

BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE PUEBLA

Facultad de ingeniería química

“Uso de quitosano como clarificante en la
producción de cerveza artesanal”

TESIS PROFESIONAL

PARA OBTENER EL TITULO DE
Licenciatura en ingeniería en alimentos

Presenta:

Edgar Almanza Rodríguez

Director de tesis:

Dr. Heriberto Hernández Cocoletzi

Puebla, Puebla a 07 de noviembre del 2023

Contenido

Resumen	4
Planteamiento del problema	5
Justificación	6
Objetivos	6
Objetivo general	6
Objetivos específicos	6
Hipótesis	6
Capítulo 1 Antecedentes	7
1.1 La cerveza	7
1.1.1 Origen de la cerveza	7
1.1.2 La cerveza como cultura en México	8
1.1.3 Estilos y tipos de cerveza.	8
1.1.4 Cerveza artesanal e industrial	9
1.1.5 Clarificante en la cerveza	10
1.1.6 Carragenina	10
1.1.7 Turbidez	11
1.1.8 Luminosidad	12
1.1.9 CIELAB	12
1.2 Proceso de fabricación de la cerveza artesanal	13
1.2.1 Maceración de la malta	13
1.2.2 Filtración del mosto previo a su cocción	14
1.2.3 Ebullición del mosto y adición de lúpulo	14
1.2.4 Clarificación, enfriado y oxigenación del mosto	14
1.2.5 Fermentación del mosto en el tanque	15
1.2.6 Clarificación y estabilización en frío	15
1.2.7 Trasiego a tanques de fermentación	15
Capítulo 2 Metodología	16
2.1 Materiales e ingredientes a utilizar	16
2.2 Elaboración de cerveza y recirculación	16
2.2.1 Maceración	16

2.2.2 Filtrado y hervido del mosto	17
2.2.3 Enfriado	17
2.2.4 Fermentación	18
2.2.5 Prueba hedónica.....	19
2.2.6 Colorimetría	20
2.2.7 Turbidez	21
Capítulo 3 Resultados y discusión	22
3.1 Cerveza obtenida	22
3.2 Prueba hedónica	23
3.2.1 Características de las muestras.....	23
3.3 Evaluación de color y turbidez	26
3.3.1 Color	26
3.3.2 Luminosidad	28
3.3.3 Turbidez	29
3.3.4 Observaciones adicionales	30
Conclusión.....	32
Referencias	33

Resumen

La cerveza es una de las bebidas más ampliamente consumidas a nivel mundial, ocupando el tercer lugar en preferencia después del agua y el té. Su proceso de elaboración involucra la utilización de diversos aditivos, siendo la carragenina uno de los más comunes, empleado como clarificante. Sin embargo, se ha asociado este compuesto con posibles riesgos para la salud, incluyendo el cáncer de colon, diabetes y el síndrome del colon irritable. Ante esta preocupación, se propone la búsqueda de una alternativa segura para los consumidores de cerveza.

La solución planteada es el empleo de quitosano como agente clarificante, dado que presenta una serie de ventajas notables. El quitosano es un biopolímero natural, económicamente accesible y ampliamente disponible en la naturaleza. Para evaluar su eficacia como clarificante, se llevaron a cabo experimentos tanto prácticos como sensoriales, analizando los resultados obtenidos. A partir de estas investigaciones, se determinó cuál de las opciones, la carragenina o el quitosano, resulta ser la elección más adecuada como clarificante en la producción de cerveza.

Planteamiento del problema

La agroindustria cervecera en México ha crecido de tal manera que es considerada una de las actividades manufactureras más importantes; en 2019 el consumo per cápita se ubicó entre los 68 litros de cerveza por persona al año. México hoy día es considerado uno de los principales consumidores y productores de cerveza en el mundo. Actualmente el estado que lidera estas cifras es Zacatecas, en el cual se consume el 24.1% del total nacional.

Existe una gran cantidad de marcas de cervezas artesanales que se han extendido de norte a sur del país; en todas ellas se utilizan diferentes aditivos, como la carragenina en la clarificación de la cerveza. Esta sustancia se utiliza tanto a nivel artesanal como industrial y suele ser nociva para la salud de los consumidores a largo plazo. Entre los problemas relacionados con la carragenina están, la inflamación de las líneas celulares intestinales y la inflamación gastrointestinal; esto se debe a que las células intestinales la absorben muy fácilmente pero no son capaces de metabolizarla (Martino, Limbergen y Cahill 2017). Es posible que provoque debilidad en el sistema inmunitario pues reduce la actividad de ciertas enzimas beneficiosas en las células humanas; incluso, una exposición en grandes cantidades puede disminuir la absorción de ciertos minerales esenciales en el organismo (The Cornucopia Institute 2016). Igualmente está asociada a problemas de resistencia a la insulina. Es posible reducir o eliminar la mayoría de estos problemas utilizando productos de origen natural como clarificante; sin embargo, hasta ahora no se han dedicado esfuerzos en esta dirección por lo que es importante abordar el problema.

Justificación

La cerveza es una bebida deliciosa del gusto de la gran mayoría de los mexicanos; es un producto de fácil acceso, pero puede llegar a poner en peligro la salud del consumidor, debido al uso de aditivos como la carragenina. Este compuesto actúa como clarificante para la cerveza. Se ha mostrado que el quitosano, biopolímero obtenido de fuentes naturales, es un excelente clarificante. Por lo que su uso en el proceso de producción de cerveza sería viable, pues es biocompatible y fácilmente degradable; además, su producción es económicamente accesible por lo que es posible hallarlo fácilmente en el mercado a precios moderados. Esto no encarecería la producción de cerveza. Además, la sustitución de la carragenina por el quitosano, ayudaría a reducir el riesgo de padecer cáncer de colon inflamación de los intestinos e incluso el riesgo de generar diabetes mellitus.

Objetivos

Objetivo general

Utilizar quitosano como clarificante en la producción de cerveza artesanal.

Objetivos específicos

- Preparar muestra de mosto para clarificar.
- Aplicar quitosano en diferentes proporciones en el hervor y en la fermentación.
- Realizar un análisis sensorial a las muestras obtenidas.
- Observar el comportamiento de las muestras tanto en los fermentadores como en el embotellado.
- Decidir en cuál parte del proceso es mejor utilizar el quitosano, durante el hervor o en la fermentación.

Hipótesis

Es posible utilizar quitosano como clarificante en la producción de cerveza artesanal.

Capítulo 1 Antecedentes

1.1 La cerveza

La cerveza es una bebida alcohólica elaborada a partir de azúcares obtenidos de diversos cereales, principalmente cebada y trigo; es saborizada y aromatizada con lúpulo, aunque es posible utilizar diferentes aditivos. Los azúcares son fermentados en agua con levadura, del género *Saccharomyces*. El desarrollo de la cerveza artesanal y su consecuente cultura cervecera, se habría producido de forma independiente y sorprendentemente similar en Mesopotamia, África, Oriente y América; se considera, por tanto, una bebida alcohólica milenaria, de las más antiguas del planeta (Nelson, 2008). Es también importante mencionar que la cerveza es la tercera bebida más consumida a nivel mundial, únicamente superada por el agua y el té (Rivera, JA· 2008).

1.1.1 Origen de la cerveza

Aun cuando la cerveza es uno de los inventos biotecnológicos de la historia, no existe un denominado inventor de la cerveza, ni tampoco un pueblo que pueda afirmar que bebía cerveza antes que otros; lo más aceptado es que fue descubierta junto al pan. Se dejaron algunos granos de cebada olvidados y las condiciones de humedad y las bacterias iniciaron un proceso de fermentación, dando lugar esta bebida. Se sabe que en las orillas de los ríos Tigris y Éufrates los sumerios hace 6000 años ya elaboraban y consumían cerveza; más antiguamente, los vikingos ya elaboraban su famosa hidromiel, considerada la cerveza de los vikingos. Los babilonios heredaron de los sumerios el arte de cultivar las tierras y junto a este el gran conocimiento de la elaboración de la cerveza. El rey Hammurabi dispuso en su decreto las normas establecidas para la elaboración de esta bebida convirtiéndola así en el primer producto regido por normativas establecidas para su elaboración. Otras teorías establecen que, en Mesopotamia, hace alrededor de 8000 años, un vagabundo hambriento comió un pan húmedo fermentado, experimentando de esta manera los efectos del alcohol. La preparación incubando migas de pan con agua también se encuentra registrada en tablillas de arcilla de

hace 4000 años en Egipto; esos efectos estimulantes producidos por el alcohol, fueron atribuidos al dios Osiris, dios de la agricultura ([Joshua J. Mark](#), 2013).

1.1.2 La cerveza como cultura en México

Toda la cultura de la cerveza en México comienza en el año 1542, cuando Alfonso Herrera, uno de los emisarios de Hernán Cortés, solicitó al emperador Carlos V un permiso para abrir un establecimiento encargado de la producción de cerveza; éste se encontraría ubicado en las faldas de los volcanes Popocatepetl e Iztaccíhuatl, en la Hacienda El portal, lo que actualmente conocemos como Amecameca Estado de México. Esta primera cervecería en México tuvo actividad entre 4 y 5 años; su corta existencia se debió a que el precio era poco accesible para el público y a la insuficiente producción. Todo esto detonó que México se viera en la necesidad de cultivar cebada, ya que durante esa época solo era posible importar hasta 619 barriles de cerveza. Se intentó colocar diversas cervecerías, que no florecieron por diversos factores, como la falta de cebada y de lúpulo, los cuales eran importados. En el siglo XVIII las cervecerías comenzaron a tener mayor popularidad; a mitad del siglo XIX comenzó la industrialización de la producción de cerveza nacional. A finales del siglo XIX y principios del siglo XX, comenzaron a surgir las grandes cerveceras mexicanas, como la Cervecería Toluca México fundada en el año de 1875, la cervecería Cuauhtémoc fundada en el año 1890 y la cervecería Moctezuma fundada en el año 1894.

Todo esto ha propiciado que México sea uno de los principales productores de cerveza a nivel mundial. Orgullosamente podemos decir que en el año 2018 se produjeron 120 millones de hectolitros de cerveza, de los cuales 40 millones fueron exportados; esto permitió que nuestro país se colocara como número uno en exportación de cerveza y el cuarto en producción a nivel mundial (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2019).

1.1.3 Estilos y tipos de cerveza.

Existen diferentes factores que caracterizan los estilos de cerveza; en algunos casos son los pasajes históricos, que han suscitado algún cambio en los procesos

o ingredientes de elaboración, los cuales a lo largo del tiempo han ido definiendo dichos estilos. Existen 2 grandes familias de cerveza: tipo Ale y tipo Lager.

En el caso de la cerveza Ale, el primer factor a destacar es la levadura, *saccharomyces cerevisiae*. Es también utilizada para la elaboración de vino y pan y es capaz de trabajar en ambientes de constantes cambios, como en temperaturas un tanto fluctuantes, incluso, en niveles altos de alcohol. Es de fermentación alta, ya que se posiciona en la parte superior del tanque de fermentación y decanta a través del tiempo una vez que el proceso está casi por finalizar. Es la levadura más utilizada en la industria cervecera ya que fermenta muy rápido; el proceso de fermentación suele terminar en una semana. En las cervezas Lager se utiliza la levadura *saccharomyces pastorianus* (Leonel Ferreyra, 2014).

1.1.4 Cerveza artesanal e industrial

De manera genérica, una cerveza es una bebida fermentada, elaborada a base de cebada malteada (Cebada germinada), levadura, lúpulo y agua. Existen algunas diferencias en el proceso de producción entre la cerveza artesanal y la industrial. Con el fin de incrementar el rendimiento, en la producción de cerveza industrial es usual utilizar hasta un 75% de arroz u otros granos, además de una cantidad muy baja de lúpulo; también se agregan aditivos para acelerar el tiempo de fermentación del mosto, consecuentemente, los estilos de cerveza son muy limitados.

En cambio, la cerveza artesanal se elabora en un 100% con cebada malteada y maltas de especialidad que conllevan distintos tostados para poder brindar distintos estilos de cerveza, desde cervezas blonde Ale hasta cervezas Porter. También es posible producir cervezas tipo lager, cuyo proceso de producción requiere temperaturas muy específicas de fermentación. Se utilizan además diferentes insumos para poder brindar nuevas experiencias al ser consumidas; en algunas cervezas artesanales se utiliza cáscara de naranja, mandarina e incluso toronja para su elaboración. Otras utilizan diferentes maderas para madurar las cervezas, ya sea en barricas o con pequeños trozos de la madera seleccionada durante su fermentado. Existen cervezas en las que se utilizan diferentes frutas que se

fermentan junto con el mosto de cerveza o con algunas especias como coriandro, laurel, entre otros insumos. Todo esto es el margen de mayor diferencia entre la cerveza industrial y la cerveza artesanal; algo importante a resaltar es la cantidad grande de sabores que se pueden obtener (Paola, García, 2018).

1.1.5 Clarificante en la cerveza

La turbidez en una cerveza nunca es indicio de mala calidad o de que exista algún problema en ella. Ésta corresponde a todas las proteínas desnaturalizadas que fueron liberadas a en el proceso de elaboración; provienen en su mayoría de la cebada y de algunos adjuntos que suelen ser añadidos a la cerveza. En la actualidad, el consumidor en su mayoría busca cervezas de colores cristalinos, sin rastro de materia flotando en su bebida. A lo largo del tiempo se han utilizado algunos aditivos para poder eliminar esta proteína dispersa. Uno de ellos es la carragenina, la cual se agrega 10 minutos antes de concluir el hervor del mosto; ayuda a flocular las proteínas sin eliminar todos los sólidos, obteniéndose como resultado una cerveza más clara. Su desventaja es que tiene un potencial riesgo a la salud (Brad Smith, 2014); es un aditivo alimentario ampliamente utilizado. Debido a estas propiedades funcionales son utilizados en distintos productos alimenticios como aditivo. Otro clarificante muy utilizado es la gelatina sin sabor, la cual es agregada al fermentador. Esta tiene la ventaja de que su disponibilidad es alta y relativamente económica; la principal desventaja es que se requiere mantener de 2 a 3 días a una temperatura no mayor que 10 °C, lo cual no es fácilmente accesible a los cerveceros artesanales. La solución de sílice (soluciones o geles derivadas de silicatos) es raramente utilizada; aunque es relativamente segura para la salud, su disponibilidad es baja, consecuentemente cara. Una desventaja adicional es que suelen añadir algunos sabores no deseados a la cerveza, incluso afectan la estabilidad de su espuma (el cervecero, 2017).

1.1.6 Carragenina

La carragina es un aditivo alimentario utilizado en diferentes procesos se denota como aditivo con las siglas SIN 407 es un polisacárido que esta presente en la

estructura de ciertas variedades de algas rojas (Rhodophyceae), estos polisacáridos tienen la particularidad de formar coloides espesos en medios acuosos a muy bajas concentraciones. Debido a estas propiedades funcionales son utilizados en distintos productos alimenticios como aditivo con diferentes aplicaciones se encuentra en 3 tipos : Kappa, iota y lambda las dos primeras son utilizadas como agentes gelificantes mientras que la última se comporta como espesante. (Youmi Paz Olivas, 2018)

Los carragenanos son polisacáridos extraídos de las algas rojas de la familia de Rhodophyceae son de origen vegetal y llenan espacios vacíos dentro de las estructuras de las plantas (fig 1). La composición de estos carragenanos varía de una a otra especie de algas rojas ya que existen diferentes tipos de carragenina con estructuras distintas con propiedades químicas distintas lo que hace que su uso igualmente sea distinto dentro de las que son de interés comercial se encuentran: iota, kappa y lambda el uso de cualquiera de estas está relacionado con su capacidad de formar soluciones espesas o geles.

1.1.7 Turbidez

La turbidez es una medida de la claridad o transparencia de un medio, como un líquido o un gas. Indica la cantidad de partículas suspendidas o sustancias disueltas en el medio que pueden dispersar o absorber la luz incidente. La turbidez se utiliza normalmente en la física y la ciencia ambiental para evaluar la calidad del agua, la contaminación atmosférica y otros fenómenos relacionados.

Existen diferentes métodos para medir la turbidez, pero uno de los más utilizados es el método de la dispersión de luz. En este método, se emite un haz de luz a través del medio y se mide la cantidad de luz dispersada en diferentes ángulos. Cuanto mayor sea la cantidad de luz dispersada, mayor será la turbidez del medio. La turbidez se puede cuantificar utilizando el coeficiente de extinción (b) o el coeficiente de dispersión (c). Estos coeficientes están relacionados con la concentración y el tamaño de las partículas suspendidas en el medio.

Las mediciones de turbidez se llevaron a cabo en un equipo HACH 2100 turbidity meter como es observable en la figura 11 se llevaron a cabo por triplicado en

unidades NTU, las unidades NTU (Nephelometric Turbidity Units) son una medida usada utilizada para cuantificar la turbidez de un líquido. La unidad NTU se basa en la técnica de nefelometría, que consiste en medir la cantidad de luz dispersada por las partículas suspendidas en el medio.

La escala NTU es arbitraria y no tiene una relación directa con una propiedad física específica de las partículas suspendidas. Sin embargo, se ha establecido un estándar utilizando suspensiones de partículas de formazina, que se utilizan como referencias para calibrar los instrumentos de medición de turbidez.

1.1.8 Luminosidad

La luminosidad se refiere a la cantidad total de energía radiante emitida por un objeto o una fuente de luz en todas las direcciones. Es una medida de la potencia radiada y semi en vatios (W). La luminosidad es un concepto fundamental en la física de la luz y está relacionado con la intensidad luminosa y el flujo luminoso.

La intensidad luminosa (I) es la cantidad de luz que se emite en una dirección específica y se mide en candelas (cd). Representa la cantidad de energía luminosa que pasa a través de una unidad de área en un tiempo determinado.

El flujo luminoso (Φ) es la cantidad total de energía radiante emitida por una fuente en todas las direcciones y se mide en lúmenes (lm). Es una medida de la cantidad total de luz que se emite.

1.1.9 CIELAB

El espacio de color CIELAB (también conocido como Lab o L a b*) es un modelo de espacio de color tridimensional que se utiliza para representar de manera uniforme el color humano perceptible. Fue desarrollado por la Comisión Internacional de Iluminación (CIE) en 1976. El modelo se basa en la percepción visual y se divide en tres componentes: L* (luminosidad), a* (componente de cromacidad en el eje rojo-verde), y b* (componente de cromacidad en el eje amarillo-azul). CIELAB es independiente del dispositivo y se utiliza ampliamente en la industria gráfica, la ciencia de la imagen y la investigación del color debido a su capacidad para representar de manera coherente y precisa el color.

1.2 Proceso de fabricación de la cerveza artesanal

A continuación se resaltan los pasos llevados a cabo en elaboración de la cerveza.

1.2.1 Maceración de la malta

La maceración es el proceso mediante el cual se extraen todas o la mayoría de las sustancias contenidas en el grano, nutrientes necesarios para que la levadura sea capaz de llevar de manera adecuada el proceso de fermentación; esta extracción se lleva a cabo mediante la acción del agua de calor y de diferentes enzimas ya existentes en el grano.

Al poner en contacto la molienda con el agua, algunos componentes de la malta se disuelven directamente; sin embargo, esto representa una pequeña parte del peso de la malta. Es necesario optimizar la extracción usando una secuencia de temperatura y tiempo de cocción, como se puede observar en la figura 1. La temperatura favorece la acción de las distintas enzimas formadas en el malteado, contribuyendo a la total disolución del contenido de la malta.

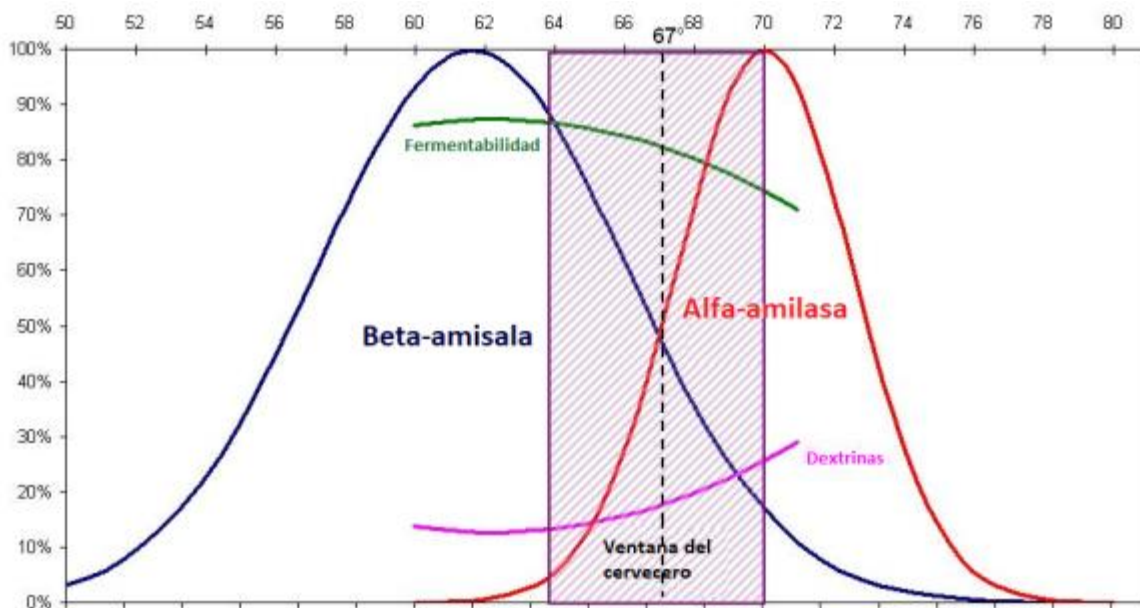


Figura 1. Actividad enzimática en el macerado (Palmer, Mr. Wizard y Narziss)

1.2.2 Filtración del mosto previo a su cocción

La filtración es la operación que permite separar el mosto de las partes insolubles del grano, formadas por la cascarilla del grano, la cual es conocida como bagazo.

La filtración se realiza a través de las cascarillas en 2 etapas:

- Primera: Obtención de primer mosto (mosto denso)
- Segunda: Se hace pasar agua a través del lecho filtrante para ir clarificando el mosto.

1.2.3 Ebullición del mosto y adición de lúpulo

El mosto dulce se somete a ebullición ya que:

- Ocurre una estabilización biológica y se eliminan las enzimas inherentes al grano, cuya actividad enzimática debe ser detenida de lo contrario supondría algunas alteraciones del sabor y de la densidad, diferentes a las esperadas.
- Favorece a la formación de turbio, que tiene una gran cantidad de proteínas desnaturalizadas, las cuales alteran el color final del producto; al formarse en la ebullición, es posible eliminarlo antes de ser colocado en los tanques de fermentación.
- El mosto se concentra hasta la densidad esperada, gracias a la evaporación que se produce.
- Se esteriliza el mosto de cualquier agente biológico no deseado.
- Se aromatiza y saboriza con el lúpulo.
- En el caso de que se desee utilizar algún otro tipo de aditivo (Hiervas, frutas, etc), deben utilizarse 15 minutos antes de concluir con el hervor, esto ayudará a eliminar microorganismos patógenos del material utilizado, el método de adición depende del tipo de aditivo y de la persona que lleve a cabo el proceso, ya que puede utilizar los diferentes aditivos a su conveniencia.

1.2.4 Clarificación, enfriado y oxigenación del mosto

El mosto tiene que pasar por una serie de acondicionamientos previos a la inoculación de la levadura, todo esto ya con el lúpulo adicionado; estos son:

- Clarificación del mosto. El turbio formado en la ebullición es depositado en forma de torta y es eliminado, para así evitar que termine en el fermentador.

- Enfriamiento del mosto. El mosto a la salida del tanque de remolino se encuentra a alta temperatura y es necesario bajarla a unos 20°C.
- Oxigenación del mosto. La levadura requiere de oxígeno para que la fermentación inicie, a pesar de que es anaerobia.

1.2.5 Fermentación del mosto en el tanque

En la fermentación se transforman los diferentes azúcares extraídos del grano en alcohol y dióxido de carbono. Este cambio se debe a la acción biológica de la levadura. La levadura al fermentar no solamente transforma azúcares en alcohol y dióxido de carbono, sino que también de forma simultánea origina otros muchos compuestos menores (metabolitos), pero de una gran importancia para el producto final. Según la cerveza elaborada, estos compuestos menores son inherentes a las diferentes cepas de levadura obtenidas, ya que, a pesar de ser del mismo género, las cepas aisladas en lugares o de maneras diferentes, son capaces de generar metabolitos distintos. Para esto tiene gran importancia la levadura, la composición del mosto y las condiciones del proceso.

1.2.6 Clarificación y estabilización en frío

La clarificación es llevada a cabo en unos tanques conocidos como tanques remolino, llamados así por las fuerzas de rozamiento en ellos. El mosto circula hacia abajo y hacia el centro del tanque, provocando la decantación de los sólidos en el centro de la base de este. Después de 20 a 45 minutos es posible retirar el mosto clarificado, limpio de turbios y restos de lúpulo.

1.2.7 Trasiego a tanques de fermentación

Una vez llevados a cabo los puntos anteriores de manera adecuada, es posible colocar el mosto en tanques de fermentación especiales, para que surja todo este proceso bioquímico de transformación y en ellos inocular la levadura. Posteriormente pasan a su almacenamiento el cual se determina por la cepa de levadura, el tipo de cerveza elaborado o las condiciones deseadas para el producto.

Capítulo 2 Metodología

2.1 Materiales e ingredientes a utilizar

La cerveza se elaboró utilizando malta de cebada de dos hileras (maltera 6H), tres tipos de lúpulo (Cascade, Golding, Columbus), levadura (fermentis us05) y agua de garrafón, además de quitosano grado comestible (Azor biotechnologies).

2.2 Elaboración de cerveza y recirculación

Se elaboraron 4 muestras de cerveza pale ale utilizando la siguiente metodología.

2.2.1 Maceración

Se calentaron 20 L de agua a 72 °C, en un macerador de 20 L; la temperatura se midió con un termómetro de mirilla de 2.5 pulgadas (Figura 2a). A esta agua se le añadieron 4.5 kg de granos de cebada malteada y molida, manteniendo así durante 50 min. Inmediatamente después, la muestra se recirculó durante 10 min, a la misma temperatura, utilizando una bomba (Figura 2b); durante este tiempo, se agregaron progresivamente, 10 L de agua. Durante este proceso se obtuvo bagazo de cebada (sólido), y una fase líquida prácticamente limpia, denominada mosto; la separación se llevó a cabo utilizando un filtro tipo bazooka, el cual se encontraba dentro del macerador.



a)



b)

Figura 2. a) Termómetro de mirilla a la temperatura de maceración, b) recirculado de mosto

2.2.2 Filtrado y hervido del mosto

Posterior al filtrado el mosto es transferido a un tanque de hervido de acero inoxidable (316), a 100 °C durante 1 hora con 15 minutos (Figura 3). A los 10 minutos de hervor se agregaron 25 g de lúpulo Columbus; una hora después de iniciado el hervor, se añadió quitosano en las siguientes cantidades: 1.3, 1.4, 1.5 y 1.6 g, dando lugar a cuatro muestras. Al finalizar el tiempo de ebullición, se agregó una mezcla de 25 g de lúpulo Cascade y 25 g de lúpulo Golding.



Figura 3. Hervor de mosto.

2.2.3 Enfriado

Para llevar a cabo este proceso, se procedió a sumergir el tanque con el mosto en hielo (Figura 4), durante 40 minutos, asegurándose de alcanzar una temperatura inferior a 32 °C; es importante mantener esta temperatura para evitar la degradación de las levaduras, para asegurar una fermentación óptima. Posteriormente, el mosto se trasvasó a los fermentadores; cada fermentador contiene un filtro de tela (manta) para retirar los lúpulos. Los fermentadores se dejaron enfriar hasta temperatura ambiente.



Figura 4. Enfriamiento del mosto.

2.2.4 Fermentación

Cada muestra se enriqueció con 11.5 g de levadura (Figura 5); la fermentación se llevó a cabo durante una semana, obteniendo así la cerveza. Al finalizar la fermentación, a cada tanque se le agregaron 6 g de azúcar de mesa por litro de cerveza; a este proceso se le llama priming. Para llevarlo a cabo, se calentaron 200 mL de cerveza a 70 °C durante 10 minutos, agregando 6 g de azúcar por litro de cerveza en los tanques de fermentación. La muestra así obtenida se enfrió a temperatura ambiente y se vertió en el tanque de fermentación; finalmente, se mezcló delicadamente con una cuchara desinfectada. Este proceso fue de utilidad para que la levadura produjera CO₂, como resultado de una segunda fermentación, dentro de la botella; obteniendo así, el gas característico de la cerveza. La cerveza fue embotellada en botellas de vidrio tipo long neck, de color ámbar. La cerveza así almacenada, se maduró durante una semana, en un lugar oscuro y seco.



Figuras 5. Fermentadores llenos de mosto en los que se lleva a cabo la fermentación.

Los tanques de fermentación (Figura 5.) fueron etiquetados de acuerdo con la cantidad de quitosano agregado durante el hervor. De manera genérica se utilizó la nomenclatura F9-N, propia de la cervecería. F indica fermentador, el numero 9 hace referencia a la marca de la cervecería (9 ojos) y N el número de tanque, asignado de la siguiente manera: 3 para 1.6 g de quitosano, 4 para 1.3 g de quitosano, 5 para 1.5 g de quitosano y 6 para 1.4 g de quitosano. Esta nomenclatura se utilizó en todo el proceso. La fermentación se monitoreó continuamente, con el objetivo de detectar la presencia de burbujas en las trampas de aire o airlocks de los fermentadores, así como la generación de biomasa en los recolectores de los

fermentadores, característico de este proceso. Estos monitoreos permitieron obtener información sobre el progreso de la fermentación y la viabilidad del proceso en los fermentadores.

A la cerveza embotellada se le realizó un seguimiento para confirmar la carbonatación. Para ello, cada semana se abrió una botella; se vertió en un vaso de plástico para observar con claridad la formación de espuma y realizar las pruebas sensoriales. Finalmente, se confirmó la presencia de sedimentos en la botella, aspectos fundamentales para la calidad y la estabilidad de la cerveza artesanal.

2.2.5 Prueba hedónica

Una vez finalizada la elaboración de las cuatro muestras de cerveza tipo pale ale tratadas con quitosano, se llevó a cabo un análisis sensorial para evaluar posibles alteraciones en sabor, color y aroma. Para ello, se eligió un panel evaluador de 56 personas (Figura 6). A cada una de ellas se les aplicó una prueba hedónica de cinco puntos, evaluando 4 atributos (Tabla 1).



Figura 6. Panel de prueba hedónica.

Tabla 1. Resultados de la prueba hedónica en muestra F9-3.

F9-N	Color	Consistencia	Aroma	Sabor
Me gusta mucho				
Me gusta poco				
No me gusta ni me disgusta				
Me disgusta poco				
Me disgusta mucho				

La primera cerveza de la prueba fue la que se elaboró sin la inclusión de quitosano, con el objetivo de que se familiarizaran con la cerveza original.

2.2.6 Colorimetría

El color de cada muestra se midió en un colorímetro HunterLab (Figura 7). Se midió la luminosidad (L^* , de 0 a 100) y las coordenadas a^* y b^* . a^* representa los colores rojo y verde (positivos y negativos, respectivamente) y b^* los colores amarillo y azul (positivo y negativo, respectivamente). A partir de estos valores se calculó el índice de color croma (Cab^*)

$$C_{ab^*} = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (1)$$



Figura 7. Determinación de color en colorímetro.

2.2.7 Turbidez

La medición de la turbidez se realizó en un turbidímetro marca Hach modelo 2100N (Figura 8).



Figura 8. Determinación de turbidez en la cerveza.

A continuación, se describe el procedimiento paso a paso para medir la turbidez:

1. Preparación del equipo: Se llevó a cabo una minuciosa limpieza del equipo con un trapo que retire las impurezas y lavando la cristalería utilizada y la cristalería utilizada, para asegurarse de que estuviera libre de cualquier residuo o contaminante que pudiera interferir con las mediciones.
2. Preparación de las muestras de cerveza: Se recolectaron las muestras líquidas que se deseaban analizar en recipientes limpios y transparentes. Se tomaron las precauciones necesarias para evitar la introducción de partículas adicionales que pudieran afectar los resultados; esto incluye la agitación de las muestras para eliminar el CO₂ presentes en ellas.
3. Calibración: Se calibró el equipo de acuerdo con las especificaciones proporcionadas por el fabricante, para garantizar que los resultados en NTU (Nephelometric Turbidity Units) fueran adecuados.

Capítulo 3 Resultados y discusión

3.1 Cerveza obtenida

En la Figura 9a se presenta la cerveza obtenida en esta tesis, en la que se ha utilizado quitosano como clarificante. La Figura 9b corresponde a cerveza obtenida en esta tesis en la que se utilizó carragenina (Kapa y Lambda, Super moss 2013); mientras que la Figura 9c, presenta cerveza artesanal comercial en la que se utilizó ácido silícico (SiO_2 , Biofine transparente A3, 2018) como clarificante. La muestra F9-6 (1.4 g de quitosano) se destaca por su notable claridad en comparación con las demás muestras. Se observa un aspecto cristalino y nítido, lo que indica un proceso de clarificación es exitoso. Esta imagen proporciona una representación visual de la diferencia de claridad entre las muestras y establece una base sólida para el análisis y la discusión posterior.

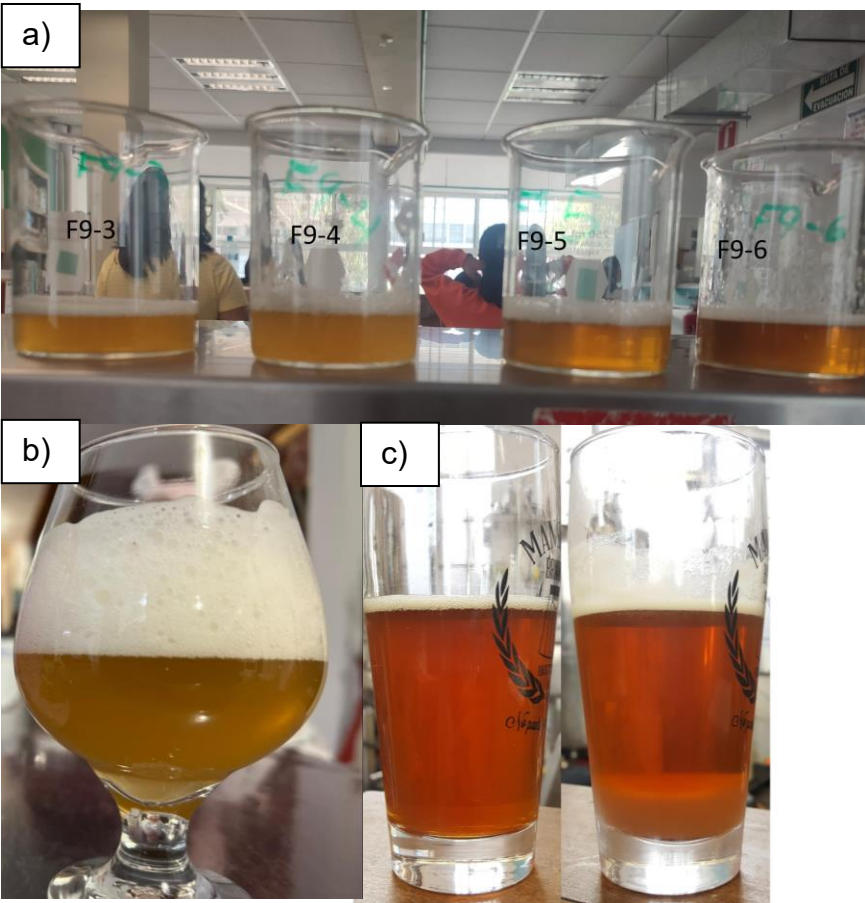


Figura 9. Cerveza artesanal obtenida con diferentes clarificantes. a) quitosano, b) carragenina y c) ácido silícico.

Las muestras F9-3 corresponde a 1.6 g de quitosano y la muestra F9-4 a 1.3 g como es apreciable se notan considerablemente mas turbias que el resto de las muestras, estas son mas parecidas al uso de carragenina mientras la muestra clarificada con silice se muestra considerablemente mas cristalina sin embargo es necesario el uso de frio a unos 2 a 5 °C lo cual es complicado para algunos cerveceros artesanales.

3.2 Prueba hedónica

3.2.1 Características de las muestras

En la Tabla 1 se presentan los resultados de la prueba hedónica a la cerveza F9-3 (1.6 g de quitosano). En cuanto al color, a la mayoría de los panelistas (27) les gustó mucho el sabor, mientras que a 10 solo les gustó poco; 6 de ellos no manifestaron gusto ni disgusto por la cerveza, y no hubo personas que indicaran disgusto. En cuanto a la consistencia, los resultados fueron los siguientes: 27 personas indicaron que les gustó mucho, 12 personas indicaron que les gustó poco, 4 personas manifestaron que no les gustó ni les disgustó, y no hubo personas que indicaran disgusto. En relación al aroma, 15 personas indicaron que les gustó mucho, 21 personas indicaron que les gustó poco, 6 personas manifestaron que no les gustó ni les disgustó, y 1 persona indicó disgusto poco pronunciado. Por último, en cuanto al sabor, 18 personas indicaron que les gustó mucho, 12 personas indicaron que les gustó poco, 11 personas manifestaron que no les gustó ni les disgustó, y 1 persona indicó disgusto poco pronunciado.

Tabla 1. Resultados de la prueba hedónica a la muestra F9-3.

	Color	Consistencia	Aroma	Sabor
Me gusta mucho	27	27	15	18
Me gusta poco	10	12	21	12
No me gusta ni me disgusta	6	4	6	11
Me disgusta poco	0	0	1	1
Me disgusta mucho	0	0	0	1

En la Tabla 2 se observan los resultados de la prueba hedónica realizada a la muestra F9-4 (1.3 g de quitosano). El color fue evaluado por los participantes de la

siguiente manera: 26 personas indicaron que les gustó mucho, 7 personas indicaron que les gustó poco, 2 personas manifestaron que no les gustó ni les disgustó, 1 persona indica que le gusta poco y no existió ninguna persona a la que le disguste mucho. En cuanto a la consistencia, 15 personas indicaron que les gustó mucho, 13 personas indicaron que les gustó poco, 8 personas manifestaron que no les gustó ni les disgustó, y no hubo personas que indicaran disgusto. El aroma le gustó mucho a 19 personas, a 11 personas les gustó poco, 6 personas manifestaron que no les gustó ni les disgustó, y no hubo personas que indicaran disgusto. Por último, 8 personas indicaron que les gustó mucho, 15 personas indicaron que les gustó poco, 8 personas manifestaron que no les gustó ni les disgustó, y 3 personas indicaron disgusto.

Tabla 2. Resultados de la prueba hedónica a la muestra F9-4.

	Color	Consistencia	Aroma	Sabor
Me gusta mucho	26	15	19	8
Me gusta poco	7	13	11	15
No me gusta ni me disgusta	2	8	6	8
Me disgusta poco	1	0	0	2
Me disgusta mucho	0	0	0	3

En la Tabla 3 se observa la concentración de resultados de la prueba hedónica realizada a la muestra F9-5 (1.5 g de quitosano). Puede observarse que 22 personas indicaron que les gustó mucho, a 8 les gustó poco, 5 personas manifestaron que no les gustó ni les disgustó, 2 personas indicaron que le disgusta poco y ninguna manifestó mucho disgusto. La consistencia les gustó mucho a 18 personas, a 11 les gustó poco, 7 personas manifestaron que no les gustó ni les disgustó, y 1 persona indicó disgusto poco pronunciado. En relación al aroma, 22 personas indicaron que les gustó mucho, 9 personas indicaron que les gustó poco, 4 personas manifestaron que no les gustó ni les disgustó, y 2 personas indicaron

disgusto poco pronunciado. Por último, 20 personas indicaron que les gustó mucho el sabor, 9 personas indicaron que les gustó poco, 5 personas manifestaron que no les gustó ni les disgustó, y 1 persona indicó disgusto.

Tabla 3. Resultados de la prueba hedónica a la muestra F9-5.

	Color	Consistencia	Aroma	Sabor
Me gusta mucho	22	18	22	20
Me gusta poco	8	11	9	9
No me gusta ni me disgusta	5	7	4	5
Me disgusta poco	2	1	2	2
Me disgusta mucho	0	0	0	1

La Tabla 4 contiene los resultados de la prueba hedónica realizada a la muestra F9-6 (1.4 g de quitosano). Dichos resultados reflejan la percepción de los participantes en relación con las preferencias y aversiones.

En la prueba F9-6 en cuanto al color, el atributo fue evaluado por los participantes de la siguiente manera: 29 personas indicaron que les gustó mucho, 9 personas indicaron que les gustó poco, 5 personas manifestaron que no les gustó ni les disgustó, ninguna persona indica que le disgusta poco y no existió ninguna persona a la que le disguste mucho.

En cuanto a la consistencia, los resultados fueron: 21 personas indicaron que les gustó mucho, 13 personas indicaron que les gustó poco, 9 personas manifestaron que no les gustó ni les disgustó, y no hubo personas que indicaran disgusto.

En relación al aroma, 24 personas indicaron que les gustó mucho, 12 personas indicaron que les gustó poco, 6 personas manifestaron que no les gustó ni les disgustó, y 1 persona indicó disgusto poco pronunciado.

Por último, en cuanto al sabor, 14 personas indicaron que les gustó mucho, 17 personas indicaron que les gustó poco, 6 personas manifestaron que no les gustó ni les disgustó, y no hubo personas que indicaran disgusto.

Tabla 4. Resultados de la prueba hedónica a la muestra F9-6.

F9-6	Color	Consistencia	Aroma	Sabor
Me gusta mucho	29	21	24	14
Me gusta poco	9	13	12	17
No me gusta ni me disgusta	5	9	6	6
Me disgusta poco	0	0	1	4
Me disgusta mucho	0	0	0	0

De acuerdo con el panel evaluador, la muestra F9-6 presenta un aspecto más nítido y cristalino en comparación con las demás cervezas. Además, se destacó que el sabor de esta cerveza resulta más agradable en comparación con el resto, sin que ninguna de las cervezas presente un sabor desagradable. Estos comentarios refuerzan la percepción positiva hacia la muestra F9-6 en términos de su apariencia y sabor.

3.3 Evaluación de color y turbidez

3.3.1 Color

La Figura 10 contiene la variación del parámetro a^* como función de la cantidad de quitosano aplicado, considerando que la muestra con el valor más alejado del 0 es la muestra sin tratamiento con quitosano sin embargo fue clarificada con carragenina teniendo la posición -2.27.

Este parámetro es representativo de la colorimetría de las muestras. En la Figura se observa una variación en la tonalidad de color rojo-verde en el espacio de color CIELAB.

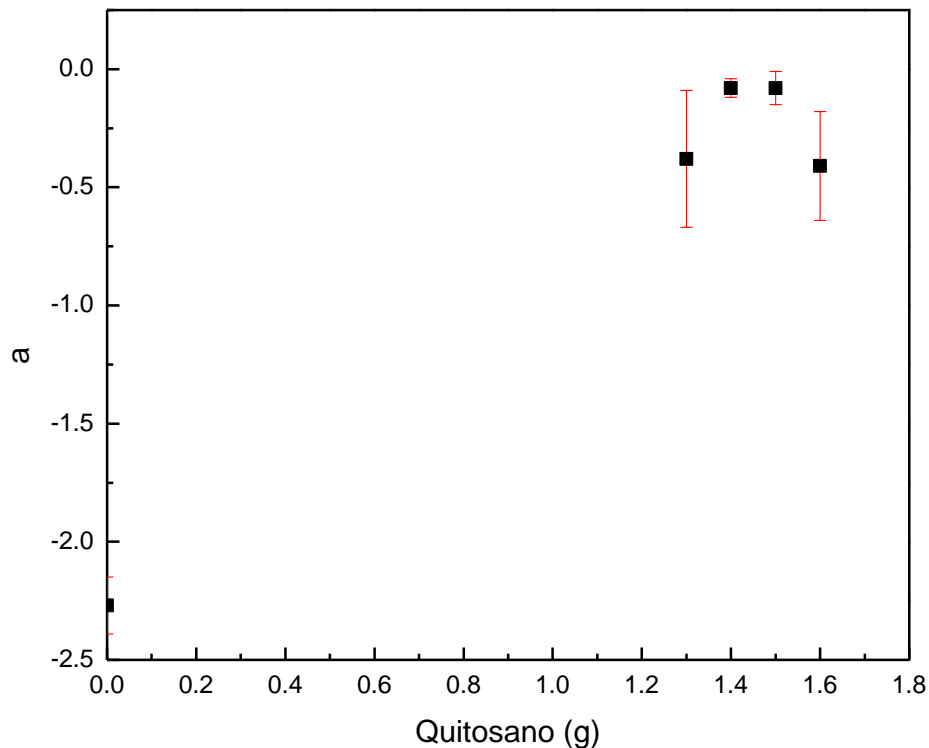


Figura 10. Variación de “a” como función de la cantidad de quitosano.

Se observan valores negativos de "a", lo cual indica nula tendencia al color rojo; es decir, el color de la cerveza tiende al verde. Estas variaciones en la tonalidad de color entre las muestras pueden deberse a diferencias en los ingredientes utilizados, procesos de elaboración o condiciones de almacenamiento. Por lo tanto, según la cantidad de quitosano, estas se van perdiendo, ya que son las tonalidades presentes en los sedimentos de la cerveza.

El comportamiento del parámetro "b" como función de los tratamientos de quitosano se muestra en la Figura 11. En este caso, también se observa una variación en la tonalidad de color, en el eje azul-amarillo. La ausencia de valores negativos en la gráfica, indica igualmente la ausencia de tendencia al color azul. Los valores positivos indican la presencia de colores amarillos, color característico de la cerveza

(Figura 9). El valor máximo de este parámetro (0.92) se obtuvo en la cerveza a la que se le agregaron 1.5 g de quitosano, mientras que el blanco tiene el valor de 2.65 considerando que no contiene quitosano pero si carragenina. En el análisis sensorial realizado a los panelistas, se obtuvo una respuesta de mayor aceptabilidad en la cerveza con 1.6 g, aun cuando el valor del parámetro b es de 0.49.

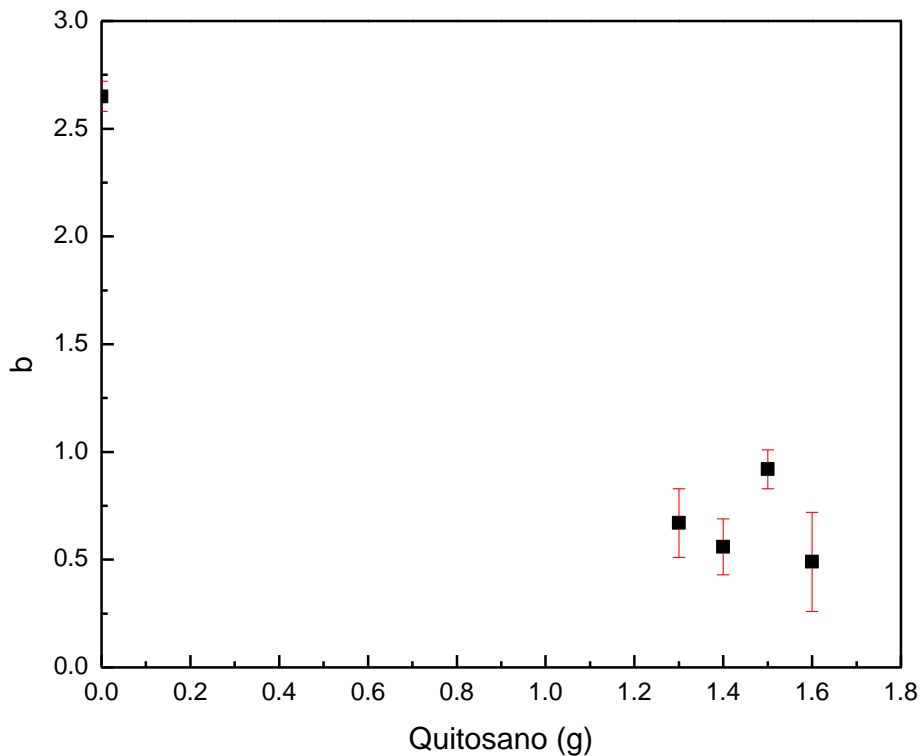


Figura 11. Variación de “b” como función de la cantidad de quitosano.

3.3.2 Luminosidad

La Figura 12 muestra la luminosidad de las cinco cervezas. El valor más alto corresponde al blanco el cual no tiene ningún tratamiento con quitosano sin embargo si tiene un tratamiento con carragenina; la incorporación de quitosano propicia la disminución de luminosidad hasta alcanzar el valor mínimo de 1.76 (1.4 g de quitosano). Para estas cantidades de quitosano, la densidad de partículas suspendidas ha disminuido, dando lugar a una disminución de luminosidad. Al aumentar la cantidad de quitosano incorporado, el valor de la luminosidad aumenta;

a partir de esta cantidad de quitosano, se espera una saturación tanto de partículas suspendidas como de quitosano, dando lugar al aumento de luminosidad.

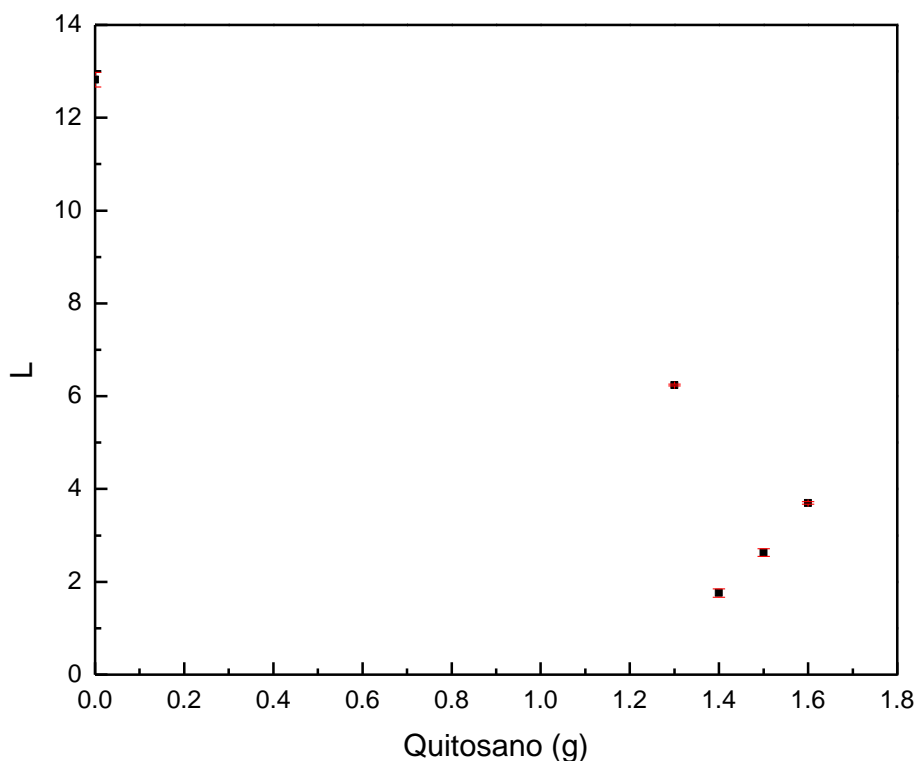


Figura 12. Variación de luminosidad como función de los tratamientos de quitosano.

Las Figuras 10, 11 y 12 ilustran el efecto de las distintas adiciones de quitosano en el color de la cerveza, evaluado a través de un colorímetro. Se destaca la muestra F9-6 por su tonalidad más clara en comparación con las demás. Cabe mencionar que esta misma muestra tuvo la mayor aceptabilidad en la prueba hedónica.

3.3.3 Turbidez

La Figura 13 muestra los valores de turbidez medidos en las muestras de cerveza tratadas con quitosano. En el eje horizontal se representan los distintos tratamientos y las muestras correspondientes, mientras que en el eje vertical se muestra la turbidez en unidades específicas, como las Unidades Nefelométricas de Turbidez

(NTU). Se puede apreciar y comparar fácilmente las variaciones en la claridad de las muestras de cerveza en función de los tratamientos de quitosano aplicados. En Figura 13 es posible observar que la muestra sin tratamiento tiene una turbidez mayor a 300 NTU; en esta muestra se utilizó carragenina como clarificante. Al aplicar quitosano disminuye significativamente este parámetro, lo cual indica una disminución en la cantidad de sólidos dispersos. Para 1.3 g de quitosano aplicado, la turbidez disminuye a 154.33 NTU; el valor más pequeño de este parámetro es de 22.36 NTU y se obtuvo al aplicar 1.4 g de quitosano. Al incrementar la cantidad de quitosano, este parámetro aumenta linealmente; esto puede ser debido a la saturación del quitosano en los sólidos dispersos (proteínas y restos de levadura) de la cerveza, incluso a la oxidación de la cerveza. Estos resultados confirman que el quitosano es un buen clarificante de cerveza, incluso, mejor que la carragenina.

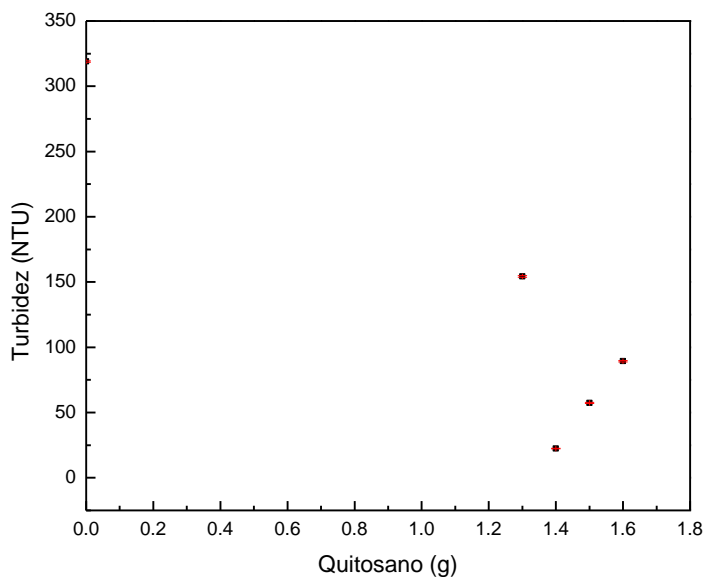


Figura 13 . Turbidez de las muestras como función del tratamiento de quitosano.

3.3.4 Observaciones adicionales

Antes de embotellado el producto y retirar la mayor cantidad de sedimentos de los fermentadores, fue posible presenciar un fenómeno interesante en el proceso de clarificación. Un detalle curioso se pudo apreciar en la Figura 14, donde se

observaron gránulos de mayor tamaño al utilizar quitosano, algo que no suele ocurrir con el uso de carragenina Figura 14. Sin embargo, es importante destacar que estos gránulos no alteran el sabor ni el aroma de la cerveza.

Un motivo por el cual pudieran presentarse estos gránulos de mayor tamaño el cual es el más aceptado, es debido a la saturación del quitosano en los sólidos de la cerveza ya que nos es capaz de formar más enlaces con estos sólidos presentes debido a la concentración de quitosano utilizado, en comparación a las que se utilizó una concentración menor es algo que se pudo apreciar en las figuras obtenidas por el colorímetro y el turbidímetro.

Así con esta consideración se encontro una relación lógica ante los acontecimientos presentados anteriormente ya que el comportamiento que tienen las figuras para los parámetros a,b,L y el turbidímetro tienen congruencia entre sí.

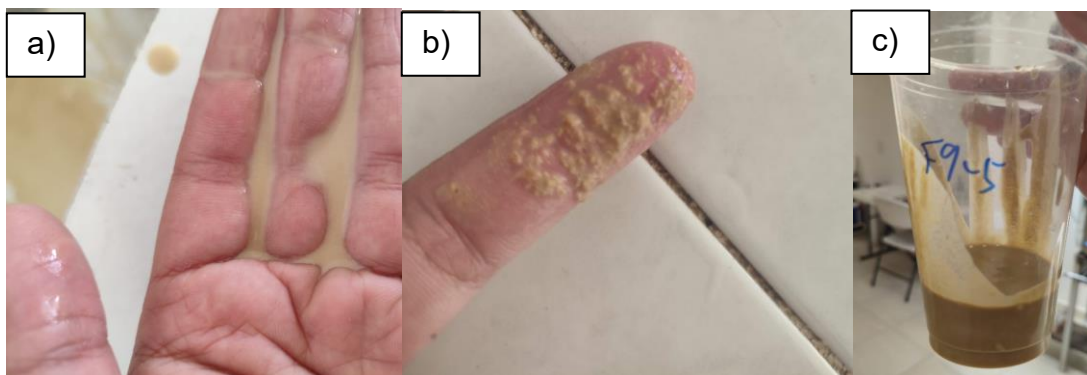


Figura 14. a) sedimentos de la cerveza donde se usó carragenina b) sedimentos de la cerveza donde se usó quitosano c) sedimentos de la cerveza donde se usa quitosano color que tiende al verde

Otra observación interesante fue que, al eliminar los restos de levadura, en caso de la muestra F9-5 es notable que cuentan con un color peculiar observable en la Figura 14, una coloración que tiende a ser verdosa, no presente de manera normal, ya que la coloración tiene en general a un café claro, sin embargo, no se percibe ningún aroma ni sabor fuera de lo normal, ya que igualmente continúa teniendo el aroma floral y sabor amargo típico de una cerveza pale ale.

Conclusión

Este estudio ha arrojado luz sobre la efectividad del quitosano como agente clarificante en la producción de cerveza artesanal. Los resultados obtenidos respaldan la hipótesis inicial de que el quitosano puede desempeñar un papel significativo en la mejora de la claridad de la cerveza. Además, la experimentación con quitosano como clarificante alternativo ha revelado su utilidad sin los riesgos a la salud que conlleva la carragenina, proporcionando una opción valiosa en la búsqueda de métodos mejorados para la clarificación de la cerveza.

Sin embargo, es esencial destacar que, a pesar de los beneficios observados, se identificó saturación en el rendimiento del quitosano. Este hallazgo sugiere que, aunque el quitosano puede mejorar la claridad de la cerveza, su eficacia podría verse limitada más allá de ciertas concentraciones. Estos resultados ofrecen perspectivas valiosas para la optimización de procesos en la producción de cerveza artesanal, indicando la importancia de encontrar un equilibrio adecuado en la aplicación de quitosano como clarificante.

En última instancia, este estudio contribuye al conocimiento existente en el campo de la elaboración de cerveza artesanal al proporcionar datos significativos sobre el uso de quitosano y carragenina como clarificantes. Las implicaciones prácticas derivadas de esta investigación podrían influir en las decisiones de los cerveceros artesanales, al ofrecerles información clave para mejorar la calidad de sus productos. A medida que continuamos explorando nuevas técnicas y materiales en la elaboración de cerveza, es imperativo que la investigación siga adelante para comprender completamente los límites y las aplicaciones óptimas de estos clarificantes en el proceso de producción de cerveza artesanal.

Referencias

Carlos Juárez. (octubre 6, 2021). Cifras de la industria: consumo y producción de cerveza en México. TheLogisticsworld

El cervecero. (2021). Cómo clarificar la cerveza. Tipos de agentes clarificantes. España. <https://hacercervezaartesanal.com/> Recuperado de <https://hacercervezaartesanal.com/como-clarificar-cerveza-agentes-clarificantes/>

Ferreyra, L. (2014). Elaboración de cerveza: Historia y evolución, desarrollo de actividades de capacitación e implementación de mejoras tecnológicas para productores artesanales. Facultad de Cs. Agrarias y Forestales UNLP, (1), 1-69,

García, P. (10 de Julio 2018). Cerveza artesanal vs cerveza industrial. Mexico. Bonito Leon Recuperado de <https://bonitoleon.com/paolagarcia/ruta-gastronomica/cerveza-artesanal-vs-cerveza-industrial/>

Lewis, Young, M, T. (2002). Brewing . Paris: Medios de comunicación de ciencia y negocios de Springer, 2002

Mark, J. (17 de Enero del 2013). Ancient Egyptian Mythology. worldhistory, (1), 1-5,

Martino JV, Van Limbergen J, Cahill LE. The Role of Carrageenan and Carboxymethylcellulose in the Development of Intestinal Inflammation. Front Pediatr. 2017 May 1;5:96. doi: 10.3389/fped.2017.00096. PMID: 28507982; PMCID: PMC5410598.

Paz, Y. (2018). La verdad detrás de la Carragenina. La buena nutrición, (13), 1-16,

Peña Varela,J. (2020). Análisis y Prevención de Riesgos Laborales en una Fábrica de Cerveza Artesanal (Tesis de ingeniería no publicada) Dpto. Ingeniería Química y Ambiental Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla

Rivera, Juan A, Muñoz-Hernández, Onofre, Rosas-Peralta, Martín, Aguilar-Salinas, Carlos A, Popkin, Barry M, & Willett, Walter C. (2008). Consumo de bebidas para una vida saludable: recomendaciones para la población mexicana. Salud Pública de México, 50(2), 173-195. Recuperado en 24 de enero de 2023,

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (02 de agosto de 2019). Producción de cerveza en México: una historia para celebrar. 09 de Marzo de 2022, de Gobierno de México Sitio web: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/produccion-de-cerveza-en-mexico-una-historia-para-celebrar#:~:text=Todo%20comenz%C3%B3%20en%201542%20cuando,es%20actualmente%20Amecameca%2C%20Estado%20de>

Smith, B. (2020). "CLARIFICACIÓN" - COMBATIENDO LA TURBIDEZ DE LA CERVEZA. The lager master, (1), 1-5,

Tobacman, J. (Abril 2016). Carrageenan, New Studies Reinforce Link to Inflammation, Cancer and Diabetes. The Cornucopia Institute, (1), 1-44,

Carlos Juárez. (octubre 6, 2021). Cifras de la industria: consumo y producción de cerveza en México. The logistics world

NORMA Oficial Mexicana NOM-199-SCFI-2017, Bebidas alcohólicas-Denominación, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba.

BIOFINE. (s.f.). Process Aids - Finings - Spec - Biofine Clear. Recuperado de https://cdn.shopify.com/s/files/1/0611/6238/9752/files/Process_Aids_-_Finings_-_Spec_-_Biofine_Clear.pdf?v=1679602463

SuperMoss. (s.f.). Technical Data Sheet - SuperMoss. Recuperado de <https://maltosaa.com.mx/wp-content/uploads/SuperMoss-Tech.pdf>