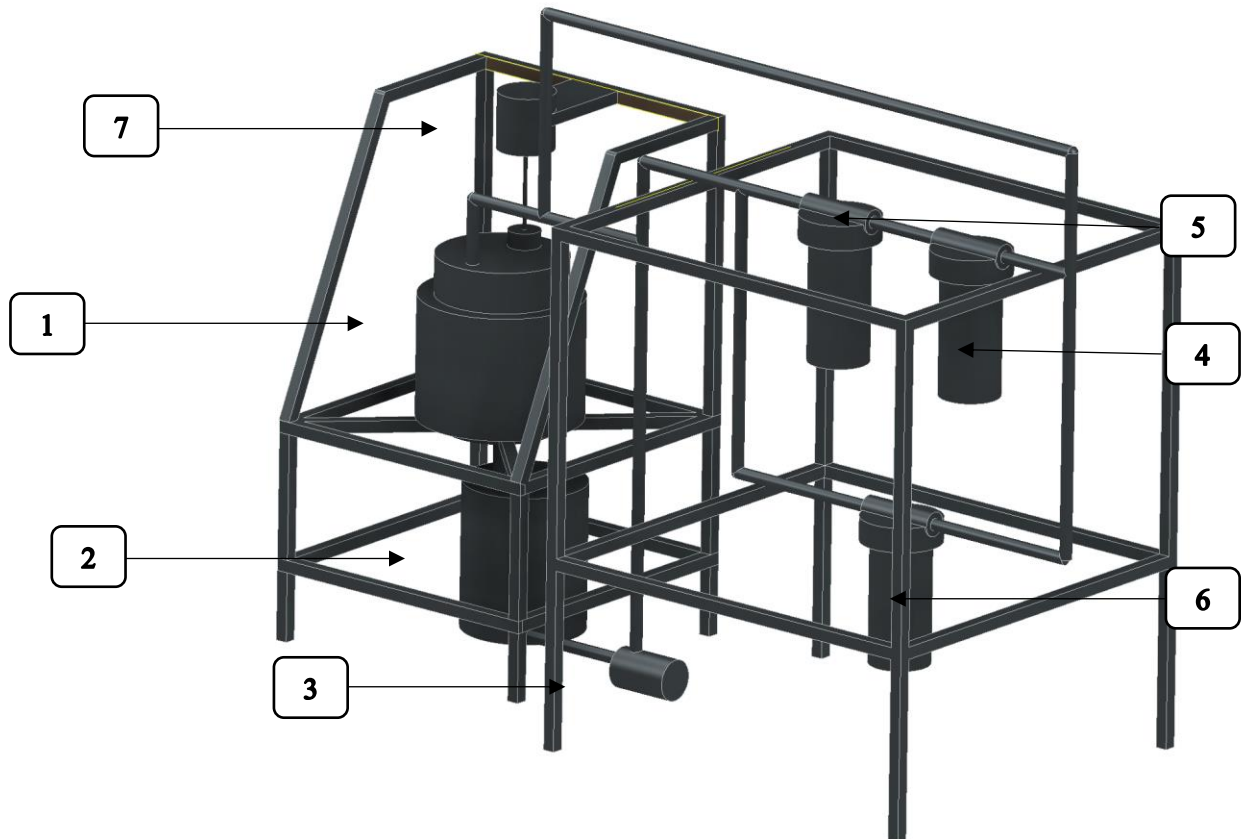
$$\frac{|784.6 - 768NTU| + |784.6 - 794NTU| + |784.6 - 803NTU| + |784.6 - 775NTU| + |784.6 - 783NTU|}{5}$$

$$= 14.1174 \text{ NTU}$$

Se realizó el mismo cálculo para cada una de las determinaciones de desviación estándar de los parámetros medidos.

## E. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS

Figura 17. Representación tridimensional de planta de producción de cerveza en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la UVG



1	Tanque de maceración/cocción/fermentación/maduración
2	Tanque receptor
3	Bomba centrífuga Aquastrong de 0.45 kW
4	Filtro de cartuchos marca PENTAIR modelo Big Blue de 1 micras
5	Filtro de cartuchos marca PENTAIR modelo Big Blue de 5 micras
6	Filtro de cartuchos marca PENTAIR modelo Big Blue de 5 micras
7	Agitador

Tabla 30. Especificaciones de filtro de elemento 1

<b>Marca</b>	<b>PENTAIR</b>
Modelo	PENTEK Big Blue
Código	150235
Tipo de base	Suspendida
Porosidad	5 micras
Largo de filtro	0.45 m
Diámetro de filtro	0.07 m
Largo de carcasa	0.54 m
Diámetro de carcasa	0.15 m
Presión operativa máxima	90 psi
Presión operativa mínima	40 psi
Caída de presión	15 psi
Temperatura operativa máxima	38 °C
Temperatura operativa mínima	4 °C
Diámetro de entrada	0.0381 m (1.5 in)
Diámetro de salida	0.0381 m (1.5 in)

Foto



Tabla 31. Especificaciones de filtro de elemento 2

<b>Marca</b>	<b>PENTAIR</b>
Modelo	PENTEK Big Blue
Código	150235
Tipo de base	Suspendida
Porosidad	1 micra
Largo de filtro	0.45 m
Diámetro de filtro	0.07 m
Largo de carcasa	0.54 m
Diámetro de carcasa	0.15 m
Presión operativa máxima	90 psi
Presión operativa mínima	40 psi
Caída de presión	15 psi
Temperatura operativa máxima	38 °C
Temperatura operativa mínima	4 °C
Diámetro de entrada	0.0381 m (1.5 in)
Diámetro de salida	0.0381 m (1.5 in)

Foto



Tabla 32. Especificaciones de bomba centrífuga

<b>Marca</b>	<b>Aquastrong</b>
Modelo	EJm61C
Flujo máximo	45 L/min
Flujo mínimo	5 L/min
Cabeza máxima	38 m
Succión máxima	9 m
Diámetro de carga	1 in
Diámetro de descarga	1 in
Grado de protección	F
Grado de aislamiento	IPX4
Material	Acero inoxidable
Temperatura ambiente máxima	+40 °C
Temperatura líquida máxima	+40 °C
Potencia	0.45 kW
Frecuencia	0.60 Hz
Voltaje	110
Capacitancia	25 micro faradios
Inductancia	250 volteos

Foto



Tabla 33. Especificaciones de tamiz vibratorio

<b>Marca</b>	<b>W.S. Tyler</b>
Modelo	RX – 29
Tipo	ROTAP
Serie	19183
Tamices	N° 20, N° 30, N° 45, N° 60, N° 80 y N° 100
Tiempo máximo	99 min
Tiempo mínimo	1 s
Voltaje	110
Capacidad	450 g

Foto



## F. REGISTRO GRÁFICO DE EXPERIMENTACIÓN

Figura 18. Turbidímetro Marca Hanna, Modelo HI 98703



Figura 19. Viscosímetro marca Ez Zahn



Figura 20. Centrifugadora por lotes



Figura 21. Tamizadora marca W.S. Tyler, Modelo RX-29



Figura 22. Filtro de cartuchos



Figura 23. Bomba centrífuga de 0.45 kW marca Aquastrong



Figura 24. Molino de rodillos



Figura 25. Planta de cerveza instalada



## G. ANÁLISIS DE MUESTRA DE AGUA UTILIZADA PARA PRODUCCIÓN DE CERVEZA



9ª. Avenida 3-08 zona 2 Colonia Alvarado, Mixco, Guatemala  
E-mail: informacion@ecoquimsa.com.gt  
Página Web: ecoquimsa.com  
PBX: (502) 2322 3600

### INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS

#### Datos del Cliente

Cliente: Sr. Julio Santa Cruz  
Dirección: 18 avenida 11-95, zona 15

#### Datos de la muestra

Lugar de muestreo:	Universidad del Valle de Guatemala	Muestra simple o compuesta:	Simple
Referencia cliente:	Garrafón	Responsable del muestreo:	CLIENTE
Fecha de monitoreo:	24 de marzo de 2021	Temperatura de almacenaje:	5 °C
Hora de monitoreo:	10:55	Recipiente utilizado:	Plástico
Tipo de muestra:	Agua para consumo humano	Método de preservación:	INS04-MUE
Código de muestra:	21-1110-1		
Lote:	21-1110		

#### Datos de Laboratorio

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio: 24 de marzo de 2021  
Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 11:50  
Fecha de informe: 30 de marzo de 2021

Análisis	Dimensional <sup>(1)</sup>	Límite de Detección	Resultados	LMA <sup>(2)</sup>	LMP <sup>(2)</sup>	Método de análisis <sup>(3)</sup>
Cloro Residual	mg/L - Cl <sub>2</sub>	0.05	< 0.05	0.5	1.0	Spectroquant® Merck 14801
Cloruros <sup>(4)</sup>	mg/L - Cl <sup>-</sup>	0.4	5.5	100	250	Spectroquant® Merck 14897
Color <sup>(4)</sup>	u Pt-Co	1	1	5.0	35.0	STM 2120 C
Conductividad	µS/cm @ 25°C	6	152	750	1,500	STM 2510 B
Nitratos	mg/L - NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.04	1.5	---	50.0	Spectroquant® Merck 14773
Nitritos <sup>(4)</sup>	mg/L - NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0.010	< 0.010	---	3.0	Spectroquant® Merck 14776
Olor	---	---	No rechazable	No rechazable	No rechazable	Organoléptico
pH	---	0.02	8.03	7.0 - 7.5	6.5 - 8.5	STM 4506-H <sup>+</sup> B
Sulfatos	mg/L - SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	3	< 3	100	250	Spectroquant® Merck 02537
Turbiedad	UNT	0.5	< 0.5	5.0	15.0	STM 2130 B

(1) mg/L = ppm; u Pt-Co = unidades Platino Cobalto; µS/cm = micro siemens por centímetro; Unt = unidades de turbiedad.

(2) LMA: Límite Máximo Aceptable; LMP: Límite Máximo Permisible (COGUANOR NTG 29 001).

(3) STM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23rd Edition 2017.

(4) Análisis acreditado COGUANOR NTG/ISO/IEC 17025:2017 según OGA-LE-051-13.

Los presentes resultados son válidos únicamente para la muestra tomada y recibida en la fecha indicada.  
El agua es apta para consumo humano si los resultados son menores que el LMP de la norma COGUANOR.  
Se prohíbe la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización de ECOQUIMSA.

Laboratorio ECOQUIMSA

Lic. Edgar del Pozo  
Químico  
Colegiado No. 4943



9ª. Avenida 3-08 zona 2 Colonia Alvarado, Mixco, Guatemala  
E-mail: informacion@ecoquimsa.com.gt  
Página Web: ecoquimsa.com  
PBX: (502) 2322 3600

## INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS

### Datos del Cliente

Cliente: Sr. Julio Santa Cruz  
Dirección: 18 avenida 11-95, zona 15

### Datos de la muestra

Lugar de muestreo:	Universidad del Valle de Guatemala	Muestra simple o compuesta:	Simple
Referencia cliente:	Garrafón	Responsable del muestreo:	CLIENTE
Fecha de monitoreo:	24 de marzo de 2021	Temperatura de almacenaje:	5 °C
Hora de monitoreo:	10:55	Recipiente utilizado:	Plástico
Tipo de muestra:	Agua para consumo humano	Método de preservación:	INS04-MUE
Código de muestra:	21-1110-1		
Lote:	21-1110		

### Datos de Laboratorio

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio: 24 de marzo de 2021  
Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 11:50  
Fecha de informe: 30 de marzo de 2021

Análisis	Dimensional <sup>(1)</sup>	Límite de Detección	Resultados	LMA <sup>(2)</sup>	LMP <sup>(2)</sup>	Método de análisis <sup>(3)</sup>
Calcio	mg/L - Ca	0.725	17.27	75	150	STM 3111 B
Hierro	mg/L - Fe	0.043	< 0.043	0.3	---	STM 3111 B
Magnesio	mg/L - Mg	0.048	1.18	50	100	STM 3111 B
Manganeso	mg/L - Mn	0.012	< 0.012	0.1	0.4	STM 3111 B
Dureza	mg/L - CaCO <sub>3</sub>	2.01	47.97	100	500	STM 2340 B

(1) mg/L = ppm.

(2) LMA: Límite Máximo Aceptable; LMP: Límite Máximo Permisible (COGUANOR NTG 29 001).

(3) STM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23rd Edition 2017.

### Los análisis de este informe son acreditados COGUANOR NTG/ISO/IEC 17025:2017 según OGA-LE-051-13

Los presentes resultados son válidos únicamente para la muestra tomada y recibida en la fecha indicada.

El agua es apta para consumo humano si los resultados son menores que el LMP de la norma COGUANOR.

Se prohíbe la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización de ECOQUIMSA

  
Laboratorio ECOQUIMSA  
Lic. Edgar del Pozo  
Químico  
Colegiado No. 4943

## INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS

### Datos del Cliente

Cliente: Sr. Julio Santa Cruz  
Dirección: 18 avenida 11-95, zona 15

### Datos de la muestra

Lugar de muestreo:	Universidad del Valle de Guatemala	Muestra simple o compuesta:	Simple
Referencia cliente:	Garrafón con cloruro de calcio	Responsable del muestreo:	CLIENTE
Fecha de monitoreo:	24 de marzo de 2021	Temperatura de almacenaje:	5 °C
Hora de monitoreo:	10:55	Recipiente utilizado:	Plástico
Tipo de muestra:	Agua para consumo humano	Método de preservación:	INS04-MUE
Código de muestra:	21-1110-2		
Lote:	21-1110		

### Datos de Laboratorio

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio: 24 de marzo de 2021  
Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 11:50  
Fecha de informe: 30 de marzo de 2021

Análisis	Dimensional <sup>(1)</sup>	Límite de Detección	Resultados	LMA <sup>(2)</sup>	LMP <sup>(2)</sup>	Método de análisis <sup>(3)</sup>
Cloro Residual	mg/L - Cl <sub>2</sub>	0.05	0.08	0.5	1.0	Spectroquant® Merck 14801
Cloruros <sup>(4)</sup>	mg/L - Cl <sup>-</sup>	0.4	22.8	100	250	Spectroquant® Merck 14897
Color <sup>(4)</sup>	u Pt-Co	1	3	5.0	35.0	STM 2120 C
Conductividad	µS/cm @ 25°C	6	198	750	1,500	STM 2510 B
Nitratos	mg/L - NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.04	1.3	---	50.0	Spectroquant® Merck 14773
Nitritos <sup>(4)</sup>	mg/L - NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0.010	< 0.010	---	3.0	Spectroquant® Merck 14776
Olor	---	---	No rechazable	No rechazable	No rechazable	Organoléptico
pH	---	0.02	7.86	7.0 - 7.5	6.5 - 8.5	STM 4500-H <sup>+</sup> B
Sulfatos	mg/L - SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	3	< 3	100	250	Spectroquant® Merck 02537
Turbiedad	UNT	0.5	< 0.5	5.0	15.0	STM 2130 B

(1) mg/L = ppm; u Pt-Co = unidades Platino Cobalto; µS/cm = micro siemens por centímetro; UNT = unidades de turbiedad.

(2) LMA: Límite Máximo Aceptable; LMP: Límite Máximo Permisible (COGUANOR NTG 29 001).

(3) STM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23rd Edition 2017.

(4) Análisis acreditado COGUANOR NTG/ISO/IEC 17025:2017 según OGA-LE-051-13.

Los presentes resultados son válidos únicamente para la muestra tomada y recibida en la fecha indicada.  
El agua es apta para consumo humano si los resultados son menores que el LMP de la norma COGUANOR.  
Se prohíbe la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización de ECOQUIMSA

Laboratorio ECOQUIMSA

Lic. Edgar del Pozo  
Químico  
Colegiado No. 4943

## INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS

### Datos del Cliente

Cliente: Sr. Julio Santa Cruz  
Dirección: 18 avenida 11-95, zona 15

### Datos de la muestra

Lugar de muestreo:	Universidad del Valle de Guatemala	Muestra simple o compuesta:	Simple
Referencia cliente:	Garrafón con cloruro de calcio	Responsable del muestreo:	CLIENTE
Fecha de monitoreo:	24 de marzo de 2021	Temperatura de almacenaje:	5 °C
Hora de monitoreo:	10:55	Recipiente utilizado:	Plástico
Tipo de muestra:	Agua para consumo humano	Método de preservación:	INS04-MUE
Código de muestra:	21-1110-2		
Lote:	21-1110		

### Datos de Laboratorio

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio: 24 de marzo de 2021  
Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 11:50  
Fecha de informe: 30 de marzo de 2021

Análisis	Dimensional <sup>(1)</sup>	Límite de Detección	Resultados	LMA <sup>(2)</sup>	LMP <sup>(2)</sup>	Método de análisis <sup>(3)</sup>
Calcio	mg/L - Ca	0.725	29.09	75	150	STM 3111 B
Hierro	mg/L - Fe	0.043	< 0.043	0.3	---	STM 3111 B
Magnesio	mg/L - Mg	0.048	1.20	50	100	STM 3111 B
Manganeso	mg/L - Mn	0.012	< 0.012	0.1	0.4	STM 3111 B
Dureza	mg/L - CaCO <sub>3</sub>	2.01	77.56	100	500	STM 2340 B

(1) mg/L = ppm.

(2) LMA: Límite Máximo Aceptable; LMP: Límite Máximo Permissible (COGUANOR NTG 29 001).

(3) STM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23rd Edition 2017.

**Los análisis de este informe son acreditados COGUANOR NTG/ISO/IEC 17025:2017 según OGA-LE-051-13**

Los presentes resultados son válidos únicamente para la muestra tomada y recibida en la fecha indicada.

El agua es apta para consumo humano si los resultados son menores que el LMP de la norma COGUANOR.

Se prohíbe la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización de ECOQUIMSA



Laboratorio ECOQUIMSA  
Lic. Edgar del Pozo  
Químico  
Colegiado No. 4943

Tabla 34. Especificaciones físicas, organolépticas y químicas de muestra de agua Salvavidas en Megaproyecto titulado “Construcción de una planta piloto para producción de cerveza en el Laboratorio de Operaciones Unitarias”

<b>Parámetro</b>	<b>Dimensional</b>	<b>Prueba 1</b>	<b>Prueba 2</b>	<b>Prueba 3</b>	<b>Promedio</b>	<b>Desviación</b>	<b>LMA</b>	<b>LMP</b>
Temperatura	°C	<b>24.3</b>	<b>24.60</b>	<b>24.80</b>	<b>24.57</b>	<b>0.252</b>	N/A	N/A
Potencial de hidrógeno ( <i>in situ</i> )	Unidades pH	<b>7.00</b>	<b>7.00</b>	<b>7.00</b>	<b>7.00</b>	<b>0.00</b>	7.0 – 7.5	6.5 – 8.5
Dureza total	mg/L	<b>4.24</b>	<b>3.81</b>	<b>3.62</b>	<b>3.89</b>	<b>0.318</b>	100	500
Conductividad eléctrica	us/cm	<b>650</b>	<b>691.00</b>	<b>688.00</b>	<b>676.33</b>	<b>22.85</b>	750	1500
Olor	Aceptable/Rechazable	<b>NR</b>	<b>NR</b>	<b>NR</b>	<b>NR</b>	<b>NR</b>	NR	NR
Color real	Pt/Co	<b>2.7</b>	<b>1.90</b>	<b>2.10</b>	<b>2.23</b>	<b>0.416</b>	5	35
Solidos Totales suspendidos	mg/L	<b>7.6</b>	<b>7.10</b>	<b>7.10</b>	<b>7.27</b>	<b>0.289</b>	500	1000
Turbiedad	UNT*	<b>3.2</b>	<b>3.20</b>	<b>3.40</b>	<b>3.27</b>	<b>0.115</b>	5	15
Calcio	mg/L	<b>0.03</b>	<b>0.04</b>	<b>0.03</b>	<b>0.03</b>	<b>0.006</b>	75	150
Cloro residual	mg/L	<b>0.05</b>	<b>0.03</b>	<b>0.05</b>	<b>0.04</b>	<b>0.012</b>	0.5	1
Cloruro	mg/L	<b>13.8</b>	<b>13.1</b>	<b>14.90</b>	<b>13.93</b>	<b>0.907</b>	100	250
Magnesio	mg/L	<b>4.21</b>	<b>3.7</b>	<b>3.59</b>	<b>3.83</b>	<b>0.331</b>	50	100
Nitratos	mg/L	<b>7.90</b>	<b>8.10</b>	<b>8.10</b>	<b>8.03</b>	<b>0.115</b>	---	50
Nitritos	mg/L	<b>0.42</b>	<b>0.42</b>	<b>0.43</b>	<b>0.42</b>	<b>0.006</b>	---	3
Sulfatos	mg/L	<b>3.00</b>	<b>3.00</b>	<b>3.00</b>	<b>3.00</b>	<b>0.00</b>	100	250
Coliformes fecales	NMP*/100mL	<b>ND</b>	<b>ND</b>	<b>ND</b>	<b>ND</b>	<b>ND</b>	<b>ND</b>	<b>ND</b>
Coliformes totales	NMP/100mL	<b>ND</b>	<b>ND</b>	<b>ND</b>	<b>ND</b>	<b>ND</b>	<b>ND</b>	<b>ND</b>
E. Coli	NMP/100mL	<b>ND</b>	<b>ND</b>	<b>ND</b>	<b>ND</b>	<b>ND</b>	<b>ND</b>	<b>ND</b>

H. NORMA COGUANOR NTG 29001

**NORMA  
TÉCNICA  
GUATEMALTECA**

**COGUANOR NTG  
29001**

**Agua para consumo humano (*agua potable*). Especificaciones.**



Edificio Centro Nacional de Metrología  
Calzada Atanasio Tzul 27-32, zona 12  
Teléfono: (502) 2476-6784 al 7  
[Info-coguanor@mineco.gob.gt](mailto:Info-coguanor@mineco.gob.gt)  
[www.mineco.gob.gt](http://www.mineco.gob.gt)

Referencia  
ICS: 13.060.20

**CONTENIDO**

Prólogo COGUANOR.....	3
1. OBJETO .....	4
2. CAMPO DE APLICACIÓN.....	4
3. NORMAS A CONSULTAR .....	4
4. DEFINICIONES .....	4
5. CARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICACIONES .....	6
5.1 Características físicas y organolépticas .....	6
5.2 Características químicas.....	7
6 CARACTERÍSTICAS BACTERIOLÓGICAS.....	10
6.1 Límites .....	10
7. ASPECTOS RADIOLÓGICOS.....	10
8. MÉTODOS DE ANÁLISIS .....	10
9. MUESTREO.....	11
10. CORRESPONDENCIA .....	11
BIBLIOGRAFÍA .....	12

CONTINÚA

### Prólogo COGUANOR

La Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) es el Organismo Nacional de Normalización, creada por el Decreto No. 1523 del Congreso de la República del 05 de mayo de 1962. Sus funciones están definidas en el marco de la Ley del Sistema Nacional de la Calidad, Decreto 78-2005 del Congreso de la República.

COGUANOR es una entidad adscrita al Ministerio de Economía, su principal misión es la de proporcionar soporte técnico a los sectores público y privado por medio de la actividad de normalización.

El proceso de normalización se realiza a través de Comités Técnicos de Normalización (CTN), lo que garantiza la participación de todos los sectores interesados.

El estudio de la presente norma *COGUANOR NTG 29001. Agua para consumo humano (agua potable). Especificaciones*, estuvo a cargo del Comité Técnico de Normalización de Metodologías Microbiológicas, habiendo participado los siguientes profesionales, a título personal o en representación de organizaciones y entidades relacionadas con el contenido de la norma:

#### INTEGRANTES DEL CTN METODOLOGÍAS MICROBIOLÓGICAS

Licda. Maricruz Álvarez Mury	Universidad del Valle de Guatemala (UVG)
Lic. Julio César Flores	Alimentos Kern's
Lic. Sergio Lickes	Alimentos Kern's
Lic. William Estrada	Instituto de Fomento Municipal (INFOM)
Licda. Lilian de Batres	Programa Integral de Protección Agrícola y Ambiental (PIPAA)
Licda. Juventina González	GUATELABS
Licda. Patricia Maldonado de García	Independiente
Licda. Karin Herrera	Depto. Microbiología/Fac. CCQQ y Farmacia/USAC
Lic. Víctor Jiménez	Laboratorio Nacional de Salud (LNS)
Ing. Héctor Gudiel	Empresa Municipal de Agua (EMPAGUA)
Licda. Teresita de Miranda	Independiente
Licda. Xiomara Juárez	UBL. S.A.
Licda. Claudia Alvarado	3M
Ing. Nelson Mendoza	COGUANOR

C O N T I N Ú A

**Agua para consumo humano. Especificaciones.****1. OBJETO**

Esta norma establece los valores de las características que definen la calidad del agua apta para consumo humano.

**2. CAMPO DE APLICACIÓN**

Esta norma se aplica a toda agua para consumo humano, destinada para alimentación y uso doméstico, que provenga de fuentes como: pozos, nacimientos, ríos, etc. El agua podrá estar ubicada en una red de distribución, en reservorios o depósitos.

Se excluyen a las aguas purificadas envasadas y aguas carbonatadas, las cuales son cubiertas por normas específicas.

**3. NORMAS A CONSULTAR**

COGUANOR NGO 4010. Sistema Internacional de Unidades (SI).

COGUANOR NGO 29 018 h21. Agua. Prueba de sustrato enzimático para determinación de coliformes totales y *Escherichia coli*.

Mientras las normas COGUANOR relacionadas no sean actualizadas, se aplicarán los métodos normalizados establecidos en *Standard Methods for the Analysis of Water and Wastewater*, APHA, en su última edición.

Además de los métodos indicados, se podrán emplear los establecidos en la versión mas reciente de las Normas ISO 5667 1 a la 19, ISO 9695 (beta total) e ISO 9696 (alfa total).

Measurement of radionuclides in food and the environment. A Guidebook. Technical Report. Series No. 295. International Atomic Energy, Vienna, 1989.

**4. DEFINICIONES****4.1****agua apta para consumo humano****agua potable**

es aquella que por sus características organolépticas, físicas, químicas y bacteriológicas, no representa un riesgo para la salud del consumidor y cumple con lo establecido en la presente norma.

**4.2****características físicas y organolépticas del agua**

C O N T I N Ú A

son aquellas que se detectan sensorialmente o por medios analíticos de laboratorio.

#### 4.3

##### **características químicas del agua**

son aquellas debidas a elementos o compuestos químicos orgánicos e inorgánicos,

#### 4.4

##### **características microbiológicas del agua**

son aquellas que se originan por presencia de microorganismos que determinan su calidad.

#### 4.5

##### **cloro residual libre**

parámetro que indica la concentración de cloro disuelto y químicamente disponible después de la cloración.

#### 4.6

##### **Límite Máximo Aceptable (LMA)**

es el valor de la concentración de cualquier característica del agua, arriba de la cual estas características son percibidas por los consumidores desde el punto de vista sensorial pero sin que implique un daño a la salud del consumidor.

#### 4.7

##### **Límite Máximo Permisible (LMP)**

es el valor de la concentración de cualquier característica del agua, arriba de la cual el agua no es adecuada para consumo humano.

#### 4.8

##### **programa de análisis mínimo**

los análisis en esta etapa de control son: a. Análisis microbiológico: coliformes totales y *Escherichia coli*; b. Análisis fisicoquímico: color, turbiedad, potencial de hidrogeno (pH), conductividad, cloro residual libre, cloruros, dureza total, sulfatos, calcio, magnesio, nitratos, nitritos, hierro total y manganeso total.<sup>1</sup>

#### 4.9

##### **programa de análisis complementario<sup>2</sup>**

comprende la ejecución del programa de análisis mínimo, ampliado con: aluminio, cobre, arsénico, cadmio, cianuro, cromo total, mercurio total, plomo, selenio, cinc, sólidos totales disueltos y sustancias orgánicas (plaguicidas) que afecten la salud del consumidor.

Cuando se requiera un análisis específico, la norma contempla en los cuadros 1 al 8 aquellos parámetros que no han sido enunciados en los numerales 4.8 y 4.9 con sus respectivos Límites Máximos Permisibles (LMP)

<sup>1</sup> Para aguas sin tratamiento la autoridad competente será el ente encargado de indicar los parámetros mínimos a ser requeridos.

<sup>2</sup> Este análisis debe hacerse por lo menos una vez previo a autorizar la distribución o consumo del agua o cuando sea requerido por la autoridad competente.

C O N T I N U A

**4.10****redes de distribución**

conjunto de tuberías, accesorios y dispositivos que permiten la entrega del agua a los consumidores de forma constante, con presión apropiada y en cantidad suficiente para satisfacer sus necesidades. Se consideran parte de una red de distribución: camiones cisterna y depósitos de cualquier naturaleza.

**4.11****sustancia plaguicida**

término genérico que incluye a compuestos que forman parte de los siguientes grupos: insecticidas, herbicidas, fungicidas, acaricidas, nematocidas, alguicidas entre otros, productos derivados y sus metabolitos, productos de degradación y de reacción de los mismos.

**4.12****radionúclidos****radioisótopo**

Núcleo atómico que se caracteriza por emitir radiaciones ionizantes para transformarse en otro, que a su vez puede o no emitir radiaciones, hasta llegar a alcanzar la estabilidad nuclear, transformándose al final en un núclido estable.

**5. CARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICACIONES****5.1 Características físicas y organolépticas**

**Cuadro 1. Características físicas y organolépticas que debe tener el agua para consumo humano**

Características	LMA	LMP
Color	5,0 u	35,0 u <sup>(a)</sup>
Olor	No rechazable	No rechazable
Turbiedad	5,0 UNT	15,0 UNT <sup>(b)</sup>
Conductividad eléctrica	750 $\mu$ S/cm	1500 $\mu$ S/cm <sup>(d)</sup>
Potencial de hidrógeno	7,0-7,5	6,5-8,5 <sup>(c) (d)</sup>
Sólidos totales disueltos	500,0 mg/L	1000,0 mg/L

(a) Unidades de color en la escala de platino-cobalto  
 (b) Unidades nefelométricas de turbiedad (UNT).  
 (c) En unidades de pH  
 (d) Límites establecidos a una temperatura de 25 °C.

C O N T I N U A

## 5.2 Características químicas

**Cuadro 2. Características químicas que debe tener el agua para consumo humano**

Características	LMA (mg/L)	LMP (mg/L)
Cloro residual libre <sup>(a)</sup>	0,5	1,0
Cloruro (Cl <sup>-</sup> )	100,0	250,0
Dureza Total (CaCO <sub>3</sub> )	100,0	500,0
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	100,0	250,0
Aluminio (Al)	0,050	0,100
Calcio (Ca)	75,0	150,0
Cinc (Zn)	3,0	70,0
Cobre (Cu)	0,050	1,500
Magnesio (Mg)	50,0	100,0
Manganeso total (Mn)	0,1	0,4
Hierro total (Fe) <sup>(b)</sup>	0,3	-----

a) El Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social será el ente encargado de indicar los límites mínimos y máximos de cloro residual libre según sea necesario o en caso de emergencia.  
 b) No se incluye el LMP porque la OMS establece que no es un riesgo para la salud del consumidor a las concentraciones normales en el agua para consumo humano, sin embargo el gusto y apariencia del agua pueden verse afectados a concentraciones superiores al LMA.

**Cuadro 3. Relación de las sustancias inorgánicas cuya presencia en el agua es significativa para la salud**

Substancia	LMP (mg/L)
Arsénico (As)	0,010
Bario (Ba)	0,70
Boro (B)	0,30
Cadmio (Cd)	0,003
Cianuro (CN <sup>-</sup> )	0,070
Cromo total (Cr)	0,050
Mercurio total (Hg)	0,001
Plomo (Pb)	0,010
Selenio (Se)	0,010
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	50,0
Nitrito (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	3,0

C O N T I N U A

**Cuadro 4. Sustancias plaguicidas cuya presencia en el agua es significativa para la salud**

Grupo	LMP (µg/L)
<b><u>Compuestos organoclorados<sup>(a)</sup></u></b>	
Aldrín y Dieldrín	0,03
Clordano	0,20
Clorotolurón	30,0
DDT y sus metabolitos	1,00
Endrín	0,60
Lindano	2,00
Metoxicloro	20,0
Pentaclorofenol	9,00
<b><u>Acidos fenoxi</u></b>	
2,4-D	30,0
2,4-DB	90,0
2,4,5-T	9,00
Mecoprop	10,0
Dicloroprop	100,0
MCPA	2,00
<b><u>Fumigantes</u></b>	
1,2-Dicloropropano	40,0
1,3-Dicloropropeno	20,0
DBCP (1,2-Dibromo-3-cloropropano)	1,00
<b><u>Triazinas</u></b>	
Atrazina	2,00
Simazina	2,00
<b><u>Acetanilidas</u></b>	
Alacloro	20,0
Metolacloro	10,0
<b><u>Carbamatos</u></b>	
Aldicarb y sus metabolitos	10,0
Carbofurán	7,00
Isoproturón	9,00
Molinato	6,00
Pendimetalina	20,0
<b><u>Amidas</u></b>	
Di (etil-hexil) ftalato	8,00
Trifluralin	20,0
<b><u>Organofosforados</u></b>	
Carbofurán	7,00
Clorpirifós	30,0
Dimetoato	6,00

<sup>(a)</sup> Aunque algunas de estas sustancias ya no son permitidas se asignan los valores límite, debido a su persistencia ambiental.

C O N T I N Ú A

**Cuadro 5. Sustancias orgánicas cuya presencia en el agua es significativa para la salud**

Compuesto	LMP (µg/L)
Acido edético (EDTA) <sup>(4)</sup>	600,0
Acido nitrilo triacético	200,0
Benceno	10,0 <sup>(1)</sup>
Cloruro de vinilo	0,3 <sup>(1)</sup>
o-diclorobenceno	1000,0 <sup>(2)</sup>
p-diclorobenceno	300,0 <sup>(2)</sup>
1,2-dicloroetano	30,0 <sup>(1)</sup>
1,1-dicloroetano	30,0
1,2-dicloroetano	50,0
cis-1,2-dicloroetileno	50,0
trans-1,2-dicloroetileno	50,0
Diclorometano	20,0
1,2-dicloropropano	40,0 <sup>(3)</sup>
Di(2-etilhexil)ftalato	8,0
1,4-dioxano	50,0 <sup>(1)</sup>
Estireno	20,0 <sup>(2)</sup>
Etilbenceno	300,0 <sup>(2)</sup>
Hexaclorobutadieno	0,6
Pentaclorofenol	9,0 <sup>(1)(3)</sup>
Tetracloruro de carbono	4,0
Tetracloroetano	40,0
Tolueno	700,0 <sup>(2)</sup>
Tricloroetano	20,0 <sup>(3)</sup>
Xileno	500,0 <sup>(2)</sup>

(1) El valor de referencia de las sustancias que se consideran cancerígenas es la concentración en el agua asociada con un límite de riesgo adicional de cáncer durante toda la vida de  $10^{-6}$  (un caso adicional de cáncer por cada 100,000 personas que ingieren agua de bebida con una concentración de la sustancia igual al valor de referencia durante 70 años). Las concentraciones asociadas con límites superiores estimados de riesgo adicional de cáncer de  $10^{-4}$  y  $10^{-5}$  pueden calcularse multiplicando y dividiendo, respectivamente, el valor de referencia por 10.

(2) Concentraciones de la sustancia iguales o superiores al valor de referencia basado en criterios de salud pueden afectar la apariencia, gusto u olor del agua, dando lugar a reclamos por parte de los consumidores.

(3) Valor de referencia provisional, dado que hay evidencia de que la sustancia es peligrosa, pero existe escasa información disponible relativa a sus efectos sobre la salud.

(4) Aplica al ácido libre.

C O N T I N Ú A

## 6 CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS

### 6.1 Límites

**Cuadro 6. Valores guía para verificación de la calidad microbiológica del agua**

Microorganismos	Límite Máximo Permissible
<b>Agua para consumo directo</b> Coliformes totales y <i>E. coli</i>	No deben ser detectables en 100mL de agua
<b>Agua tratada que entra al sistema de distribución</b> Coliformes totales y <i>E. coli</i>	No deben ser detectables en 100mL de agua
<b>Agua tratada en el sistema de distribución</b> Coliformes totales y <i>E. coli</i>	No deben ser detectables en 100mL de agua

## 7. ASPECTOS RADIOLÓGICOS

**Cuadro 7. Valores guía para los aspectos radiológicos en agua**

Características	Valor Máximo Aceptable	Observaciones
Radioactividad alfa total	0,10 Bq/L <sup>(1)</sup>	Si se sobrepasa el valor límite, es necesario un análisis más detallado de los radionúclidos.
Radioactividad beta total	1,0 Bq/L	

<sup>(1)</sup> Bq es Bequerel que es la unidad radiométrica utilizada para medir la actividad de una fuente. Se simboliza por Bq y es equivalente a 1 desintegración/segundo.

**Cuadro 8. Radionúclidos indicadores de radiación y sus valores guía en agua**

Radiación	Indicador	Límites
Alfa artificial	Americio 241	0,1 Bequerel/L
Beta artificial	Estroncio 90	1,0 Bequerel/L
Gamma artificial	Cesio 137	No definido

## 8. MÉTODOS DE ANÁLISIS

**8.1** Las determinaciones de las especificaciones y características fisicoquímicas, microbiológicas y aspectos radiológicos del agua, indicadas en la presente norma, se deben realizar de acuerdo con las normas COGUANOR correspondientes. Mientras las normas COGUANOR no estén actualizadas, se podrán emplear los métodos establecidos en el capítulo 3 de esta norma.

C O N T I N Ú A

**9. MUESTREO**

**9.1** El muestreo para el análisis fisicoquímico, microbiológico y los aspectos radiológicos del agua, indicado en la presente norma, y los criterios de aceptación o rechazo, se deben realizar de acuerdo con las normas COGUANOR correspondientes. Mientras las normas COGUANOR no estén actualizadas, se podrán emplear los métodos establecidos en el capítulo 3 de esta norma.

**10. CORRESPONDENCIA**

Para la elaboración de la presente norma se han tomado en cuenta los siguientes documentos.

- a) Norma COGUANOR NGO 29 001. Primera revisión 1999. AGUA POTABLE. Especificaciones.
- b) Guías para la Calidad del Agua Potable de la Organización Mundial de la Salud. 3ª.edición, Ginebra. 1995, corresponden al volumen 1, 2ª. edición.

C O N T I N Ú A

**BIBLIOGRAFIA**

- [1] Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, de la American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) y Water Environment Federation (WEF), 21<sup>st</sup> Edition, 2005.
- [2] Solsona, Felipe. Guías para elaborar normas de agua potable en países en vías en desarrollo. Organización Mundial de la Salud. 2002.
- [4] UNIT 833:2008. Agua potable. Requisitos.
- [5] Normas oficiales para la calidad de agua Argentina. Disposiciones de la Ley 18284 (Código alimentario argentino) sobre aguas.
- [6] Norma Boliviana NB 512. 2005. Calidad de agua potable para consumo humano. Requisitos
- [7] Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano-Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.
- [8] Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01.04:2006. Agua. Agua potable.

--- Última Línea ---

## I. PASOS DE OPERACIÓN EN SISTEMA DE FILTRACIÓN



Para operar adecuadamente el sistema de filtración acoplado a la planta de producción de cerveza ubicada en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala es necesario seguir la siguiente serie de pasos:

1. Asegurarse de que las nueve válvulas del sistema se encuentren cerradas y que no existan fugas en ninguna de las secciones de tubería.
2. Debido al tipo de filtración que se desea realizar, se debe verificar que los filtros colocados en serie se encuentren en el orden adecuado, colocando primero el cartucho de 5 micras seguido del cartucho de una micra.
3. Verificar que los cartuchos de los filtros se encuentren centrados en la carcasa y que esta se encuentre completamente sellada.
4. Ya que la filtración se realiza desde el tanque receptor ubicado debajo del tanque de fermentación, es necesario retirar la tapa de dicho tanque con el fin de monitorear el volumen de fluido con el que se cuenta.
5. Abrir la válvula que se encuentra en la parte inferior del tanque de fermentación (1) con el fin de que el líquido que ingrese a éste llegue al tanque receptor.
6. Abrir la válvula que se encuentra en la salida del tanque y que se conecta con la entrada a la bomba centrífuga de 0.45 kW marca Aquastrong (2).
7. Abrir la válvula que se encuentra en el tramo de tubería vertical que se conecta a la bomba centrífuga previamente descrita (3).
8. Abrir la válvula que da acceso a la sección de filtración que cuenta con dos filtros de cartucho en serie (4).

9. Abrir la válvula de salida del sistema de filtración que conecta con el tramo de tubería que retorna al tanque de fermentación (5).
10. Abrir la válvula que permite el retorno del líquido al tanque de fermentación (8).
11. Iniciar el flujo de líquido en el sistema.
12. Verificar que los manómetros instalados antes y después de cada filtro no sobrepase los 60 psi.
13. Dejar que el fluido recorra el sistema por un tiempo de 45 minutos, en el cual se realizará la filtración necesaria y se retendrá la levadura residual de la cerveza.
14. Una vez transcurrido el tiempo, detener la bomba y permitir que todo el líquido retenido en la tubería salga hacia el tanque de fermentación.
15. Una vez se detenga por completo el flujo de cerveza, cerrar cada una de las válvulas del sistema.
16. Retirar la carcasa de los filtros con precaución, ya que habrá líquido retenido en éstas.
17. Verter el líquido de la carcasa en el tanque receptor.

### XIII. GLOSARIO

- Cocción: Proceso por el cual se eliminan proteínas y partículas que vuelven más turbia la cerveza (Rabin, 2013).
- Densidad: Medida del peso representativo de un material en un volumen determinado (Carr, 1969).
- Fermentación: Proceso por el cuál la levadura produce alcohol a partir de azúcares (McCabe, Smith, & Harriot, 2007).
- Filtración: Proceso por el que se remueven los sólidos suspendidos de un líquido, mediante un medio filtrante que retiene dichas partículas (Universidad Nacional Autónoma de México, 2000).
- Levadura: Hongo encargado de realizar la conversión de azúcares en alcohol y CO<sub>2</sub> (De Loma, Friend, & Rodríguez, 1999).
- Lúpulo: Planta proveniente de la familia Cannabácea con un fruto característico por brindar un sabor amargo y ser capaz de brindar aroma a la cerveza (Carrizo, 2013).
- Maceración: Proceso en el que se convierte almidón en azúcares a través de enzimas alfa y beta amilasa (De Loma, Friend, & Rodríguez, 1999).
- Maduración: Proceso de añejamiento de la cerveza que pretende acentuar sabores y aromas en la cerveza, precipitando la levadura (De Loma, Friend, & Rodríguez, 1999).
- Malta: Granos de cebada que atravesaron el proceso de malteado. Materia prima principal en el proceso de elaboración de cerveza (Rabin, 2013).
- NTU: Unidad de medida de turbidez basada en el método EPA 180.1, el cuál realiza una lectura del haz de luz emitido por el turbidímetro a 90° (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2007).
- Tolva: Dispositivo en forma de cono truncado que permite la dosificación de sólidos desde la parte inferior del mismo (McCabe, Smith, & Harriot, 2007).
- Turbidez: Medición de la cantidad de sólidos suspendidos (Carr, 1969).
- Viscosidad: Representa la abstinencia de un fluido al movimiento libre (Ros, 1980).