UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD CIENCIAS DE LA TIERRA

CARRERA DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

CARACTERIZACIÓN DE LOS FACTORES QUE AFECTAN A LA TURBIDEZ EN CERVEZAS ARTESANALES DE ALTA FERMENTACIÓN.

AUTOR:

Jaime Gabriel Noriega Lino

DOCENTE - TUTOR:

Pérez Martínez Amaury, Ph. D

Puyo - Pastaza - Ecuador

2022

FORMATO 4
APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
(Uno por cada evaluador)

En el siguiente cuadro se detalla un conjunto de criterios a evaluar con un total de cien (100) puntos.		
Criterios	**Puntaje**	**Argumentos de la calificación**
1. TÍTULO		
El título es conciso e informativo de la idea principal del escrito. Genera expectativas de lectura que se cumplen.	5/5	
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de qué se trata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales hallazgos y conclusiones.	5/5	
3. INTRODUCCION		
Entrega información sobre la temática a tratar. Describe la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación, vinculación y docencia. Presentación del problema y objetivos del problema del artículo de manera clara y concisa.	20/20	
4. MARCO TEÓRICO		
Marco teórico coherente y articulado con los objetivos. Entrega conceptos de términos que son empleados en el estudio. Sustenta el referente conceptual con adecuadas fuentes de autoridad.	15/15	
5. METODOLOGIA		
Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos. Plantea los criterios de análisis con que se abordó la información.	15/15	

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS		
Entrega los resultados de manera organizada a partir del problema planteado, objetivos específicos, etc. Los cuadros y figuras son pertinentes y están claramente representados. El texto no repite información entregada en los cuadros y figuras.	25/25	
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	10/10	
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	5/5	
VALORACIÓN TOTAL	**100/100**	

DICTAMEN

Marque la casilla correspondiente a su criterio de evaluación respecto al documento revisado.

Recomendación	**Marque con X**
Aprobar	**X**
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	**100**

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
MONICA PAULINA ECHEVERRIA GUEVARA

Dra. Paulina Echeverría, PhD.
PAR CIEGO

Dado en la ciudad de Puyo, a los **05** días del mes de **agosto** de **2022**

FORMATO 4
APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
(Uno por cada evaluador)

En el siguiente cuadro se detalla un conjunto de criterios a evaluar con un total de cien (100) puntos.		
Criterios	**Puntaje**	**Argumentos de la calificación**
1. TÍTULO Caracterización de los factores que afectan a la turbidez en cervezas artesanales de alta fermentación		
El título es conciso e informativo de la idea principal del escrito. Genera expectativas de lectura que se cumplen.	5/5	Cumple
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de qué se trata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales hallazgos y conclusiones.	5/5	Cumple
3. INTRODUCCION		
Entrega información sobre la temática a tratar. Describe la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación, vinculación y docencia. Presentación del problema y objetivos del problema del artículo de manera clara y concisa.	20/20	Cumple
4. MARCO TEÓRICO		
Marco teórico coherente y articulado con los objetivos. Entrega conceptos de términos que son empleados en el estudio. Sustenta el referente conceptual con adecuadas fuentes de autoridad.	15/15	Cumple
5. METODOLOGIA		
Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos. Plantea los criterios de análisis con que se abordó la información.	15/15	Cumple

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS		
Entrega los resultados de manera organizada a partir del problema planteado, objetivos específicos, etc. Los cuadros y figuras son pertinentes y están claramente representados. El texto no repite información entregada en los cuadros y figuras.	25/25	Cumple
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	10/10	Cumple
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	5/5	Cumple
VALORACIÓN TOTAL	100/100	

DICTAMEN

Marque la casilla correspondiente a su criterio de evaluación respecto al documento revisado.

Recomendación	**Marque con X**
Aprobar	X
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	100

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
MANUEL LAZARO PEREZ QUINTANA

Manuel Lázaro Pérez Quintana
Profesor titular UEA

Dado en la ciudad de Puyo, a los 09 días del mes de agosto de 2022

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA
CARRERA DE AGROINDUSTRIA

Puyo, 02 de agosto de 2022

Por medio del presente CERTIFICO que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente al estudiante: Jaime Gabriel Noriega Lino, con C.I. 0604079368, con el Tema: "Caracterización de los factores que afectan a la turbidez en cervezas artesanales de alta fermentación", de la carrera de Agroindustria. Docente-tutor del Trabajo de Integración Curricular, Dr. Amaury Pérez Martínez, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 2%, Informe generado con fecha 02 de agosto de 2022 por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
AMAURY
PEREZ

Dr. Amaury Pérez Martínez

Docente-tutor del Trabajo de Integración Curricular

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA
CARRERA DE AGROINDUSTRIA

Ouriginal

Document Information

Analyzed document	Caracterización de los factores que afectan a la turbidez en cervezas artesanales de alta fermentación_v2.docx (D142609566)
Submitted	2022-08-02 18:14:00
Submitted by	
Submitter email	agi2017140@uea.edu.ec
Similarity	2%
Analysis address	amperez.uea@analysis.urkund.com

Sources included in the report

W

URL: http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/18339/1/T-UCE-0008-COU-105.pdf
Fetched: 2022-08-02 18:15:00
3

SA

PC3+casi+terminado+(3).pdf
Document PC3+casi+terminado+(3).pdf (D142046588)
3

W

URL: https://repositorioinstitucional.uabc.mx/bitstream/20.500.12930/7956/1/MXL123020.pdf
Fetched: 2022-08-02 18:15:00
1

W

URL: https://lipa.agro.unlp.edu.ar/wp-content/uploads/sites/29/2020/03/Trabajo-Final-Leonel-Ferreyra-.pdf
Fetched: 2022-08-02 18:15:00
1

W

URL: http://nulan.mdp.edu.ar/3350/1/llanos-2020.pdf
Fetched: 2022-08-02 18:15:00
1

W

URL: http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/5595/T-PUCE-5747.pdf?sequence=1#:~:text=Fray%20Jodoco%20Rique%252C%20fundador%20de,el%20convento%20de%20San%20Francisco
Fetched: 2022-08-02 18:15:00
1

SA

302-Texto del articulo-890-1-2-20180420.docx
Document 302-Texto del articulo-890-1-2-20180420.docx (D37871632)
1

W

URL: http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2016/fac266d/doc/fac266d.pdf
Fetched: 2022-08-02 18:14:00
1

Entire Document

Caracterización de los factores que afectan a la turbidez en cervezas artesanales de alta fermentación.
1 @uea.edu.ec

Caracterización de los factores que afectan a la turbidez en cervezas artesanales de alta fermentación.

Noriega Lino Jaime Gabriel[1]
agi2017140@uea.edu.ec

Pérez Martínez Amaury, Ph. D[1]
amperez@uea.edu.ec

Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la Tierra, Carrera de Ingeniería Agroindustrial (1)

Resumen

La cerveza artesanal es un producto que se asocia fácilmente con problemas de clarificación y estabilidad. La investigación se centró en caracterizar los parámetros que afectan a la turbidez en cervezas artesanales de alta fermentación. Por medio de la metodología PRISMA se realizó una búsqueda sistemática en distintas bases de datos. La información se recuperó de acuerdo con criterios de elegibilidad como turbidez en cerveza, turbidez biológica, turbidez no biológica, *chill haze*, *permanent haze*, calidad en bebidas, vida útil de bebidas. Se recuperaron un total de 15 artículos que permitieron identificar a las principales causales de turbidez biológica y no biológica en cervezas. La investigación demostró la tendencia de los estudios hacia la generalización de la cerveza, y cómo existen pocas referencias enfocadas en cervezas de alta fermentación. Las causas de turbidez derivan a factores biológicos con presencia de bacterias, hongos y levaduras en suspensión; mientras los factores no biológicos dependen en mayor grado de la estabilidad coloidal generada por las interacciones proteínas-polifenoles.

Palabras Clave*:* Cerveza, estabilidad, turbidez fría, turbidez permanente, BAL, coloidal, proteína-polifenol.

Abstract

Craft beer is a product that is easily associated with clarification and stability problems. The research focused on characterizing the parameters that affect turbidity in high fermentation craft beers. Through the PRISMA methodology, a systematic search was carried out in different databases. Information was retrieved according to eligibility criteria such as beer turbidity, biological turbidity, non-biological turbidity, chill haze, permanent haze, beverage quality, and beverage shelf life. A total of 15 articles were recovered that allowed the identification of the main causes of biological and non-biological turbidity in beers. The research showed the tendency of the studies toward the generalization of beer, and how there are few references focused on high-fermentation beers. The causes of turbidity derive from biological factors with the presence of bacteria, fungi, and yeasts in suspension. While, non-biological factors depend to a greater degree on the colloidal stability generated by protein-polyphenol interactions.

Keywords*:* Beer, stability, cold turbidity, permanent turbidity, colloidal system, protein-polyphenol.

1. INTRODUCCIÓN

En el Ecuador, la cerveza artesanal hace referencia a siglos de historia desde su inserción a la par de la fundación de la orden de Franciscanos en Quito, en el año de 1532, siendo así que para 1566 se creó la primera fábrica de cerveza artesanal de la Real Audiencia de Quito (Martínez, 2013). En estos momentos existe un auge de la cerveza artesanal, además que la diversidad tanto a nivel de empresas como estilos de cerveza ha traído consigo la búsqueda de la excelencia.

Según Guerberoff, Marchesino, López, and Olmedo (2020), la calidad de la cerveza recae sobre parámetros relacionados a cada estilo, como el carácter de malta, intensidad de lúpulo, amargor, dulzor, sequedad, entre otros. No obstante, se busca regular o eliminar sabores conocidos como *off flavors* que, entre muchos destacan los producidos por diacetilo (mantequilla), acetaldehído (manzana verde), fenoles (clavo de olor) u oxidación (sabor áspero o rancio).

La cerveza artesanal se distingue de la industrial por diversos factores, como son los ingredientes, con los cuales se elabora, el proceso mismo de elaboración, además de que cada receta posee singularidades. Debido a estas circunstancias que pueden alterarse en la producción es entendible que ninguna cerveza artesanal sea igual a cualquier otra que exista en el mercado (Martínez, 2013).

Esta cerveza posee dos grandes diferencias frente a la industrial: No se encuentra pasteurizada, y generalmente, no se somete a filtración para eliminar residuos que puedan sedimentarse a lo largo de la vida útil del producto. Aunque estas características permiten conservar las propiedades nutritivas del producto final también afectan a la estabilidad de la cerveza (Martínez, 2013).

La inestabilidad más común en las cervezas artesanales se debe a la turbidez no biológica, producida por interacciones entre proteínas de bajo peso molecular, taninos y carbohidratos que generalmente deberían precipitar junto con las levaduras en la etapa fermentativa (Sánchez, 2008). Los parámetros de calidad como turbidez y apariencias cristalinas, entre otros, son considerados como los factores sensoriales que influyen en la aceptación del producto debido a que son fácilmente segregados (Chávez, 2019; Mastanjević et al., 2018).

La turbidez es una característica considerada como indeseable en cervezas de baja fermentación o *lager*, mayormente producidas a nivel industrial (Ferreyra, 2014) puesto que este estilo es sometido a un proceso denominado *lagering* que estresa las levaduras a condiciones de frío, entre 6°C a 9°C para consumir subproductos que puedan generar turbidez, entre otros aspectos indeseados en la cerveza (Espinoza, 2021) además de atravesar procesos de centrifugación y filtración que, en grandes volúmenes resulta en una práctica rentable (Mastanjević et al., 2018).

No obstante, es poco común que las cervezas artesanales, mayormente de estilos *ale* o de alta fermentación se sometan a los procesos de fermentación y maduración a bajas

temperaturas, ya que la temperatura óptima de fermentación de estos estilos oscila entre los 15°C y 20°C. Esto sin tener en cuenta que, en gran medida, las cervecerías artesanales aprovechan las levaduras residuales para gasificar la cerveza en una re-fermentación o acondicionamiento (Chávez, 2019; Mastanjević et al., 2018). Las cervezas de alta fermentación se consideran una solución coloidal de composición compleja, en la cual existe una gran posibilidad de formar compuestos que generen turbidez, considerándose un grave problema de calidad que afecta directamente en la vida útil y el sabor de esta (Wang & Ye, 2021)

Frente a este contexto, el propósito de esta investigación es la caracterización de factores que afectan a la turbidez en el proceso productivo de la cerveza artesanal de alta fermentación. Esto permitiría determinar su incidencia en la aceptabilidad del producto y su tiempo de vida útil; trayendo consigo un aumento la rentabilidad, evitando pérdidas de producto por defectos de calidad.

2. MATERIALES Y MÉTODOS/METODOLOGÍA

2.1. INVESTIGACIÓN DESCRIPTIVA:

El presente estudio parte de un punto de vista descriptivo ya que se centra en demostrar los parámetros que afectan a la turbidez en cervezas artesanales de alta fermentación, además de su relación con la calidad y vida útil del producto.

Se recuperaron los datos por medio de revisión bibliográfica de investigaciones previas, su aporte al análisis y corrección de posibles causas que alteren la limpidez de la cerveza y su relación con el tiempo de vida útil del producto, comparando y contrastando datos obtenidos de distintos autores y/o recursos.

2.2. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN:

2.2.1. Investigación sistemática, metaanálisis

El método empleado es la investigación sistemática basada en recopilar información experimental, identificando las ideas centrales de una revisión de literatura de interés para la experimentación o puesta en práctica, buscando y extrayendo lo más relevante del documento analizado acorde a criterios evaluados y aceptados por otros individuos (Urrútia & Bonfill, 2010). En la presente revisión bibliográfica se dirigen los criterios hacia los factores relacionados con la turbidez en cervezas artesanales.

2.3. PROCEDIMIENTO DE TRABAJO:

Para la recuperación de la información se utilizó el diagrama de flujo PRISMA que permite buscar entre diferentes bases de datos y segmentar los archivos de acuerdo con la inclusión y exclusión de documentos en base a criterios de elegibilidad previamente establecidos.

La declaración PRISMA consta de cuatro pasos que permiten la identificación, puesta en

pantalla, elegibilidad e inclusión de documentos. La identificación planteó generar registros a través de bases de datos, además de registros adicionales de otras fuentes para ser expuestas luego en la puesta en pantalla. Esta "pantalla" permite diferenciar y eliminar archivos duplicados o que no cumplan con los criterios de elegibilidad descritos, generando un registro de documentos excluidos.

Como siguiente paso se verifican los documentos previamente registrados y eliminan artículos con razón de exclusión, para ingresar a la siguiente etapa donde se seleccionaron los artículos que cumplan los criterios de elegibilidad para ser finalmente incluidos. Posteriormente se realizó en el estudio una síntesis cuantitativa o metaanálisis.

Para entender de mejor manera los procedimientos de PRISMA se presenta el diagrama de flujo en la Figura 1.

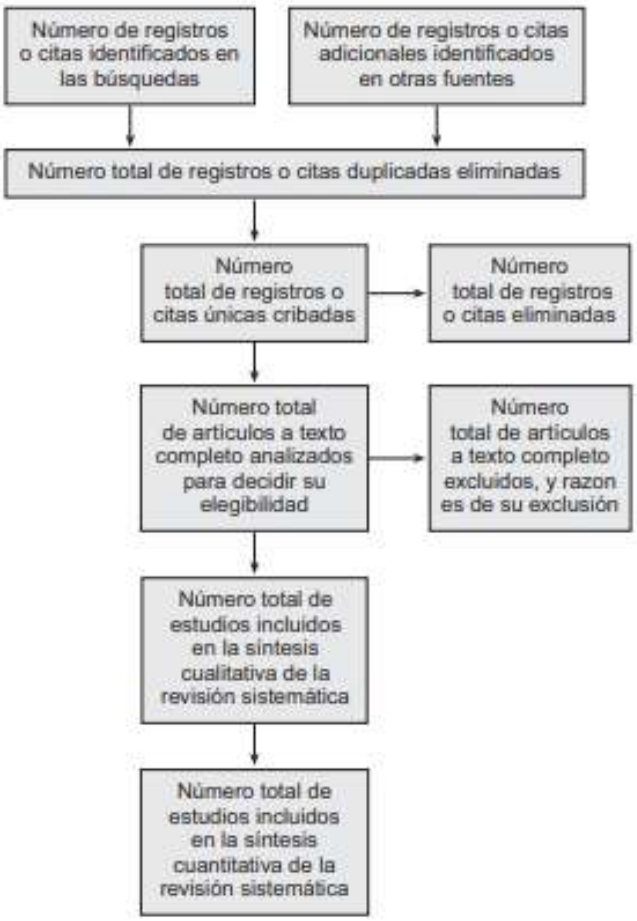

Figura 1: Diagrama de flujo de PRISMA**. Fuente:** Adaptado de (Urrútia & Bonfill, 2010)

Para realizar el procedimiento PRISMA se debe tener en cuenta distintos ítems antes de incluir una publicación en la revisión sistemática con o sin metaanálisis. Estos ítems son descritos por Urrútia and Bonfill (2010) y recopilados en la siguiente Tabla 1:

Tabla 1: Métodos para la aplicación de PRISMA**.**

		MÉTODO
1	Protocolo y registro	Muestre si existe un protocolo de revisión al cual acceder, si se puede acceder a él, si se encuentra disponible y que proporcione información y número de registro.
2	Criterios de elegibilidad	Especificar las características del estudio, desarrollar criterios de elegibilidad para elaborar su respectiva justificación tales como: año considerado, estado de publicación, idioma entre otras, realizar las características del informe.
3	Fuentes de información	Presente todas las fuentes de información en una base de datos donde contendrá fecha de cobertura, contacto con los autores del estudio para identificar estudios adicionales y fecha de la última búsqueda realizada.
4	Buscar	Proporcione una estrategia de búsqueda electrónica completa, realice una base de datos, incluido los límites utilizados, de modo que pueda ser reproducible.
5	Selección de estudio	Especificar los procesos para la selección de estudio, para los criterios de elegibilidad incluido en la revisión sistemática, y si corresponde, en el metaanálisis.
6	Proceso de extracción de datos	Describa los métodos para la extracción de datos de los documentos, por formularios pilotos, o cualquier proceso para obtener y confirmar los datos de los investigadores.
7	Lista de datos	Defina y enumere todas las variables presentes en la investigación, por ejemplo, fechas, fuentes de financiamiento, entre otros, además de cualquier asunción y simplificación que se haya realizado.
8	Riesgo de sesgos en estudios individuales	Detalle los métodos para evaluar el riesgo de sesgo de los estudios individuales incluido las especificaciones si fue echo a nivel de resultado o de estudio y como se podrá utilizar esta información en cualquier síntesis de datos.
9	Resumen de medidas	Indique las principales medidas de resumen, razón de riesgo, diferencia de medias.
10	Síntesis de resultados	Construya los métodos de manejo de los datos y las combinaciones de resultados de estudio, incluida las medidas de consistencias para cada metaanálisis.

11	Riesgo de sesgo entre los estudios	Describa y especifique cualquier evaluación de riesgo de sesgo que pueda afectar a la recolección de datos acumulativos. Ejemplo: sesgo de publicación, selectivo de informes dentro de los estudios.
12	Análisis adicionales	Relate los métodos de análisis adicionales, análisis de subgrupos o de sensibilidad meta regresión, si se han indicado que fueron especificados.

Fuente: Adaptado de Liberati et al. (2009); Urrútia and Bonfill (2010)

Para recuperar la información se partió desde frases como: Turbidez en cervezas *ale*, cerveza artesanal turbia, calidad en cerveza artesanal, *haze on beer*, *types of haze*. Además, se implementaron otras variantes sugeridas por el motor de búsqueda *Scholar Google*.

2.4. Fuentes de recopilación de información.

Para recopilar información y obtener datos se realizará una búsqueda en bibliografía proveniente de distintas investigaciones publicadas de fuentes secundarias como libros, censos, artículos científicos, estadísticas, documentos gubernamentales, entre otros. El objetivo es mejorar el proceso de estudio. La recopilación se realizó mediante el acceso a bases de datos de revistas científicas como *ScienceDirect*, MDPI, *Springerlink*, *Scielo*, entre otras recomendadas por motores de búsqueda como *ScholarGoogle*, Pubemed, etc.

2.5. Instrumentos de investigación:

La presente investigación se enfocó en identificar los factores que afectan a la turbidez de la cerveza artesanal tipo *ale*, recopilando y analizando los datos por medio de instrumentos como el software digital *EndNote* y la herramienta Microsoft Excel, que permitieron categorizar y exponer la información recopilada.

2.6. Tratamiento de datos

El tratamiento de datos realizado en la presente investigación se centró en el diagrama de flujo PRISMA, en el cual se registra los artículos encontrados en las distintas bases de datos para identificar y eliminar documentos duplicados. Luego de la selección se realiza una exclusión de los datos que no cumplan con los parámetros de estudio, razones de elegibilidad y finalmente se sintetizará la información.

La base de datos bibliográfica se almacenó en el programa *EndNote* llevando así un registro claro de las fuentes bibliográficas obtenidas.

2.7. Selección y análisis de fuentes recopiladas

Se filtró la información de un total de 2040 resultados, aplicando criterios de exclusión como la eliminación de estudios duplicados y el año de publicación, fijando el rango de los últimos 20 años (2002 a 2022) ya que en este lapso se incluyen los apartados con mayor contribución al estudio.

Se omitieron artículos que no abordaban a profundidad con los factores que producen turbidez en las cervezas artesanales ni parámetros de inclusión. Los términos relacionados a la investigación fueron: Turbidez en cerveza, turbidez biológica, turbidez no biológica, *chill haze*, *permanent haze*, calidad en bebidas, vida útil de bebidas, y términos referentes que se desarrollaron en conjunto con el trabajo de integración.

Se obtuvieron un total de 15 artículos que cumplieron los criterios de elegibilidad, recopilados de diferentes bases de datos como *ScienceDirect*, MDPI, *Springerlink*, *Scielo*.

Se recopiló la información a través de motores de búsqueda como *ScholarGoogle*, *Pubemed*, etc. Además de repositorios universitarios y foros especializados de cervecería, como literatura complementaria.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

3.1. COMPORTAMIENTO DE LAS INVESTIGACIONES ASOCIADAS A LAS CERVEZAS ARTESANALES:

Se observa en la Figura 2 que hay una tendencia al incremento de las investigaciones dedicadas a la turbidez en los últimos 5 años. Esto puede deberse al aumento notorio de la competencia en el mercado, además de la búsqueda de calidad en el producto ofrecido al público. Los estudios relacionados con esta fecha describieron tanto a factores de turbidez biológica como no biológica, y se enfocaron en procesos tecnológicos y procedimientos operativos para disminuirlas (Cárdenas, 2016).

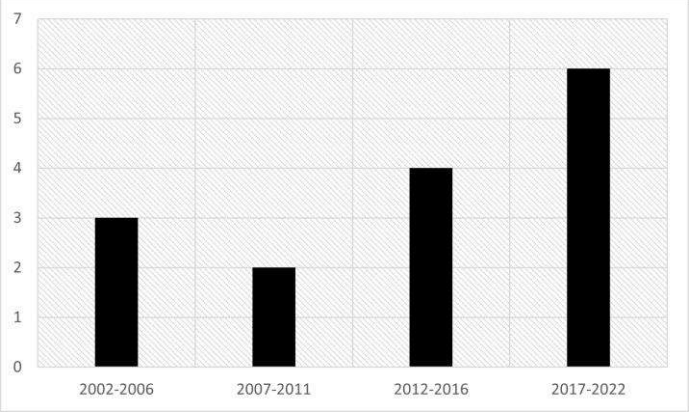

Figura 2: Incidencia de los estudios en base a periodos de 5 años. **Fuente:** Elaboración propia.

Los estudios documentados también mencionaron los estilos de cerveza de acuerdo con su tipo de fermentación, diferenciándolos en dos familias principales: *lager* y *ale.* Andrade (2019) detalla de manera gráfica la diferencia entre estos estilos, como se observa en la Figura 3.

Las cervezas *lager*, también llamadas cervezas de baja fermentación, utilizan cepas de levadura que trabajan en bajas temperaturas (8°C a 15°C), tienen reacción en el fondo del

fermentador y su tiempo de fermentación primaria se extiende entre 1 y 3 semanas. Estilos de cervezas como *Pilsner*, *Munich*, *Vienna*, *Märsen*, *Doppelbock* y la muy reconocida *Oktoberfest* son característicos de esta familia.

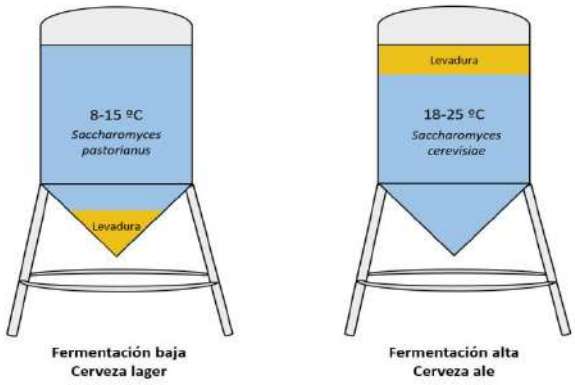

Figura 3: Diferencia entre cerveza *Lager* y *Ale* en el proceso fermentativo. **Fuente:** Adaptado de Andrade (2019)

Por su parte, las cervezas *ale* fermentan a mayor temperatura (18°C a 25°C), la reacción de las levaduras se produce en la parte superior del mosto, y su fase de fermentación primaria dura entre 2 a 5 días. A este tipo de cervezas se le atribuyen estilos como *Pale Ale*, *Tripel*, *Dunkelweizen*, y cervezas de renombre como la *Guinness® Extra-Stout*. Estos estilos han sido los más posicionados en el mercado, con sus distintas variedades. No obstante, la Figura 4 demuestra que existe mayor tendencia a no especificar el estilo al cuál se basa su investigación.

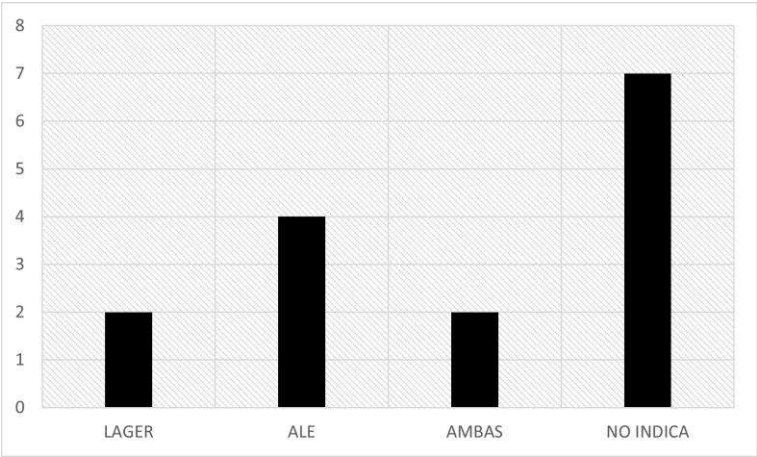

Figura 4: Comportamiento de las investigaciones sobre los diferentes tipos de cervezas. **Fuente**: Elaboración propia

La mayor parte de los documentos revisados hablan de cervezas en escala industrial. Estas publicaciones describen tratamientos físicos y químicos como centrifugación, filtraciones con membranas específicas, tierras de diatomeas, y sedimentación química, aplicables mayormente en grandes industrias. Este comportamiento demuestra que es necesaria una

caracterización de los factores que afectan a la turbidez en cervezas artesanales de alta fermentación.

Se observa en la Figura 5 que el 93% de las investigaciones describen a la turbidez como un sinónimo de estabilidad deficiente en el producto final. Además, las investigaciones resaltan que existe mayor incidencia de turbidez no-biológica generando problemas de estabilidad que disminuyen el tiempo de vida útil del producto, a más de reducir la aceptación en el mercado.

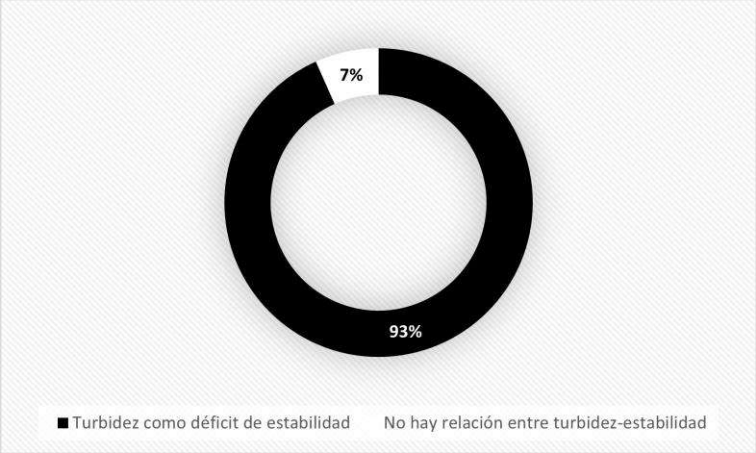

Figura 5: Porcentaje de estudios que describen a la turbidez como un parámetro de estabilidad deficiente. **Fuente**: Elaboración propia.

La cerveza de alta fermentación es producida en gran medida por pequeños y medianos productores ya que requiere de menor control de temperatura en etapas como fermentación y maduración. Este estilo es cada vez más llamativo por diversos elementos que las cervezas *lager* no ofrecen, como adiciones de lúpulo, combinaciones de maltas y adjuntos, variedades de estilos, etc. Las cervezas *ale* poseen características organolépticas como el grado de amargor, volumen alcohólico, color y turbidez que difieren en gran medida con la cerveza industrial.

Algunas operaciones de remediación de la turbidez deberían caracterizarse en estilos *ale,* ya que su aplicación afecta directamente sus propiedades, sabor final, color y estabilidad de espuma.

3.2. TURBIDEZ:

De acuerdo con las investigaciones, la turbidez es un problema común en cervezas artesanales de alta fermentación debido a factores como:

- ✓ Aprovechamiento de levaduras suspendidas del proceso fermentativo para carbonatar naturalmente la cerveza en la etapa de maduración.
- ✓ Ausencia de control de temperatura en procesos fermentativos y de maduración.
- ✓ Falencias en el proceso general de elaboración del mosto.
- ✓ Falta de alternativas tecnológicas y operaciones en cervecerías para disminuir dicho

factor.

El mercado en auge que caracteriza a las cervezas artesanales tiende a asociarlas como *orgánicas*, generando que la falta de filtración y estabilización química se conviertan en un indicador del término *artesanal*. No obstante, la ausencia de los procesos de estabilización resulta en cervezas turbias, cuya estabilidad se ve directamente afectada en el tiempo. (Mastanjević et al., 2018).

Se debe destacar que la cerveza *lager* es el estilo de mayor consumo a nivel mundial, con una participación del 90% del mercado cervecero. Al comparar sus características con las cervezas artesanales de alta fermentación *ale*, genera un sesgo importante del consumidor al relacionarlo con la turbidez y formación de sedimentos.

Se observa mediante la Figura 6 que las investigaciones categorizan dos tipos de turbidez en las cervezas: Turbidez biológica y Turbidez no biológica. Las investigaciones concuerdan en que ambos factores pueden encontrarse de manera individual o simultánea de acuerdo con problemas relacionados a los procesos de maceración, fermentación, maduración y almacenamiento de la cerveza. En total 10 de las investigaciones abarcan presencia de turbidez biológica, mientras 11 de ellas concuerdan en la existencia de turbidez no biológica.

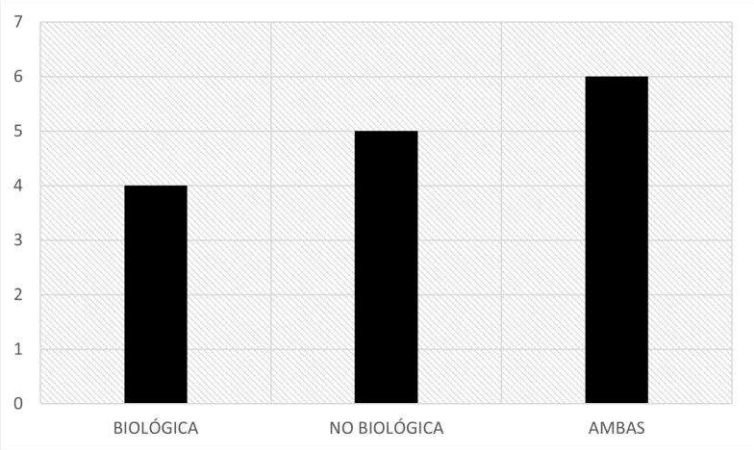

Figura 6: Comportamiento de los estudios en base a los tipos de turbidez en cervezas.
Fuente: Elaboración propia

Algunos de los artículos investigados diferencian a la estabilidad coloidal de la turbidez no biológica, pero en el análisis destacan los mismos resultados en cuanto a los factores que la generan, por lo cual se asume que la estabilidad o turbidez coloidal es un factor de turbidez no biológica.

De igual manera se refieren a una turbidez química que puede generarse a partir de factores biológicos o no biológicos. Esto se debe a la interacción de parámetros como pH, oxidación, sales disueltas, metales disueltos y aminoácidos.

3.2.1. Turbidez biológica.



Figura 7: Turbidez por sedimentación de levaduras. Cerveza con reacondicionamiento en botella. **Adaptado de**: (Cuellar, 2015)

La cerveza es un medio hostil para la proliferación microbiológica debido a sus características físico químicas, siendo así que hoy en día se la considera una bebida microbiológicamente estable. Los diversos autores concuerdan en que factores como la presencia de etanol en concentraciones de hasta 10% v/v de acuerdo con la normativa INEN (2013), además de α-ácidos provenientes del lúpulo, su alto contenido de dióxido de carbono, bajo pH y concentraciones de oxígeno menores a 0.3 ppm inhiben el crecimiento de patógenos provenientes de alimentos como la *Salmonella* y *Staphylococcus* (Cárdenas, 2016; Stewart, 2016).

Por otro lado, los autores atribuyen que puede existir contaminación generada por bacterias, levaduras y hongos miceliales. En la Tabla 2 se detallan los organismos biológicos que pueden proliferarse en la cerveza.

Tabla 2: Principales organismos biológicos precursores de turbidez y sedimentación según niveles de formación: Muy alta, Fuerte, Débil, Muy débil.

Microorganismo	Turbidez	Sedimentación	Referencia
Lactobacillus	Alta	Alta	(Cárdenas, 2016; Espinoza, 2021; Lataza, Bianchi, Sosa, & Benítez, 2020; Liu, 2015; Peña, Ruiz, Pérez, Fernández, & Barat, 2020; Ramírez, 2004; Stewart, 2016)
Pediococcus	Muy débil	Alta	(Kahle, Zarnkow, & Jacob, 2021; Liu, 2015; Stewart, 2016; Wang & Ye, 2021)
Pectinatus	Muy alta	Muy alta	(Kahle et al., 2021; Liu, 2015; Peña et al., 2020; Stewart, 2016)
Megasphera	Débil	Débil	(Kahle et al., 2021; Liu, 2015; Peña et al., 2020)

Saccharomyces	Débil	Débil	(Kahle et al., 2021; Lataza et al., 2020; Liu, 2015; Pratt-Marshall, Brey, De Costa, & Stewart, 2002)
Non-Saccharomyces	Alta	Alta	(Kahle et al., 2021; Peña et al., 2020)
Pichia	Muy débil	Muy débil	(Espinoza, 2021; Kahle et al., 2021; Stewart, 2016)
Fusarium spp.	Alta	Alta	(Mastanjević et al., 2018; Stewart, 2016)
Acetobacter	Alta	Alta	(Espinoza, 2021; Stewart, 2016; Suárez, 2013)
Gluconobacter	Alta	Muy débil	(Espinoza, 2021; Kahle et al., 2021; Stewart, 2016)
Enterobacteria	Débil	Débil	(Espinoza, 2021)
Zymomonas	Alta	Alta	(Espinoza, 2021; Kahle et al., 2021)

Fuente: Elaboración propia

Las levaduras del género *Saccharomyces* son las encargadas de transformar el mosto en cerveza, produciendo etanol y dióxido de carbono a partir de los azúcares presentes en el extracto de malta generado en la maceración. Además, las mano proteínas derivadas de las paredes celulares de la levadura, actúan minimizando la turbidez y estabilizando la espuma sirviendo como adherente entre la interfaz líquido-gas presente en sus burbujas (Liu, 2015).

Sin embargo, si las levaduras se encuentran bajo condiciones de estrés secretan Proteasa α y β-glucanasas, que hidrolizan los β-glucanos alterando la viscosidad del medio, lo cual incide de manera directa sobre la turbidez.

Residuos de levadura comprenden el principal factor biológico relacionado a la neblina (*haze*) en el producto final. Como se observa en la Figura 7 las cervezas elaboradas con procesos artesanales presentan un alto contenido de levaduras en el producto terminado, la misma que es utilizada para re-fermentar o madurar en botella. El metabolismo prolongado de la levadura ayuda a pulir el sabor final de la cerveza, pero su persistencia en el producto final promueve la formación de turbidez, afecta la estabilidad, retención de espuma y genera mayor acidez a la bebida (Liu, 2015; Stewart, 2016).

En cervezas de alta fermentación existe mayor presencia de levaduras residuales, ya que este estilo utiliza cepas de levaduras que no sedimentan durante el proceso fermentativo, sino que se mantienen en la parte superior del mosto. Además, la temperatura de fermentación se encuentra más cercana a la temperatura ambiente (normalmente entre 18-26 °C) presentando así fermentaciones más violentas, en menores tiempos que sus hermanas *lager*.

Otro factor para tomar en cuenta con el uso de levaduras *ale* es su grado de floculación. Aunque a la fecha existen diversas cepas con mayor floculación, ésta depende de la temperatura en la etapa final de fermentación y todo el proceso de maduración de la cerveza.

En plantas artesanales muchas veces no se cuenta con sistemas de control de temperatura, por lo cual ésta varía en el transcurso de fermentación – maduración, creando un desbalance en la estandarización del proceso cervecero que genera variación en la cantidad de sedimento que ingresa a los tanques de maduración.

Se documentó también la presencia de levaduras salvajes de género *Saccharomyces* y *no Saccharomyces* como precursores de turbidez, y varios autores las catalogan como levaduras no utilizadas de manera controlada en el proceso de cervecería (Stewart, 2016)

Estas levaduras pueden provenir de adjuntos a la cerveza en la fermentación, cuya práctica es muy común en estilos artesanales experimentales, además de una higiene incorrecta del equipo en el caso de trabajar con diversas cepas comerciales de levaduras en estilos diferentes.

Existen otros contaminantes de origen biológico cuyo foco de infección puede deberse a la materia prima utilizada o problemas en las operaciones de limpieza del equipamiento cervecero. La malta puede contener hongos de género *Fusarium* capaz de liberar micotoxinas o causar "cervezas explosivas", efecto denominado *gushing*. También una materia prima contaminada puede acarrear bacterias causantes de deterioro, alta turbidez, sedimentación, acidificación y ser precursores de *off flavors* en la bebida final.

Aunque los α-ácidos transferidos del lúpulo a la cerveza actúan como inhibidores de bacterias Gram Positivas, algunas BAL (Bacterias Ácido-Lácticas), mayormente del género *Lactobacillus* y *Pediococcus* son muy resistentes y pueden llegar a contaminar la cerveza. Stewart (2016) destaca que, de la microflora encontrada en la cervecería las BAL son las más temidas al ser difíciles de detectar e identificar sus efectos.

Como contraparte, las bacterias *Gram Negativas* como *Pectinatus, Acetobacter, Gluconobacter, Zymomonas y Megasphaera* han sido caracterizadas en la neblina propia de una cerveza turbia.

3.2.2. Turbidez no biológica.

Cárdenas (2016), define a la cerveza como una disolución acuosa, de ligera graduación alcohólica y con acidez media, y su composición consta de compuestos estables e inestables. Los compuestos estables son disoluciones verdaderas de nivel iónico y molecular, mientras que los compuestos inestables constan de soluciones de naturaleza coloidal.

La presencia de turbidez no biológica en cerveza se ve principalmente afectada por propiedades derivadas de su materia prima: la cebada malteada. Los carbohidratos presentes en la malta deben ser reducidos de manera óptima en el proceso de macerado. No obstante, al existir un macerado defectuoso no existiría una correcta degradación del almidón, generando residuos de almidón y otras cadenas largas como las dextrinas que no serán utilizadas por las levaduras. Las dextrinas presentan baja solubilidad en bebidas alcohólicas (Wang & Ye, 2021). Una degradación deficiente de almidón recae directamente sobre el

rendimiento de la malta en el mosto, además de provocar una mayor presencia de turbidez.

La Figura 8 demuestra el comportamiento de las investigaciones frente a la mención de compuestos asociados con la turbidez no biológica. De los 11 estudios que coinciden en la existencia de turbidez no biológica, 9 de ellos lo asocian a la presencia de proteínas, 8 con carbohidratos, seguido de la interacción de polifenoles o taninos, β-glucanos, además de la presencia de partículas extrañas.

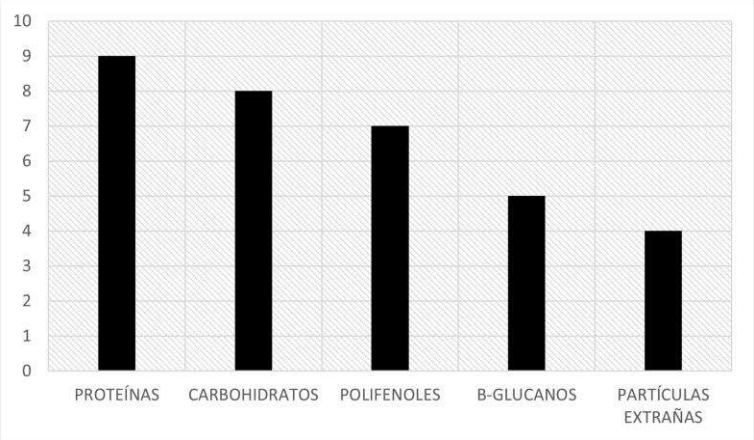

Figura 8: Compuestos asociados con la turbidez no biológica. **Fuente**: Elaboración propia.

Diversos autores catalogan a la inestabilidad coloidal en 4 categorías: Precipitados, *bits* o trazas, *haze* o turbidez visible, e *invisible haze* o turbidez no visible. Cada una de estas categorías hace referencia a los compuestos o acciones que la conforman, como se describe en la Tabla 3.

Tabla 3: Tipos de inestabilidad coloidal y factores causales.

Categoría	Factor causal	Referencia.
Precipitados	Altas temperaturas (>50°C)	(Mastanjević et al., 2018; Pratt-Marshall et al., 2002; Stewart, 2016)
Bits	Insolubilización de aditivos en la cerveza. Proteínas Pentosanos	(Mastanjević et al., 2018; Steiner, Becker, & Gastl, 2010; Stewart, 2016)
Turbidez visible (*haze)*	Almidón residual Pentosanos Ácido oxálico β-glucanos	(Cárdenas, 2016; Mastanjević et al., 2018; Siebert, 2006; Steiner et al., 2010; Stewart, 2016; Suárez, 2013; Wang & Ye, 2021)

	Complejos proteína – fenol Lubricantes utilizados en tapas Bacterias muertas Metales Materia inorgánica.	
Turbidez no visible (*invisible haze)*	Partículas diminutas (<0.1 µm) Residuos del endospermo de cebada Retrogradación de almidón Polisacáridos desprendidos de la superficie de levaduras	(Kahle et al., 2021; Mastanjević et al., 2018; Pratt-Marshall et al., 2002; Stewart, 2016)

Fuente: Elaboración propia.

Existe relación directa entre turbidez y estabilidad coloidal. La formación de moléculas apreciables en el producto final la vuelve propensa a disminuir su claridad en etapas ajenas al procesamiento como el almacenamiento y transporte. Agitar una cerveza con precipitados la vuelve parcialmente turbia hasta que estos residuos decanten, y la despresurización de la botella al momento de servir su contenido, hará que dichos sedimentos se dispersen en el líquido. Como se observa en la Figura 9, puede existir turbidez en la cerveza sin necesidad de precipitados, dando como resultado una cerveza con opacidad, bruma, haciendo referencia a su traducción *haze*.



Figura 9: Izquierda: Turbidez permanente, cerveza a temperatura ambiente. Derecha: Turbidez en frío con cerveza refrigerada. Fuente: **Adaptado de**: The Wieekender (2017)

La turbidez visible hace referencia a dos términos: Turbidez en frío (*chill haze*) y turbidez

permanente (*permanente haze*). La turbidez en frío se observa al enfriar la cerveza hasta los 0°C, produciendo una asociación reversible entre polifenoles polimerizados y proteínas. Este factor de turbidez decae al exponer el producto nuevamente a temperatura ambiente, devolviendo a la cerveza su brillo inicial. Si la cerveza se enfría y calienta por varios periodos, o si se almacena a temperatura ambiente por largos periodos, se genera una turbidez permanente, la cual no se disuelve hasta alcanzar temperaturas superiores a 30°C.

La interacción proteínas-polifenoles es una de las reacciones más comunes en la turbidez de la cerveza, su mecanismo se describe en la Figura 10. De acuerdo con este modelo, existen proteínas suspendidas en la bebida, con múltiples sitios reactivos en los cuales se adhieren polifenoles, sirviendo como un puente entre proteínas que genera polímeros de mayor masa, con fuerte capacidad de dispersión de luz (Mastanjević et al., 2018; Wang & Ye, 2021).

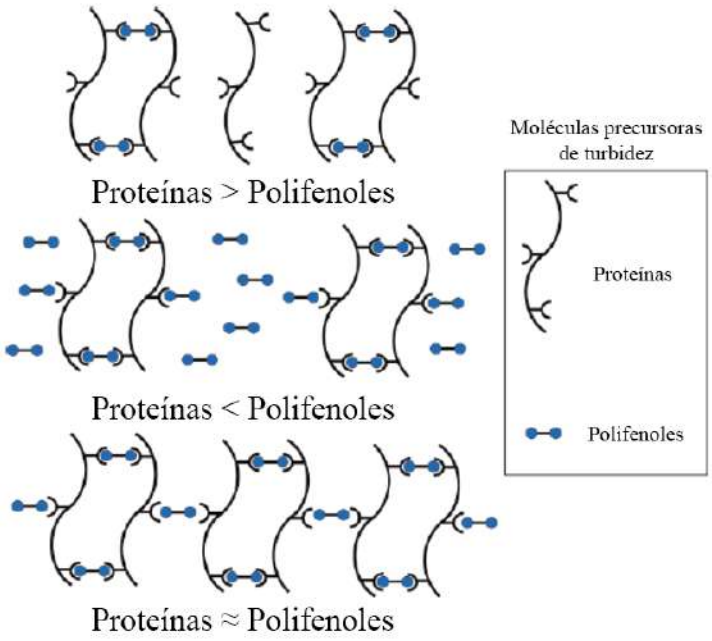

Figura 10: Modelo de interacción proteína-fenol en turbidez de cerveza. Fuente: **Adaptado de** Mastanjević et al. (2018); (Wang & Ye, 2021)

La permanencia de turbidez en la cerveza depende de la proporción de la relación proteína-polifenol. Mayor presencia de proteínas no genera enlaces a polifenoles que no permiten la adhesión de estas moléculas a otras. Si existe mayor presencia de polifenoles, las proteínas se verán saturadas impidiendo la interacción con otras proteínas. Por otra parte, si existe una concentración igual o similar de ambos compuestos, se formaría turbidez a causa de las largas partículas coloidales generadas entre su interacción.

Entre las principales proteínas presentes en la malta y que se han demostrado ser parte de la turbidez se encuentran 4 grupos: albúminas, globulinas, gluteínas y prolaminas (u hordeínas). Las albúminas y globulinas tienen mayor influencia en la turbidez fría, mientras las hordeínas y gluteínas presentan mayor presencia en la turbidez permanente. La razón es

porque las hordeínas son ricas en prolina, un aminoácido con gran afinidad hacia polifenoles, principalmente proantocianidinas (Kahle et al., 2021; Suárez, 2013; Wang & Ye, 2021).

Varios autores atribuyen la presencia de glucanos como generadores de turbidez. Los β-glucanos y α-glucanos son carbohidratos que se presentan al existir una modificación inadecuada del proceso de malteado, además de una maceración ineficiente para la obtención de mosto. El almidón de malta se compone principalmente de dos polisacáridos: Amilosa (20-30%) y Amilopectina (70-80%). Estos compuestos deben degradarse por efecto de las amilasas que actúan en el proceso de maceración, *mash (Kahle et al., 2021; Steiner et al., 2010).* Una degradación ineficiente del almidón puede ocurrir por falencias en procesos de: Malteado, molienda, maceración, sacarificación tardía y estrés en levaduras.

El β-glucano persiste a través del malteado, maceración y ebullición del mosto, para ser un residuo no fermentable que afecta la turbidez de la cerveza terminada. Este compuesto incrementa la viscosidad del medio, causando problemas en procedimientos como la filtración, ya que de acuerdo con Kahle et al. (2021), resulta difícil o imposible de remover con tierra de diatomeas o filtros de membrana. Los glucanos también interactúan con los complejos proteína-polifenol por la afinidad de formar puentes de hidrógeno, aumentando la posibilidad de formar turbidez fría.

El estrés en levaduras, especialmente las de alta fermentación, puede liberar carbohidratos en forma de glicógeno, glucanos y manano oligosacáridos. No obstante, la turbidez tanto de α-glucanos como glucanos provenientes de levaduras tienen poca concurrencia.

Otro factor que genera turbidez se deriva de la presencia de oxalato de calcio. Este factor se genera por la interacción entre calcio y ácido oxálico presente en la malta. La corrección de sales en el agua para macerado y lavado, incide directamente sobre la formación de oxalato de calcio. Aguas blandas con bajas cantidades de calcio generan pequeñas moléculas de sales de oxalato fácilmente separables con la floculación de las levaduras (Kahle et al., 2021; Mastanjević et al., 2018; Steiner et al., 2010).

El problema radica cuando se utiliza agua enriquecida en calcio, o aguas duras con gran presencia de sales que saturan la bebida con residuos de oxalato de calcio. Este compuesto tiende a cristalizarse y precipitar en concentraciones mayores a 20 mg/L o si existe presencia de sedimentos derivados de causas biológicas y no biológicas. Su corrección es potencialmente sencilla: Ser cuidadoso en la adición de calcio durante la corrección de sales en el agua, o permitir mayor tiempo de maduración que ayude a precipitar el compuesto.

Por último, la turbidez también puede generarse por materia inorgánica. Entiéndase como materia inorgánica a partículas ajenas a las materias primas, que han sido introducidas en la cerveza por otros medios. Los autores destacan a sustancias filtrantes que se abren paso hasta la cerveza final, o residuos de envases, etiquetas, suciedad proveniente de la limpieza incorrecta de botellas o latas, entre otros.

Entre los principales residuos se encontraron partículas microscópicas de aluminio,

pequeños residuos de etiquetas, partículas diminutas de vidrio. Como sustancias filtrantes y aglutinantes se encontró PVPP (*polyvinilpolypyrrolidone*), *Kieselguhr*, y residuos de gel de sílice, sustancia utilizada para la absorción de proteínas causantes de turbidez. (Kahle et al., 2021; Siebert, 2006; Steiner et al., 2010).

4. CONCLUSIONES

Existe mayor tendencia hacia la investigación de cerveza industrial frente a la artesanal. Este aspecto mostró que hay un nicho investigativo en la producción de cerveza artesanal. Con un mercado que se encuentra en auge, la demanda de mejoras en la calidad y procesos tecnológicos es imprescindible. No todas las empresas artesanales cuentan con los recursos tanto económicos, como tecnológicos que posee una cervecería industrial, por lo cual deberían tratarse como dos procesos distintos.

Las investigaciones demostraron la inclinación a discriminar las cervezas de alta fermentación y generalizarlas en el término cerveza. Las cervezas tipo *ale* presentan poca participación en estudios específicos, mientras que las cervezas tipo *lager* destacan con presencia de estudios. Es importante diferenciar las condiciones de operación en las etapas de fermentación, maduración ya que afectan la percepción del producto final, generando una serie de variables que requieren ser investigadas y contrastadas entre cervezas *ale* y *lager*.

La turbidez está presente en cervezas artesanales de alta fermentación ya que en las pequeñas y medianas empresas no acostumbran a realizar procesos de clarificación después de la maduración. A la vez, en muchas cervecerías aprovechan las levaduras residuales para lograr una re-fermentación en botella, que promueve la generación de CO_2. Si se suma a esto, la falta de control en la temperatura, y protocolos de limpieza, hacen que la cerveza en el mercado artesanal sea más propensa a contaminarse. La turbidez afecta de manera directa la percepción de calidad, la estabilidad del producto y su consecuente vida útil.

La turbidez no biológica se relaciona con la estabilidad coloidal, específicamente con la interacción proteína-polifenol. El proceso cervecero debe estar correctamente controlado para evitar la generación de compuestos de naturaleza coloidal, mismos que podrían presentarse en el producto terminado de manera inmediata, o formarse durante el tiempo de vida útil, conservación y transporte de este. Los factores biológicos más comunes en la turbidez son la presencia de bacterias como *Lactobacillus*, *Pectinatus*, hongos del género *Fusarium* y levaduras de tipo *Saccharomyces* y *No-Saccharomyces*.

Si bien existen procesos físicos y químicos para disminuir la turbidez, muchos de estos modifican la percepción final de las cervezas *ale*. Además de ser, posibles focos generadores de turbidez por materia inorgánica. Procesos como la filtración y adición de floculantes pueden filtrar residuos hacia la cerveza final.

5. REFERENCIAS

Andrade, M. (2019). *Hidrolizados de levadura mediante tratamientos hidrotérmicos: caracterización y separación de componentes.* (Tesis de Masterado). Universidad de Oviedo, Retrieved from https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/59493/TFM_MARIA_ANDRADE_GULIAS.pdf?sequence=4

Cárdenas, M. (2016). *Diseño de un Filtro para Cerveza Artesanal.* (Tesis de Pregrado). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. Retrieved from http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2016/fac266d/doc/fac266d.pdf

Chávez, J. R. (2019). *Desarrollo de un estilo de cerveza artesanal Weissbier "ideal", mediante caracterización sensorial por método cata y pruebas fisicoquímicas y microbiológicas en tres formulaciones.* (Proyecto de investigación). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador. Retrieved from http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/18339/1/T-UCE-0008-CQU-105.pdf

Cuellar, L. (2015). Desventajas de carbonatación natural en la aclaración natural de Cerveza Artesanal. Retrieved from https://www.cerveza-artesanal.co/desventajas-de-carbonatacion-natural-en-la-aclaracion-natural-de-cerveza-artesanal/

Espinoza, E. (2021). *Manual de procesos operativos, fisicoquímicos y microbiológicos, para una microcervecería en Baja California.* (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, Baja California. Retrieved from https://repositorioinstitucional.uabc.mx/bitstream/20.500.12930/7956/1/MXL123020.pdf

Ferreyra, L. (2014). *Elaboración de cerveza: Historia y evolución, desarrollo de actividades de capacitación e implementación de mejoras tecnológicas para productores artesanales.* Universidad de la Plata, Argentina. Retrieved from https://lipa.agro.unlp.edu.ar/wp-content/uploads/sites/29/2020/03/Trabajo-Final-Leonel-Ferreyra-.pdf

Galarza, A. (2018). *Elaboración de cerveza Amber Ale de alta fermentación saborizada y aromatizada con frutas y plantas aromáticas ecuatorianas.* (Trabajo de titulación). Universidad Central del Ecuador, Quito.

Gómez, A. (2014). *Mejora y optimización del proceso de Elaboración de la cerveza dentro de una Industria cervecera.* (Tesis de maestría). Universidad Politécnica de Valencia, Retrieved from https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/39991/Trabajo%20final%20de%20grado.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Guerberoff, G. K., Marchesino, M. A., López, P. L., & Olmedo, R. H. (2020). El perfil sensorial de la cerveza como criterio de calidad y aceptación. *Nexo agropecuario. Revista de difusión socio-tecnológica, 8*. Retrieved from https://revistas.unc.edu.ar/index.php/nexoagro/article/view/28926

NTE INEN 2262: Bebidas alcohólicas. Cerveza. Requisitos, NTE INEN 2262 C.F.R. (2013).

Jaramillo, P. (2018). Cervezas artesanales, un mercado que emerge bien. *Revista Gestión, 269,* 50. Retrieved from https://www.revistagestion.ec/empresas/cervezas-artesanales-un-mercado-que-emerge-

bien#:~:text=Al%20ecuatoriano%20le%20gusta%20la,2%25%20prefiere%20tomar%20solamente%20cerveza.
Kahle, E.-M., Zarnkow, M., & Jacob, F. (2021). Beer Turbidity Part 1: A Review of Factors and Solutions. *Journal of the American Society of Brewing Chemists, 79*(2), 99-114. doi:10.1080/03610470.2020.1803468
Lataza, M., Bianchi, M., Sosa, G., & Benítez, E. (2020). Problema en los procesos de postenfriamiento en la producción de Cervezas Artesanales. *IX Congreso Argentino de Ingeniería Química, s/v*, s/p.
Liberati, A., Altman, D. G., Tetzlaff, J., Mulrow, C., Gøtzsche, P. C., Ioannidis, J. P., . . . Moher, D. (2009). The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. *Journal of clinical epidemiology*, *62*(10), 1-28. doi:https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000100
Liu, S. Q. (2015). 17 - Impact of yeast and bacteria on beer appearance and flavour. In A. E. Hill (Ed.), *Brewing Microbiology* (pp. 357-374). Oxford: Woodhead Publishing.
Llanos, J. (2020). *Cerveza artesanal versus cerveza industrial: un análisis de las preferencias de los jóvenes universitarios en Mar del Plata.* Universidad Nacional de Mar del Plata, Retrieved from http://nulan.mdp.edu.ar/3350/1/llanos-2020.pdf
Martinez, A. (2015). *Análisis comparativo de compuestos bioactivos en cerveza artesanal y cerveza industrial.*
Martínez, J. (2013). *Plan de Negocio para la apertura de una planta embotelladora de Cerveza Artesanal en la ciudad de Quito.* (Tesis de Pregrado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador. Retrieved from http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/5595/T-PUCE-5747.pdf?sequence=1#:~:text=Fray%20Jodoco%20Rique%2C%20fundador%20de,el%20convento%20de%20San%20Francisco
Mastanjević, K., Krstanović, V., Lukinac, J., Jukić, M., Vulin, Z., & Mastanjević, K. (2018). Beer–The Importance of Colloidal Stability (Non-Biological Haze). *Fermentation, 4*(4), 91. Retrieved from https://www.mdpi.com/2311-5637/4/4/91
Oddone, S. (2020). *Matemática de la cerveza: 2* (Vol. 1). Argentina: Editorial Autores de Argentina.
Peña, N., Ruiz, M., Pérez, É., Fernández, I., & Barat, J. M. (2020). Microbial stabilization of craft beer by filtration through silica supports functionalized with essential oil components. *LWT, 117*, 108626. doi:https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108626
Pratt-Marshall, P., Brey, S., De Costa, S., & Stewart, J. B. Y. G. (2002). Fabricación de cerveza de alta densidad. Un inductor de estrés en la levadura. *Cerveza y Malta, 161*(1), 31-37. Retrieved from https://www.ros.hw.ac.uk/handle/10399/1175
RAE. (2020, 2020). Definición de Cerveza. Retrieved from https://dle.rae.es/cerveza
Ramirez, C. (2016). *Estandarización de los procesos de fabricación de cervezas en planta piloto.* (Tesis de maestría). Universidad de Chile, Chile. Retrieved from http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/141788
Ramírez, P. (2004). *Detección de la contaminación por Bacterias Lácticas en Cerveza tipo Ale elaborada por la Compañía Cervecera Kuntsmann S.A.* (Tesis de Pregrado). Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. Retrieved from http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2004/far173d/pdf/far173d.pdf
Sánchez, I. R. (2008). *Evaluación nutrimental del sedimento de Cerveza elaborada con*

cebada maltera. (Tesis de Pregrado). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pachuca de Soto, Hidalgo. Retrieved from http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/1695/Evaluaci%F3n%20nutrimental%20del%20sedimento%20de%20cerveza%20elaborada%20con%20cebada%20maltera.pdf?sequence=1

Siebert, K. J. (2006). Haze formation in beverages. *LWT - Food Science and Technology, 39*(9), 987-994. doi:https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.02.012

Steiner, E., Becker, T., & Gastl, M. (2010). Turbidity and Haze Formation in Beer — Insights and Overview. *Journal of the Institute of Brewing, 116*(4), 360-368. doi:https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2010.tb00787.x

Stewart, G. G. (2016). 10 - Beer Shelf Life and Stability. In P. Subramaniam (Ed.), *The Stability and Shelf Life of Food (Second Edition)* (pp. 293-309): Woodhead Publishing.

Suárez, M. (2013). *Cerveza: Componentes y Propiedades.* (Tesis de Maestría). Universidad de Oviedo, Oviedo, España. Retrieved from https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/19093/TFM_%20Maria%20Suarez%20Diaz.pdf?sequence=8

Urrútia, G., & Bonfill, X. (2010). Declaración PRISMA: una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis. *Medicina Clínica - Elsevier Doyma, 135*, 507-5011. Retrieved from https://bmjopen.bmj.com/content/bmjopen/suppl/2013/06/10/bmjopen-2012-002330.DC1/bmjopen-2012-002330supp_PRISMA-2010.pdf

Wang, Y., & Ye, L. (2021). Haze in Beer: Its Formation and Alleviating Strategies, from a Protein–Polyphenol Complex Angle. *Foods, 10*(12), 3114. Retrieved from https://www.mdpi.com/2304-8158/10/12/3114

Zambrano, J., & Borbor, K. (2014). *Utilización de una nueva cepa de levadura en el proceso de fermentación en una industria cervecera en la ciudad de Guayaquil.* (Tesis de grado). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil.

6. MARCO TEÓRICO:

6.1. La cerveza

La cerveza es definida como una bebida alcohólica elaborada a partir de granos germinados de cebada u otros cereales fermentados en agua, aromatizada con lúpulo y otros adjuntos (RAE, 2020). En Ecuador, la norma NTE INEN 2262 define a la cerveza como una bebida de bajo contenido alcohólico resultante de una fermentación natural controlada, cuyo mosto se genere a partir de cebada malteada sola o con adjuntos, adicionada lúpulo y/o derivados (INEN, 2013).

Gómez (2014) explica que la diferencia principal existente entre los tipos de cerveza radica en su fermentación. Existen diversas cepas de levaduras utilizadas en fermentaciones de cerveza de las cuales se pueden dividir en dos categorías primordiales: Cervezas *Ale* de alta fermentación y cervezas *Lager* de baja fermentación.

Las cervezas *lager*, también conocidas como cervezas de "baja fermentación" debido a la naturaleza de las levaduras utilizadas, ya que se asientan en el inferior del equipo durante la fermentación. La temperatura necesaria para fermentar una cerveza *lager* es más baja que el tipo *ale*, situándose en un rango entre 7ºC y 15ºC. Entre otras diferencias, se encuentra el tiempo de fermentación de 10 días como mínimo y un tiempo mayor de maduración, alargándose hasta semanas o meses dependiendo los *flavors* buscados en cada estilo (Ramirez, 2016; Zambrano & Borbor, 2014).

Por otra parte, las cervezas *ale* se caracterizan por una disminución más rápida de los azúcares del mosto en el proceso de fermentación. La cepa de levadura utilizada, *Saccharomyces cerevisiae* permanece en suspensión por lo cual se cataloga como una fermentación "alta" o superficial, además de necesitar una temperatura de fermentación comprendida entre 18ºC y 25ºC. El periodo necesario para fermentar y madurar es relativamente corto, entre 3 y 5 días para cada etapa. (Ramirez, 2016; Zambrano & Borbor, 2014). Las cepas específicas de *S. cerevisiae* utilizadas en las cervezas *ale*, acompañadas de temperaturas de fermentación altas brindan a la cerveza un mayor contenido de alcohol, además de resaltar sabores y aromas robustos (Ramirez, 2016).

6.2. MATERIA PRIMA EN LA ELABORACIÓN DE CERVEZA

La cerveza en general necesita de cuatro componentes fundamentales: Agua, malta, lúpulo y levaduras (Ramirez, 2016) sobre los cuales se profundizará en los siguientes apartados.

El agua es el mayor constituyente de la cerveza ya que representa un aproximado del 90% del peso final. Este ingrediente fundamental marcará notablemente la calidad del producto

final (Gómez, 2014; Ramirez, 2016). La misma debe ser pura y potable para evitar contaminación microbiológica, además de olores y sabores que no concuerden con el estilo y tipo de cerveza (Zambrano & Borbor, 2014).

Se debe tomar particular cuidado con el agua utilizada en la producción de cerveza, ya que las sales que pueda incluir influyen indirectamente sobre las reacciones enzimáticas y coloidales existentes en el proceso de elaboración de cada estilo de cerveza. Es así como distintas cervecerías suelen corregir la dureza del agua para eliminar los minerales y luego añadirlos, de ser necesario, a razón de favorecer el perfil buscado para cada cerveza. (INEN, 2013; Zambrano & Borbor, 2014).

La malta es el resultante del proceso de germinación controlada del grano de cebada, a la cual posteriormente se seca y tuesta en distintos grados para su utilización en la elaboración de cerveza (INEN, 2013). Al detener la germinación de la malta, los nutrientes que se encuentran en el endospermo se degradan por acción enzimática, obteniendo un grano con concentraciones elevadas de almidón además de gran capacidad enzimática (Ramirez, 2016).

Aunque existen varios cereales que pueden ser malteados, la cebada obtiene mejor rendimiento y resultados en comparación a las demás. Sus características físicas como grosor y uniformidad del grano, forma redondeada y color, a la par de características bioquímicas como absorción de agua y germinación rápida y uniforme, permiten mayor rendimiento de malta de cebada durante el proceso de malteado (Gómez, 2014).

En el proceso de elaboración de cerveza, el lúpulo es el responsable de brindar el amargor y aroma característicos de esta bebida, a la par ayuda en estabilidad biológica de la misma (Ramirez, 2016). Estas flores contienen una resina amarillenta llamada lupulina, que posee gran variedad de componentes conocidos como alfa-ácidos. Al añadirse al cuerpo de la cerveza brindan amargor, contribuyen a la formación y estabilidad de espuma e inhiben la acción microbiana actuando como conservante (Ramirez, 2016; Zambrano & Borbor, 2014).

Según Oddone (2020), el lúpulo contiene un promedio de 35% de lupulina, que se aprovechará en base a la cantidad de hervor a la cual se someta y la presentación del lúpulo, ya sea en flor o pellets. El autor reporta los porcentajes de rendimiento mostrados en la Tabla 4.

Tabla 4: Aprovechamiento del lúpulo según tiempo de hervor.

Tiempo de hervor (min)	**Porcentaje de utilización (%)**	
	Flor	**Pellets**
0 a 9	5	9

10 a 19	12	15
20 a 29	15	19
30 a 44	19	24
45 a 59	22	27
más de 60	27	34

Adaptado de: Oddone (2020)

El lúpulo utilizado en la industria suele encontrarse en diversas presentaciones siendo la forma de pellet la más general. Durante la cocción del mosto se debe agregar lúpulo en variedades, cantidades y tiempos definidos para determinar el amargor, sabor y aroma de la cerveza. De manera general los lúpulos utilizados al comienzo del hervor son los responsables del amargor, mientras los que se agregan al final aportan mayormente aroma y sabor (Ramirez, 2016).

Según tradiciones de estilos particulares de cerveza, e incluso mejora de rendimientos y como consecuencia su reducción de costos, se pueden utilizar otras fuentes de almidón distintas a la cebada malteada. Granos malteados como trigo o avena, o sin maltear como el arroz, maíz, cebada. En la Tabla 5 se exponen datos importantes a considerar de los adjuntos más utilizados en el proceso cervecero, según Ramirez (2016):

Tabla 5: Características de adjuntos cerveceros.

Adjunto	**Color**	**Poder diastático**	**Extracto**	**Uso**
	(EBC)	[ºWK]	[%]	[%]
Cebada malteada	3	311	82	100
Trigo Malteado	3 - 4	405	86,2	100
Avena malteada	4	269	64,6	30
Quinua malteada	5	81	83,2	-
Maíz	1,6	≈0	60,7	40
Arroz	2	≈0	87,4	40
Trigo sin maltear	2,8	≈0	75,6	50
Cebada sin maltear	4 - 6	≈0	75,6	30
Avena sin maltear	4 - 6	≈0	55,2	30
Centeno	4 - 6	≈0	75,6	30

Fuente: Adaptado de (Ramirez, 2016))

Las levaduras son las encargadas de convertir los azúcares fermentables del mosto en alcohol, además de brindar el perfil sensorial y estabilidad de la cerveza (Gómez, 2014). La forma típica de reproducción de las levaduras es la gemación. Cuando las levaduras se inoculan en un medio propicio con nutrientes como el mosto, empieza su crecimiento y multiplicación en seis fases: Latencia, aceleración, crecimiento exponencial, desaceleración, fase estacionaria y fase de muerte (Zambrano & Borbor, 2014).

Las levaduras mayormente utilizadas en la elaboración de cerveza pertenecen al género *Saccharomyces*, de entre las cuales existen más de 30 especies aprovechables siendo la más utilizada *S. cerevisiae* para elaboración de cervezas tipo ale y *S. carlbergensis* en cervezas lager. Para que las levaduras se desarrollen adecuadamente necesitan de una fuente de azúcares fermentables, nitrógeno asimilable, vitaminas, oxígeno y agua (Gómez, 2014).

6.3. PARÁMETROS DE CALIDAD EN CERVEZAS ARTESANALES

El color se encuentra influenciado por la naturaleza de las materias primas y las condiciones operacionales del proceso de extracción de mosto cervecero (Ramirez, 2016). El color de la cerveza varía dependiendo del porcentaje de malta base y especiales utilizado en cada receta y se mide en grados EBC (European Brewery Convention) (Gómez, 2014). Otra unidad de medición de color más utilizada son las Unidades Standard de Color (SRM, por sus siglas en inglés). Esta escala puede calcularse a partir de los grados EBC por medio de la fórmula:

$$SRM = EBC * 0.508$$

En la Figura 11 se puede apreciar una escala visual de los colores de la cerveza, con sus equivalencias en SRM y EBC:



Figura 11: Escala de color visual de cerveza en escala EBC y SRM. **Adaptado de**: Galarza (2018)**.**

Cada tipo de malta, base o especial posee una unidad de medición de color específico y la combinación de estas influirá sobre el color final de la cerveza. Los datos específicos son brindados en la ficha técnica de cada proveedor de maltas (Oddone, 2020). El grado de

tostado y las características de cada cebada malteada, situará a la cerveza final en un color específico, como se muestra en la figura 12:



Figura 12: Referencia no oficial de nombres de cervezas y escala EBC. **Adaptado de:** Ramirez (2016)

La densidad es un parámetro de calidad, siendo uno de los primeros conceptos con los cuales se enfrenta el cervecero casero al comenzar a elaborar cerveza. Su definición es la relación entre la masa y volumen de la sustancia (Oddone, 2020).

Conocer la densidad del mosto ayuda a conocer un estimado del contenido de sólidos disueltos, entre ellos los azúcares fermentables, proteínas, dextrinas, entre otros. La gravedad original (OG) y gravedad final (FG) representan una forma de controlar el proceso fermentativo, y permite analizar el consumo de azúcares fermentables que han realizado las levaduras para producir alcohol (Ramirez, 2016)

El grado alcohólico es otro parámetro importante presente en las bebidas alcohólicas. Se mide en grados alcohólicos o ABV que detalla el contenido de alcohol en porcentaje volumétrico (Ramirez, 2016). Así, cada grado de alcohol (1%) representa que existe 1ml de etanol por cada 100 mL de cerveza.

El pH permite una correcta reacción enzimática y microbiológica en los distintos procesos cerveceros. El valor óptimo para el mosto fluctúa entre los 5.3 a 5.5 y en la cerveza después de fermentación debe alcanzar un pH de 4.3 a 4.6 (Gómez, 2014).

La estabilidad de espuma es la característica que diferencia a la cerveza de otras bebidas alcohólicas. Se relaciona de manera directa con la calidad de la cerveza al lograr sinergia entre la composición coloidal y la baja turbidez (Jaramillo, 2018; Wang & Ye, 2021).

El amargor se relaciona directamente con la adición de lúpulos y sus variantes. Se expresa en Unidades Internacionales de Amargor (IBU) y permite conocer la concentración de miligramos de alfa-ácidos por litro (Ramirez, 2016). Existen estilos de cervezas que alcanzan los 100 IBU, sin embargo las cervezas lager que son mayormente comercializadas rondan

los 15 a 20 IBU y es común encontrar cervezas ale en rangos entre 10 y 50 IBU (Gómez, 2014; Ramirez, 2016).

La turbidez genera un rol importante en las cervezas, especialmente las industriales. Una cerveza limpia es la principal característica percibida por el consumidor y juega un papel decisivo en su impresión del producto. En cervezas *lager* el consumidor espera cervezas brillantes y sin rastro de turbidez. No obstante, las cervezas *ale*, al ser consideradas artesanales pueden presentar sedimentos y turbidez visible especialmente en cervezas rubias. (Kahle et al., 2021; Stewart, 2016).Varios consumidores del mercado industrial consideran a la cerveza turbia como defectuosa, y consecuente factor de riesgo (Chávez, 2019).

La turbidez puede originarse por factores biológicos como contaminación por bacterias, hongos y levaduras. También existen factores no biológicos causantes de la turbidez, ya que la cerveza es una suspensión coloidal en la cual existe presencia de proteínas, sustancias inorgánicas, polifenoles, polisacáridos y aminoácidos (Kahle et al., 2021).

Existen diversas clasificaciones de la turbidez de la cerveza, la cual se divide en dos grupos comunes: Turbidez en frío, y turbidez permanente. La turbidez fría ocurre al enfriar la cerveza a 0°C produciendo que la bebida se opaque, por interacción de los compuestos suspendidos en el medio. La turbidez permanente en cambio, se encuentra visible a temperatura ambiente y formará complejos que se precipitarán con el tiempo en el producto final (Wang & Ye, 2021).

6.4. CERVEZA ARTESANAL VS CERVEZA INDUSTRIAL

Las cervezas, artesanales e industriales se diferencian por los procesos tecnológicos y las formas de manufactura, requiriendo siempre conocimiento de técnicas, herramientas, y materiales. Generalmente las cervezas artesanales deben estar sujetas a normas como no aplicar aditivos alimentarios, además de elaborarse a partir de ingredientes naturales (Llanos, 2020).

La cerveza artesanal destaca de la industrial por su variedad de sabores y aromas, denotándose como una mayor calidad de las materias primas. Otro gran factor de elección de este tipo de cervezas es la disposición del cliente a probar nuevas experiencias sensoriales (Llanos, 2020). La Tabla 6 muestra distintas características que contrastan a la cerveza industrial y artesanal.

Martinez (2015) describe que el procesado en ambas cervezas difiere de manera importante. Las cervezas artesanales no suelen ser pasteurizadas, teniendo presencia de aromas y sabores buscados en cada receta. La falta de pasteurización acorta la vida útil de la bebida. De igual manera, no suele existir un proceso de filtrado, por lo cual el producto final tiene presencia de partículas en suspensión, influyendo sobre su turbidez.

La NTE INEN 2262 detalla que la cerveza no debe ser turbia ni contener sedimentos, a menos que su estilo lo amerite (INEN, 2013). No obstante, esta ambigüedad dentro de la normativa restaría legalidad a las cervezas artesanales, u obligaría a pequeñas cervecerías a invertir en tecnologías de filtración para poder considerar a su producto "cerveza".

Tabla 6: Caracterización de cervezas artesanales e industriales.

Característica	Artesanal	Industrial
Ingredientes	Naturales, sin aditivos ni conservantes	Contiene conservantes, y se somete a pasteurización
Producción	Heterogeneidad en el proceso productivo, además de hacerse a pequeña escala	Homogeneidad en el proceso. Ingredientes y procesos económicamente viables
Elaboración	Requiere de un maestro cervecero y mayor control	Proceso automatizado, mínima participación humana
Espuma	Espesa	Liviana
Filtrado	Ausencia o minimización del filtrado. Usualmente aprovechan propiedades floculantes	Químico y físico. Pueden destruir levaduras y proteínas de la cerveza.
		Restan sabor, calidad y aroma en la misma
Aroma	Mayor concentración en cervezas de alta fermentación	Suave
Características inherentes	Mayor gusto y aroma	Gran contenido artificial

Fuente: Adaptado de Llanos (2020)

6.5. PROCESOS TECNOLÓGICOS PARA DISMINUCIÓN DE TURBIDEZ

Existen diversos métodos físicos y químicos utilizados para reducir la turbidez en las cervezas. No obstante, muchos de estos métodos arrastran compuestos que son beneficiosos en las características de la cerveza, alterando su sabor, aroma y hasta estabilidad de espuma. (Ferreyra, 2014; Llanos, 2020)

Los procedimientos de estabilización coloidal, uno de los principales factores que genera turbidez en cervezas, deben ser aplicados teniendo en cuenta demandas tecnológicas, ecológicas, económicas y de ley en la industria. La reducción de proteínas, polisacáridos, polifenoles e iones metálicos se da por medio de compuestos floculantes y medios filtrantes.

Para la reducción de contaminantes biológicos es necesario tener una correcta limpieza

de los equipos, estableciendo buenas prácticas de higiene y contando con POES (Procedimiento Operacional Estandarizado de Saneamiento) que aseguren la correcta limpieza y desinfección de los equipos cerveceros.

Las bajas temperaturas en la etapa final de fermentación y a lo largo de la maduración ayudan en la floculación de levaduras, que de forma natural precipitan. Un correcto control de temperatura asegura cervezas limpias y brillantes. (Mastanjević et al., 2018) En cervecerías industriales existen salas de frío para fermentadores y maduradores, o equipos con la capacidad de mantener a la cerveza en frío. No obstante, esta capacidad se ve reducida en las cervecerías artesanales, ya que empresas pequeñas no cuentan con cuartos fríos ni equipos que controlen la temperatura final de la fermentación. También es común que la cerveza no pase por una etapa de maduración antes de ser embotellada, sino que se envasa luego de la fermentación y la bebida sufre un acondicionamiento ya en la botella.

El uso de sílica gel, en soluciones de silicato de sodio facilita la remoción de proteínas responsables de la turbidez. También se usa soluciones de sílica por medio de diluciones acuosas de ácido silícico tanto en mosto como cerveza. Este gel se adhiere a las proteínas haciendo que decanten, para luego ser removidas durante la filtración (Mastanjević et al., 2018; Peña et al., 2020).

La polivinilpolipirrolidina (PVPP) es un compuesto adsorbente de gran peso molecular que interactúa con las moléculas de prolina causantes de turbidez en frío y turbidez permanente. No obstante, la PVPP debe ser utilizada junto con sílica gel, ya que posee baja interacción con otras proteínas (Stewart, 2016).

La filtración es una operación unitaria con el propósito de separar sólidos insolubles presentes en una suspensión coloidal. La filtración requiere de una membrana porosa, llamada medio filtrante, que ayude en la retención de las partículas sólidas en un conglomerado denominado torta (Cárdenas, 2016). La Figura 13 describe el principio de filtración, sus etapas y productos.

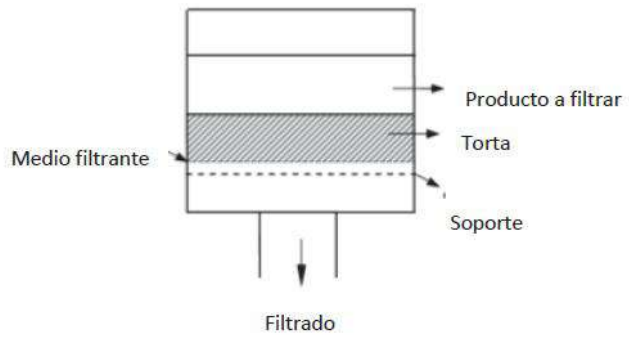

Figura 13: Principio de filtración. **Adaptado de:** Cárdenas (2016)

Un sistema de filtración utilizado en empresas es la tierra de diatomeas, generalmente coadyuvante *Kieselguhr*. La capa de tierra de diatomeas genera una torta que retiene restos

de levaduras y partículas sólidas hasta saturarse. Una vez saturada la capa filtrante, se debe reemplazar y continuar el proceso (Gómez, 2014).