MEJORAMIENTO DE LA ESTABILIDAD DEL SABOR DE LA CERVEZA, TENIENDO EN CUENTA NIVELES DE OXÍGENO Y CONCENTRACIÓN DE SULFITOS EN LAS DIFERENTES ÁREAS DE ELABORACIÓN, Y *"LAG TIME"* DEL PRODUCTO TERMINADO

ARLEY FERNANDO NOVA RINCÓN

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA
2010

MEJORAMIENTO DE LA ESTABILIDAD DEL SABOR DE LA CERVEZA, TENIENDO EN CUENTA NIVELES DE OXÍGENO Y CONCENTRACIÓN DE SULFITOS EN LAS DIFERENTES ÁREAS DE ELABORACIÓN, Y *"LAG TIME"* DEL PRODUCTO TERMINADO

ARLEY FERNANDO NOVA RINCÓN

Trabajo de Grado presentando como requisito para optar el título de Ingeniero Químico.

Director
M.Sc. Crisóstomo Barajas Ferreira.
Universidad Industrial de Santander.

Codirector
Ingeniero. Roberto Alfonso Rolón Díaz
Gerente de elaboración, Cervecería de Boyacá.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA
2010

A Dios por brindarme una vida llena de oportunidades, y retos por superar que hoy se une conjugan en éste logro personal.

A mis padres, por estar siempre a mi lado, por sus consejos y apoyo incondicional.

A mi hermanita, motivación y fuente de todos mis esfuerzos.

A mis grandes amigos y hermanos, Ángel y Jesús, gracias por ser mi familia durante mis años de vida universitaria.

A Naty, gracias por alegrar mi vida y compartir conmigo éste logro.

Y finalmente a mis compañeros de causa a lo largo de éste proceso, Heydi, Lina, Joha, Jaime, Andrea, Claudia y Santiago, gracias por su sincera amistad.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Dr. Luis Alfonso Cristancho, Director de la Cervecería de Boyacá hasta el mes de octubre de 2010, por darme la oportunidad de desarrollar mi práctica empresarial en esta cervecería, y así poder culminar satisfactoriamente con mis estudios de pregrado y además adquirir nuevos conocimientos y experiencias que enriquecen mi vida profesional.

A los ingenieros, Roberto Rolón, Germán Gómez, y Pedro Amado, por su consejo, conocimientos y colaboración, durante el desarrollo de ésta práctica.

A Alix Murcia, guía y constante apoyo durante la ejecución de éste proyecto, así como a Mónica Torres mi compañera de trabajo y amiga, gracias por su ayuda y acompañamiento.

A todos y cada uno de los operarios del área de producción, en especial a mi padre, sus conocimientos empíricos y trabajo incansable, permitieron hacer de éste un proyecto exitoso no sólo para mí, sino para los resultados de la cervecería.

Al profesor Crisóstomo Barajas, por ser mi guía no sólo durante ésta etapa sino durante mis últimos dos años de pregrado, gracias por su confianza y consejo.

Finalmente a mi segunda casa, la escuela de Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander, y a sus profesores, quienes guiaron mi formación como profesional íntegro.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN 16
1 CONCEPTOS TEÓRICOS 19
1.1 La cerveza: materias primas y obtención 19
1.2 Estabilidad de la cerveza 21
1.2.1 Estabilidad del Sabor. 21
1.2.2 Carbonilos de Envejecimiento. 22
1.2.3 Antioxidantes. 23
1.2.4 Factores para la estimulación de la estabilidad del sabor. 26
1.3 El oxígeno y la degradación de la cerveza 27
1.3.1 Medidas para evitar el ingreso de oxígeno durante la filtración y el envasado 27
1.3.2 Medidas para la extracción de oxígeno en tanques y tuberías 28
1.4 Índices de la estabilidad sensorial 28
1.4.1 Puntuaciones de oxidación en panel sensorial. 28
1.1.1. Análisis ESR usados en "*SABMiller*" 29
2. DESARROLLO EXPERIMENTAL 30
2.1. Análisis de SO_2 para muestras tomadas en Tanques Fermentadores, maduradores y de contrapresión: 32
2.2. Identificación de áreas con mayor pérdida de antioxidantes, por incorporación de oxígeno: 32
2.3. Envío de cerveza del tanque madurador al filtro 32
2.4. Inicio del ciclo de filtración. 34
2.5. Llenado de BBT´s después de aseo de fin de semana 35
2.6. Filtración del tanque de cabezas y colas 37
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS 39
3.1. Análisis de concentración de sulfitos. 39
3.2. Estadística descriptiva para los resultados de SO_2 42

3.3. Seguimiento a los cambios en planta 43
4. CONCLUSIONES 49
5. RECOMENDACIONES 50
BILIOGRAFÍA 51
ANEXOS 53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Efecto del pH en el equilibrio de las especies de SO2 en solución acuosa 24
Figura 2. Concentración de SO2 (ppm) en cervezas y su efecto en análisis ESR (*"Lag Time"*, verde) y calificación en panel sensorial (azul) 25
Figura 3. Factores para la estimulación del sabor 26
Figura 4. Metodología de trabajo 31
Figura 5. Comportamiento de la concentración de sulfitos en las etapas del proceso cervecero de la Cervecería de Boyacá para los meses de junio y julio de 2010. 39
Figura 6. Comportamiento de la concentración de sulfitos en las etapas del proceso cervecero de la Cervecería de Boyacá para el mes de Agosto de 2010 41
Figura 7. Análisis de la meta, junio-agosto 43
Figura 8. Análisis de la meta, semana a semana. Agosto 44
Figura 9. Análisis de la meta, semana a semana. Septiembre 45
Figura 10. Concentraciones de oxígeno en línea de llenado de BBT's antes de los cambios. (Línea blanca) 46
Figura 11. Concentraciones de oxígeno en línea de llenado de BBT's después de los cambios. (Línea blanca) 46
Figura 12. Concentraciones de sulfitos y valor de *"Lag Time"* en producto terminado, julio- septiembre. Cervecería de Boyacá 47
Figura 13. Factores que afectan la estabilidad del sabor 53
Figura 14. Rutina para verificación de sulfitos 54
Figura 15. Fermentación-Maduración, Cervecería de Boyacá 55
Figura 16. LUP Presurización de tanque madurador 56
Figura 17. Filtro Schenk, Cervecería de Boyacá 57

Figura 18. Variación de la concentración de oxígeno en filtro, procedimiento 1... 58
Figura 19. Variación de la concentración de oxígeno en filtro, procedimiento 2... 59
Figura 20. Variación de la concentración de oxígeno en filtro, procedimiento 3... 59
Figura 21. Variación de la concentración de oxígeno en filtro, procedimiento 4... 60
Figura 22. Diagrama de BBT, Cervecería de Boyacá..... 61
Figura 23. LUP filtración de tanque cabezas y colas..... 62
Figura 24 Diagrama, Cervecería de Boyacá 65
Figura 25. Diagrama tanque de cabezas y colas 66

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Cambios de concentración de carbonilos de envejecimiento 22
Tabla 2. Cambios de procedimientos en filtro 34
Tabla 3. Estadística descriptiva para las áreas analizadas 42

GLOSARIO

ADUCTO: un aducto, en química, es un producto AB formado por la unión directa de dos moléculas A y B, sin que se produzcan cambios estructurales, en su topología, en las porciones A y B. Otras estequiometrias diferentes a la 1:1 son también posibles, por ejemplo 2:1. Los aductos a menudo se forman entre ácidos de Lewis y bases de Lewis

BBT: por sus siglas en inglés "*Bright Beer Tank"*, conocido también como tanque de contrapresión, es un tanque cilíndrico utilizado para almacenar la cerveza filtrada antes de ser envasada. Mantienen la cerveza en un amiente de presión de CO_2 (de ahí su nombre en español) y a una temperatura aproximada de 4ºC, con el fin de conservar las propiedades de la misma.

FILTRACIÓN: es un tratamiento normal que se realiza al final del almacenamiento de cerveza antes del envasado para obtener claridad y brillantes de la cerveza antes del envasado. Se emplean varias técnicas dentro de las cuáles se puede resaltar la filtración "*kielselgur"* o de pre-capa. El "*kielselgur"* o tierra diatomácea son remanentes esqueléticos de plantas microscópicas que fueron depositadas en el fondo del océano en el período Mioceno hace 21 millones de años. Hoy es explotado en grandes depósitos de apariencia calcárea, reducido a polvo esterilizado y calcinado a 800-900℃, y clasificado en varios tamaños.

Un *Ciclo de filtración* comienza mediante la rápida recirculación de una mezcla pastosa de tierra diatomácea, a través del filtro y de regreso al tanque. Cuando el líquido en recirculación se hace claro, se ha establecido la pre-capa, y se puede iniciar la filtración de la cerveza. Se bombea la cerveza de manera continua al filtro, mientras se agrega tierra diatomácea constantemente. Un ciclo Normal de filtración puede durar de 12 a 14 horas, aunque esto depende de las características de la cerveza y del diseño del filtro. La tierra diatomácea se consume a una tasa de 50-120 g/hl. Después de esto, la torta puede empezar a exceder las limitaciones físicas de espacio del filtro, o la pérdida de presión por el filtro se hace excesiva. Se termina entonces la filtración, y se remueve la torta; se lava el filtro se esteriliza, y la operación se repite.

FILTRO DE PRE-CAPA: es un dispositivo diseñado para filtrar las partículas sólidas de la cerveza, generalmente levaduras, sobre una pre-capa de partículas sólidas (tierras diatomácea) aplicada en superficie interna del medio filtrante. Las pequeñas diatomáceas forman una torta rígida pero porosa, que tamiza la materia en partículas mientras la cerveza pasa por el filtro.

LUP: Lección de Un Punto, es una herramienta para transmitir conocimientos y habilidades sobre el manejo de un equipo, con el fin de solucionar problemas o implantar mejoras según sea el caso.

***"MANHOLE"*:** es una compuerta ubicada en la superficie de algunos espacios confinados, como tanques, que permite el ingreso de personas bien sea para labores de limpieza inspección o mantenimiento.

MOSTO: es el líquido obtenido del proceso de maceración de la cebada durante la elaboración de la cerveza. El mosto contiene los azúcares que serán fermentados por la levadura para producir alcohol.

PASTEURIZADORA: es una máquina que tiene como función lograr que los alimentos que se introducen en ella queden libres de bacterias por medio del calentamiento de los mismos a elevadas temperaturas, haciendo que conserven sus propiedades y características tales como valor nutricional y sabor original. La pasteurizadora recibe este nombre, en honor a su inventor, el francés Louis Pasteur en 1865

***"QC STORY"*:** es un método de resolución de problemas, basado en la consideración de hechos y datos, sin especulación, para un problema que está causado por numerosos elementos.

La solución de problemas *"QC STORY"* es aplicable en el sentido de planeación de la calidad que consiste en el establecimiento de los estándares de calidad para la satisfacción de las personas, mantenimiento de la calidad enfocada a la conservación de los estándares de la calidad con el fin de establecer una "Calidad estándar", un "costo estándar", una "Atención estándar", una "moral estándar" y una "Seguridad estándar", es aquí donde se utiliza la *"QC STORY"* para eliminar los desvíos crónicos de calidad y mejoras de calidad buscando el establecimiento de nuevos estándares de calidad con el objeto de obtener un producto o servicio mejor.

TANQUE DE CABEZAS Y COLAS: es un tanque cilindro-cónico auxiliar que se encuentra en el área de filtración, cuya función específica es recolectar las cabezas (primeros hectolitros de cerveza del madurador que se está filtrando) y colas (últimos Hl del madurador que se está filtrando) con altos contenidos de levadura.

RESUMEN

TÍTULO: MEJORAMIENTO DE LA ESTABILIDAD DEL SABOR DE LA CERVEZA, TENIENDO EN CUENTA NIVELES DE OXÍGENO Y CONCENTRACIÓN DE SULFITOS EN LAS DIFERENTES ÁREAS DE ELABORACIÓN, Y *"LAG TIME"* DEL PRODUCTO TERMINADO.[*]

AUTOR: ARLEY FERNANDO NOVA RINCÓN.[**]

PALABRAS CLAVE: Estabilidad del sabor, Oxidación forzada, ESR *"Lag Time"*, antioxidantes, sulfitos, levadura, elaboración de cerveza, incorporaciones de oxígeno, maduración, tanques de contrapresión.

DESCRIPCIÓN

Uno de los nuevos indicadores de calidad de la cerveza, relacionado a la permanencia de sus características con el tiempo, es la estabilidad del sabor. Éste indicador se puede determinar a través de ensayos de oxidación forzada realizados en equipos ESR (Espectrometría del espín del electrón) que permiten analizar el comportamiento de diferentes variables propias de la cerveza como el *"Lag Time"* que es el tiempo que la cerveza tarda en agotar sus antioxidantes endógenos.

La cervecería de Boyacá en su propósito de elaborar productos que cumplan con todos los estándares de calidad, incluida la estabilidad del sabor, encontró en la determinación de sulfitos (antioxidantes producidos por la levadura durante la fermentación) a lo largo del proceso de elaboración de cerveza, una alternativa interna para predecir la estabilidad del sabor de las cervezas que allí se producen, ya que no se contaba con el equipo ESR al momento de este estudio.

A partir del análisis de los resultados obtenidos, se encontró que había una disminución notable de la concentración de sulfitos en el camino que sigue la cerveza desde maduración hasta los tanques de contrapresión, debido a incorporaciones de oxígeno, que fueron reducidas gracias a la implementación de algunos cambios en procedimientos en las áreas involucradas, que trajeron consigo menor disminución de las concentraciones de antioxidantes y mejores resultados de *"Lag Time"* para las cervezas de la cervecería de Boyacá, a partir del segundo semestre de 2010.

[*] Práctica Empresarial, Cervecería de Boyacá.

[**] Escuela de Ingeniería Química. Director M.Sc Crisóstomo Barajas Ferreira; Co-Director: Ing. Roberto Alfonso Rolón Díaz, Cervecería de Boyacá.

ABSTRACT

TITLE: IMPROVING THE FLAVOR STABILITY OF BEER, TAKING ACCOUNT LEVELS OF OXIGEN AND SULFITE CONCENTRATIONS IN THE DIFFERENT PROCESSING AREAS, AND *"LAG TIME"* IN FINAL PRODUCT.[*]

AUTHOR: ARLEY FERNANDO NOVA RINCÓN.[**]

KEYWORDS: flavor stability, forced oxidation, ESR *"Lag Time"*, antioxidants, sulfite, yeast, brewing, oxygen incorporations, maturation, BBT's.

DESCRIPTION

One of the new indicators of quality of beer, related to the permanence of its characteristics with time is flavor stability. This indicator can be determined through forced oxidation tests performed on ESR devices (electron spin spectroscopy) which analyze the behavior of different variables of beer as the *"Lag Time"* that is the time beer takes to exhaust its endogenous antioxidants.

Boyacá Brewery in its efforts to develop products that meet all quality standards, including flavor stability, found in the determination of sulfite (antioxidants produced by yeast during fermentation) throughout the brewing process, an internal alternative to predict the flavor stability of beer produced there, because there was no ESR device in this brewery at the time of this study.

From the analysis of the obtained results, it was found that there was a noticeable decrease in the concentration of sulfites in the path of the beer from maturation to BBT's, due to incorporations of oxygen, that were reduced by implementing some changes in procedures in the involved areas, which resulted in minor decrease in antioxidant levels and better *"Lag Time"* results for beer from Boyacá Brewery, for the second half of 2010.

[*] Industrial internship, Boyacá Brewery

[**] Chemical Engineering Department. Director: M.Sc Crisóstomo Barajas Ferreira, Universidad Industrial de Santander; Co-Director: Ing. Roberto Alfonso Rolón Díaz, Boyacá Brewery.

INTRODUCCIÓN

La cerveza, es una bebida obtenida por fermentación alcohólica de un mosto elaborado con cebada germinada, otros cereales y azúcares adicionados de lúpulo o su extracto natural y agua potable. Tiene una concentración entre 2,5 y 7,0 grados de alcohol.

El proceso de obtención de cerveza, comienza con la maceración de la cebada y adjuntos (arroz y jarabe de maíz), luego, el mosto obtenido de la maceración se fermenta con una levadura que al culminar la etapa de fermentación es eliminada, se procede a enviar la cerveza a tanques maduradores para luego ser filtrada y finalmente envasada para su disposición final. En estas etapas existen diferentes variables que afectan la estabilidad del sabor[1], como incorporaciones de oxígeno, índices de fermentación variables, rebotes de espuma durante el almacenamiento en tanques, entre otras.

Al tener tantas variables ligadas a un mismo objetivo, se hace necesario identificar de manera acertada cuáles son las etapas del proceso que más influyen en la estabilidad del producto final, para intervenir de manera precisa, con modificaciones en proceso controladas, y así poder obtener los resultados esperados a corto y mediano plazo.

La cervecería de Boyacá[2] trabaja bajo los estándares de "*SABMiller"*, enfocados principalmente en aplicación de manufactura de clase mundial, con el fin de entregar al consumidor final un producto de excelente calidad, que conserve sus características de frescura con el paso del tiempo.

[1] Sección 1.2.1
[2] A la fecha, BAVARIA cuenta con 6 cervecerías en el territorio nacional, todas adscritas a la multinacional cervecera "*SABMiller".*

[a]A partir de enero, en el ranking técnico de *"SABMiller"* se contempla la medición del taste o sabor, indicador que hace parte del Índice de Predicción del consumidor o CPI por sus siglas en inglés.

$$CPI = \frac{Lag\ time\ (min)}{150} * Calificacion\ Sensorial$$ **Ecuación 1**

"SABMiller" busca ofrecer a sus clientes cervezas con las mismas características que presentaban al momento de ser empacadas, objetivo que demanda riguroso trabajo técnico y científico, ya que desde el instante en que la cerveza es empacada comienza el proceso de oxidación o envejecimiento perdiendo características sensoriales por la aparición de sabores indeseados más conocidos como *"off flavors"*

A partir de estas nuevas metas establecidas en la compañía, la Cervecería de Boyacá tiene como prioridad desarrollar proyectos encaminados a mejorar la estabilidad del sabor de las cervezas que allí se producen.

Partiendo de la necesidad planteada, y teniendo en cuenta las limitaciones técnicas de la planta, que no cuenta con el equipo ESR (Resonancia del Espín Electrón) especializado en la medición de ""*Lag Time*[3]" y "T-150[4]", se encontró en la medición de la concentración de dióxido de azufre en diferentes etapas del proceso, una potencial alternativa interna para determinar la estabilidad del sabor de las cervezas elaboradas en la cervecería de Boyacá, pues hay conocimiento de correlaciones de éste parámetro con los resultados del análisis *"Lag Time"* y la evaluación sensorial, estudiadas y caracterizadas por algunos autores[5].

[3] Sección 1.4.2
[4] T-150, es un ensayo realizado en ESR, que cuantifica los antioxidantes presentes en la cerveza.
[5] Referencias [6] y [8]

Los sulfitos, son sustancias reductoras, y se forman a partir de la reacción de soluciones alcalinas con dióxido de azufre, el cual es producido por las levaduras al comienzo de la fermentación del mosto, lo que define a los sulfitos como antioxidantes naturales propios de la cerveza.

Teniendo en cuenta la capacidad antioxidante de los sulfitos, se hicieron análisis de concentración de sulfitos en muestras de cerveza tomadas desde los tanques fermentadores hasta el producto terminado, durante tres meses. Estos análisis permitieron establecer áreas de trabajo focalizado (maduración-filtración-contrapresión) en las cuáles se realizaron mejoras a nivel técnico, relacionadas principalmente con evitar incorporaciones de oxígeno.

Los cambios en las áreas de trabajo se realizaron de manera escalonada, observando claras mejoras en los resultados de concentración de sulfitos y de los análisis de estabilidad a medida que se implementaron dichos cambios contribuyendo de ésta manera al cumplimiento de la meta de estabilidad de la cerveza en la Cervecería de Boyacá que es 90 minutos de *"Lag Time"*[6] para el presente año fiscal[7].

[6] Para Junio de 2010 el inicador de *"Lag Time"* para la Cervecería de Boyacá estaba por debajo de 58 minutos.
[7] El presente año fiscal (F11) se inició el primero de abril de 2010.

1 CONCEPTOS TEÓRICOS

La fabricación de la cerveza está ligada a una sucesión de tres procesos bioquímicos:

a. La formación de enzimas en el grano de cereal germinante.
b. La degradación de almidón a azúcar justamente por parte de los enzimas.
c. La fermentación con levaduras del azúcar a alcohol y CO_2.

1.1 La cerveza: materias primas y obtención [1]

La fabricación de malta de cebada es el primer paso para la fabricación de cerveza. Si bien se puede fabricar malta también a partir de otros tipos de cereales, como por ejemplo el trigo, el centeno o el sorgo, Bavaria utiliza maltas de cebada para la fabricación de sus cervezas. El objetivo de la fabricación de malta, o malteado, es formar enzimas germinantes en el grano de cebada. Para esto se hace germinar la cebada por absorción de agua, luego éste proceso de germinación se detiene en el momento adecuado, por medio de un proceso de secado, o tostado. La malta resultante tiene casi el mismo aspecto que la cebada, a partir de la cual ha sido producida.

El proceso principal en la fabricación de cerveza[8] es la fermentación del azúcar contenido en el mosto, para obtener alcohol y dióxido de carbono. Con el fin de crear las precondiciones para ello, es necesario convertir, con la ayuda de enzimas, los componentes inicialmente insolubles de la malta en azúcares fermentables. La conversión y disolución de estos componentes es el propósito de la fabricación de mosto. Con esto se logra un punto de partida para la fermentación del mosto en la bodega de fermentación.

[8] Ver Diagrama Cervecería de Boyacá, Anexo 10.

Para la transformación del mosto en cerveza, los azúcares contenidos en el mosto deben ser fermentados, por enzimas de la levadura (*Saccharomyces uvarum* es la especie de levadura utilizada en Bavaria), a etanol y dióxido de carbono. Se forman en éste proceso subproductos de fermentación que influyen de forma sustancial sobre el sabor, el olor y otras propiedades de valoración de la cerveza. La formación y degradación parcial de estos productos secundarios están íntimamente ligadas al metabolismo de la levadura. En las cervecerías modernas, los procesos de fermentación y maduración se llevan a cabo en tanques cilindro-cónicos, tal es el caso de la cervecería de Boyacá que cuenta con 20 de éstos tanques, cada uno con capacidad de 5000 hectolitros [hl] de los cuales 12 son tanques fermentadores, y los 8 restantes son utilizados para el proceso de maduración.

Después de la fermentación, la maduración y el reposo, la cerveza es filtrada y estabilizada tanto biológica como físicamente con el fin de darle su color y sabor característicos, el tratamiento se realiza generalmente en filtros de pre-capa (la cervecería de Boyacá cuenta con un filtro de platos con capacidad de 500hl/h, y se utilizan tierras de diatomácea de diferentes granulometrías para la preparación de sus pre-capas). Luego la cerveza filtrada se envía a tanques de contrapresión ó BBT's (la Cervecería de Boyacá cuenta con 15 BBT's) para su posterior envasado y pasterización.

Durante el proceso de envasado y pasterización se deben conservar los parámetros de calidad del producto, siguiendo los estándares de la compañía a través de la implementación del sistema de gestión integral que incluye calidad, inocuidad y S&SO (Seguridad y Salud Ocupacional), asegurando de ésta manera que el producto que llega al consumidor final es de excelente calidad.

1.2 Estabilidad de la cerveza

Se define como el grado de resistencia que el producto tiene, condicionado a su propia naturaleza química (fabricación) y a la interacción con factores externos como condiciones ambientales de almacenamiento, transporte y manejo en bodegas, entre otros.

Éstos factores generan cambios fisicoquímicos, biológicos y sensoriales que pueden afectar severamente las características del producto original y por lo tanto la calidad del mismo.

1.2.1 Estabilidad del Sabor. Es una de las características más buscadas en la cerveza. Indica la permanencia de las propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales que definen la calidad del sabor de la cerveza, durante su tiempo de vida útil (6 meses para el estándar nacional). Es decir que después de 180 días de envasada la cerveza debe presentar las mismas cualidades que el día en que fue producida**.**

Aunque la cerveza se estabilice biológica y físicamente, con el tiempo su sabor empieza a envejecer. El proceso de envejecimiento puede comenzar al poco tiempo de haber sido empacada, pero es necesario que pasen algunos meses para que éste sea perceptible.[2]

La estabilidad del sabor de la cerveza es un factor importante para el mantenimiento y el crecimiento del mercado de una cervecería. Por ello es necesario que todo el personal técnico y operativo sea motivado a realizar su aporte para el mejoramiento y mantenimiento de la estabilidad del sabor.

1.2.2 Carbonilos de Envejecimiento.[3] Entre las posibles reacciones que pueden llevar a producir pérdida de la estabilidad del sabor, tienen mayor importancia los procesos oxidativos. Según el momento y la cantidad de oxígeno que se incorpore se presentan diferentes tipos de envejecimiento. La mayoría de sustancias relacionadas con el envejecimiento, caracterizadas por un umbral de percepción sensorial extremadamente bajo, son carbonilos (carbonilos de envejecimiento). Los carbonilos (aldehídos) son productos de oxidación de alcoholes y se caracterizan por finalizar su cadena carbonada con el grupo –CHO. Se pueden destacar carbonilos como el 2-metilpropanal, 2-metilbutanal, 3-metilbutanal y fenilacetaldehído, que se forman sobre todo por oxidación de alcoholes superiores, se acumulan en la cerveza por intensificación aditiva y presentan una impresión aromática de "sabor a pan".

Los carbonilos de envejecimiento no sólo tienen un bajo umbral de percepción sensorial, sino que en la cerveza envasada experimentan un aumento cuantitativo. La tabla siguiente muestra en qué magnitud se intensifican estos componentes:

Tabla 1. Cambios de concentración de carbonilos de envejecimiento

Componentes	Cerveza fresca [µg/l]	Cerveza envejecida [µg/l]
2-metilbutanal	60	180
3-metilbutanal	20	110
3-metilbutano-2-on	16	110
fenilacetaldehído	45	250
benzaldehído	4	259
2-furfural	40	3000
Y-nonalactona	60	150

Fuente: MIEDANER, H.: ref. Brwlt 44/45 (1993), S. 2264

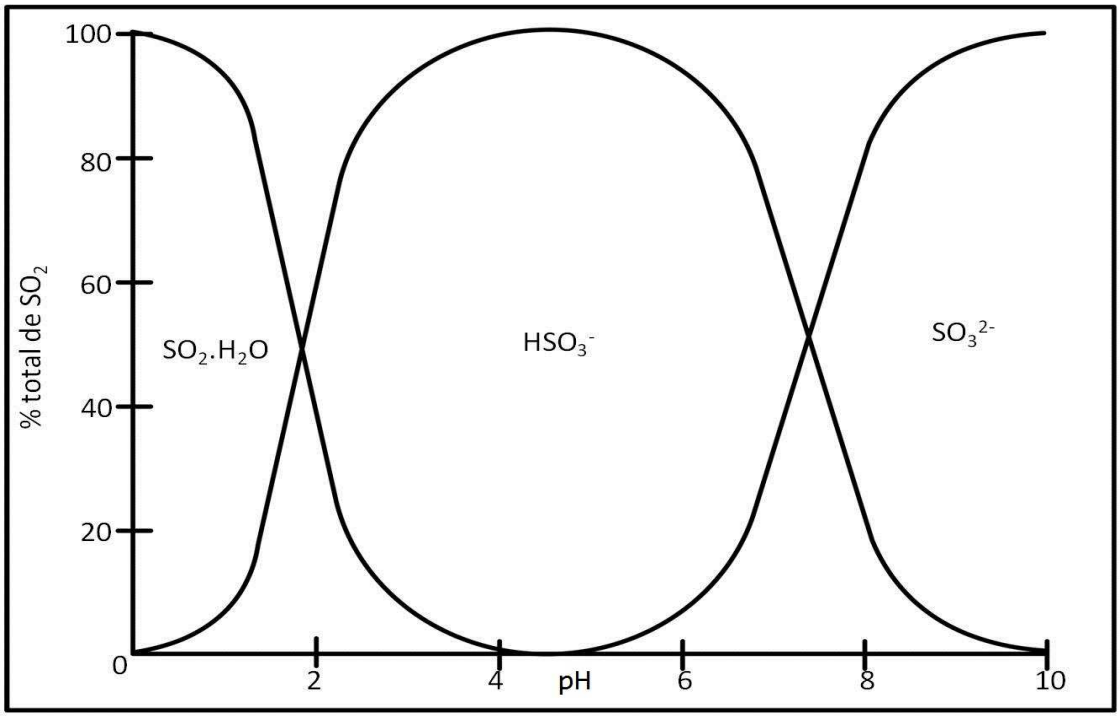
1.2.3 Antioxidantes. El sabor de la cerveza se comienza a modificar desde el momento que es envasada por el envejecimiento de carbonilos, que degeneran el sabor debido a sus reacciones de oxidación. Por acción de agentes que contrarresten una oxidación (antioxidantes), este proceso puede ser retardado extraordinariamente.

El dióxido de azufre impide la oxidación de los carbonilos y retarda de este modo muy notablemente el envejecimiento del sabor. La levadura forma SO_2 durante la fermentación, pero la formación depende de la especie de la levadura [5] y su cantidad no alcanza para una estabilización amplia. Pero aún así, el SO_2 formado brinda cierta protección contra el envejecimiento.[4]

El dióxido de azufre cumple tres funciones principales en la cerveza. i) reducir la rata de oxidación; ii) formar aductos con los compuestos carbonílicos para formar α-hidroxi-sulfanatos que enmascaran sabores indeseados, limitando así los impactos negativos en el sabor; iii) a altas concentraciones, el SO_2 tiene propiedades antimicrobiales.[5].

En solución acuosa, el dióxido de azufre se puede presentar de diferentes formas ($SO_2.H_2O$; HSO_3^-; SO_3^{2-}) dependiendo del PH de la solución (Figura 1). A bajos valores de pH la forma disociada de SO_2 está débilmente enlazada al agua y no está libre en la forma ácida, como es de esperarse [6]. Al pH usual de las cervezas (3,8-4,4), la mayoría del SO_2 se encuentra presente como HSO_3^- (bisulfito o anión hidrógeno sulfito). El análisis de SO_2 representa de manera indiscriminada todas las formas de SO_2.[4]

Figura 1. Efecto del pH en el equilibrio de las especies de SO2 en solución acuosa

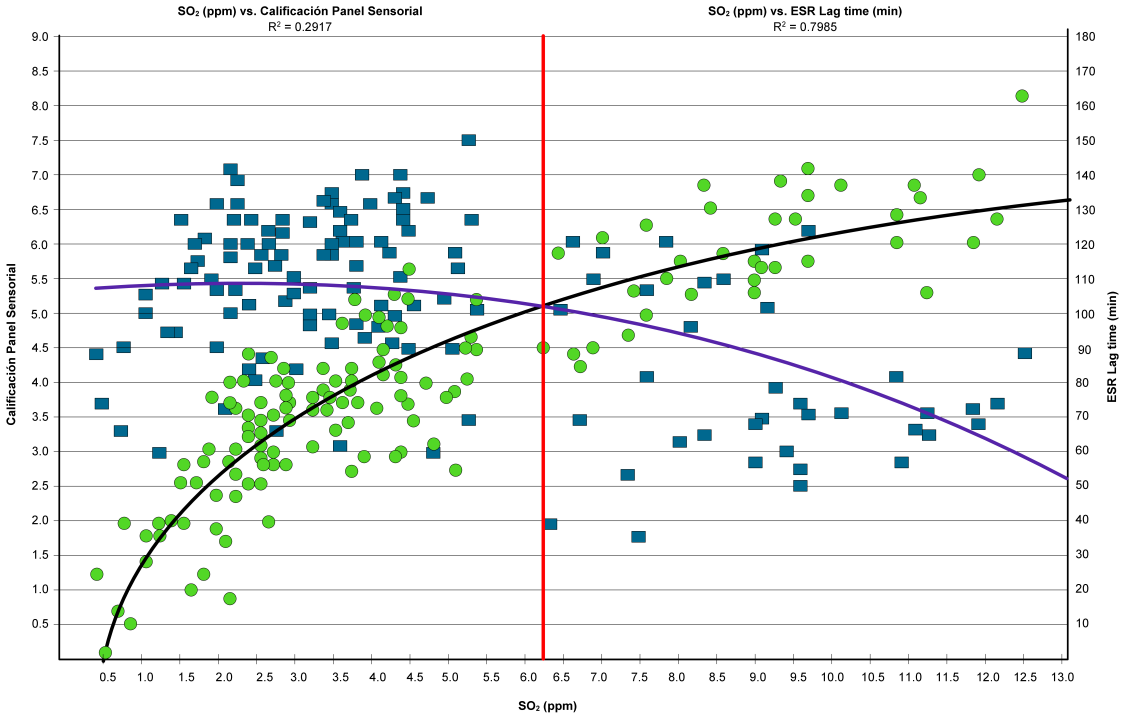


Fuente: WEDZICHA, B.L [6]

En la literatura, se encuentran estudios que correlacionan niveles de SO_2, resultados de *"Lag Time"* y de aceptación del sabor para diferentes tipos de cerveza, (Figura 2), que sugieren un valor de equilibrio en la concentración de SO_2 (6-6,5ppm), para poder obtener alto nivel antioxidante endógeno en la cerveza buena calificación sensorial y sobresalientes resultados en los análisis ESR. Sin embargo, a concentraciones mayores, la calificación sensorial del producto se ve afectada negativamente ya que a concentraciones 7ppm los catadores pueden percibir el SO_2

La gráfica mostrada en la figura 2, se hizo a partir de un estudio en planta piloto[9]. La función negra descrita por los puntos verdes muestra la relación encontrada entre la concentración de antioxidantes y el "*Lag Time*", la función morada descrita por los cuadros azules, muestra la relación encontrada entre la calificación sensorial de cervezas y la concentración de antioxidantes. Al cruzar éstas dos funciones, es posible apreciar que para una concentración de SO_2 entre 6 y 6.5 ppm se obtienen buenos resultados en "*Lag time*" y calificación sensorial

Figura 2 Concentración de SO2 (ppm) en cervezas y su efecto en análisis ESR (*"Lag Time"*, verde) y calificación en panel sensorial (azul)



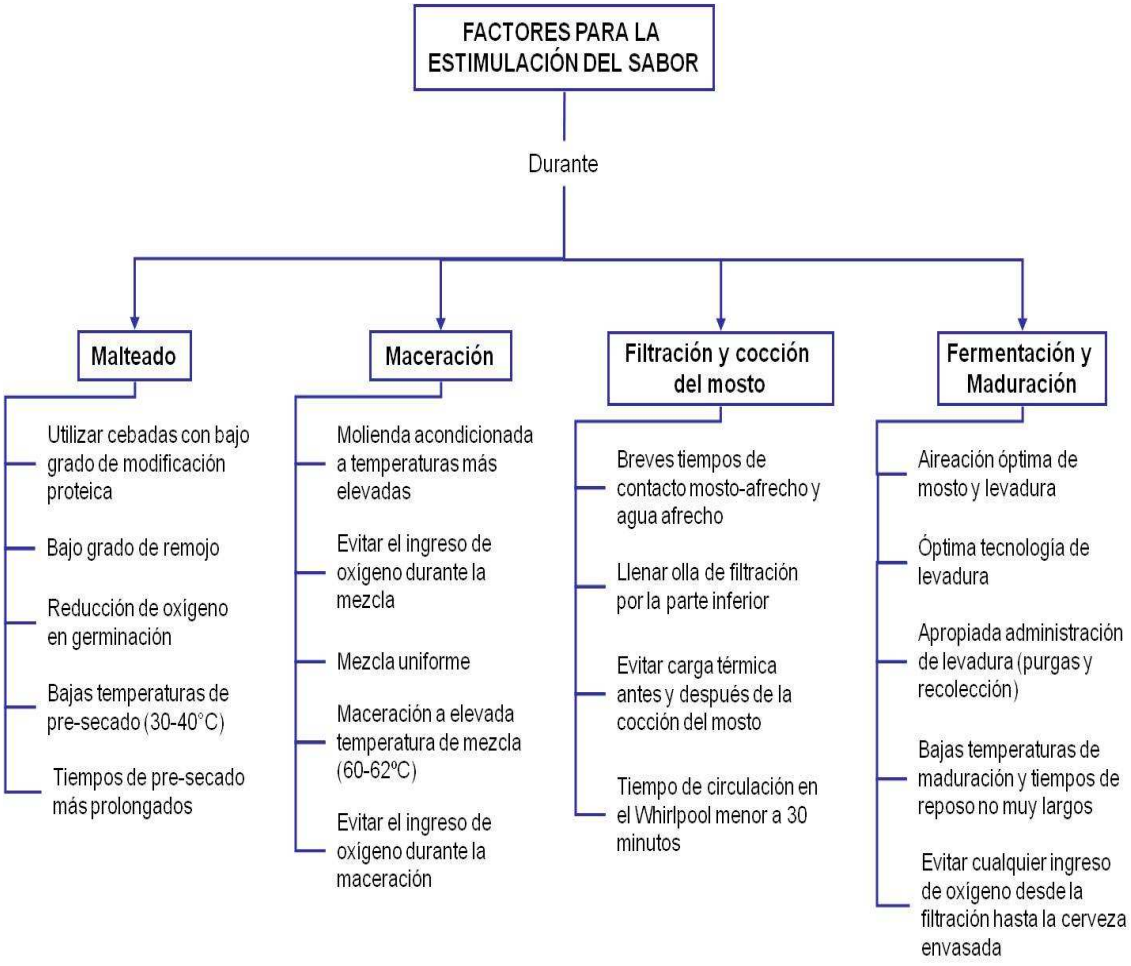
Fuente: FOSTER Robert T, et al [8]

[9] FOSTER Robert T, et al [8]

1.2.4 Factores para la estimulación de la estabilidad del sabor. Se requiere eliminar ampliamente desde el principio todos los factores que disminuyen la estabilidad del sabor, y por otro lado, estimular todos los factores que ayuden a mejorar la estabilidad del sabor.

En la figura 3 se listan algunos factores estimulantes para una buena estabilidad del sabor [9]

Figura 3. Factores para la estimulación del sabor



Fuente: BACK, W, et al. [9], Adaptado por: El autor

Dado que entre el envasado y el consumo de la cerveza pasan semanas y eventualmente también meses, existe interés en obtener información respecto de la estabilidad previsible de la cerveza fresca para de ésta manera sacar conclusiones para las medidas tecnológicas a tomar.

1.3 El oxígeno y la degradación de la cerveza

Dado que el oxígeno es el factor que desencadena la formación de carbonilos de envejecimiento o de sus pre-etapas, se debe evitar consecuentemente el ingreso de oxígeno desde el comienzo de la fabricación de la cerveza hasta que ésta es envasada. Pero también se debe indicar que existen transformaciones que se llevan a cabo en ausencia de oxígeno (anaerobias).

1.3.1 Medidas para evitar el ingreso de oxígeno durante la filtración y el envasado. Durante la filtración y posterior envasado de la cerveza, se presentan posibles fuentes de incorporación de oxígeno: [10]

- El gas de contrapresión para el vaciado del tanque madurador.
- La suspensión del medio auxiliar de filtración y del equipo de filtración.
- Las mezclas inicial y final durante la filtración, la post-carbonatación de la cerveza.
- La composición del gas de contrapresión del BBT en el llenado y vaciado.
- Las juntas de eje de las bombas, las tuberías, mangueras y válvulas.
- Los equipos tales como bombas, intercambiadores de calor de placas o pasteurizadoras "*flash"* y todas las fugas (donde se presentan salidas de cerveza, puede ingresar oxígeno por difusión).

1.3.2 Medidas para la extracción de oxígeno en tanques y tuberías

Una de las medidas a tener en cuenta, es la contrapresión en los tanques y el vacío en las tuberías; para esto, usualmente se llena primero el tanque con agua y el agua se desplaza luego con CO_2 desde la parte superior del tanque hacia abajo. Dado que el agua tiene cantidades relativamente altas de oxígeno diluido, éste último se diluiría parcialmente en el CO_2 y aumentaría con ello el contenido de oxígeno en el tanque. Es por ello que el agua debe ser desaireada previamente y almacenada en una atmósfera de CO_2.

La pureza del CO_2 tiene una gran importancia. Hoy en día ya no es suficiente una pureza de CO_2 de 99,97% en vol., porque se produciría una absorción de oxígeno demasiado alta [11]. Se debe tratar de alcanzar una pureza de 99,998% en volumen de CO_2 para evitar posibles ingresos de oxígeno al proceso.

Teniendo en cuenta lo explicado anteriormente, se debe hacer énfasis en que no sólo una buena práctica en una parte del proceso ayudará a mejorar la estabilidad del sabor y que éstas mejoras dependen de cada estilo individual de obtención de cervezas, fórmulas, y equipos disponibles. Algunos autores[10] hacen énfasis en que ninguno de los actores de la cadena de la cebada a la cerveza puede mejorar la estabilidad del sabor de manera independiente [7], (VER ANEXO 1)

1.4 Índices de la estabilidad sensorial [12]

1.4.1 Puntuaciones de oxidación en panel sensorial. Son un estándar de oro con el cual todos los índices analíticos del sabor necesitan ser comparados. Siempre se generan casos donde la relación entre las puntuaciones de expertos

[10] Van Waesberge, Anexo1

del panel sensorial y alguno de los métodos analíticos existentes es directa, pero también hay ocasiones en las que no se encuentra ninguna relación.

1.1.1. Análisis ESR usados en "*SABMiller*". La espectrometría del espín del electrón ESR, también conocida como EPR o resonancia paramagnética del electrón, es una herramienta que permite medir rápidamente la actividad antioxidante endógena de la cerveza (estabilidad del sabor), a través de un ensayo de oxidación forzada.

El *"Lag Time"* es uno de los indicadores de la resistencia a la oxidación degenerativa que provee el ensayo de oxidación forzada a través de ESR, y se define como el tiempo (en minutos) durante el cual la cerveza agota sus antioxidantes endógenos que previenen la formación de radicales libres. Es una medida del potencial antioxidante de la cerveza envasada: entre más grande sea el *"Lag Time"*, mayor potencial antioxidante y mayor será el tiempo de vida útil del producto.

En la literatura se encuentra que la presencia de antioxidantes en la cervezas previene la formación de radicales libres. Se busca entonces fabricar cervezas con un bajo contenido de radicales libres y propiedades antioxidantes sobresalientes, trayendo consigo altos valores de *"Lag Time"* y una alta calidad y estabilidad del sabor.

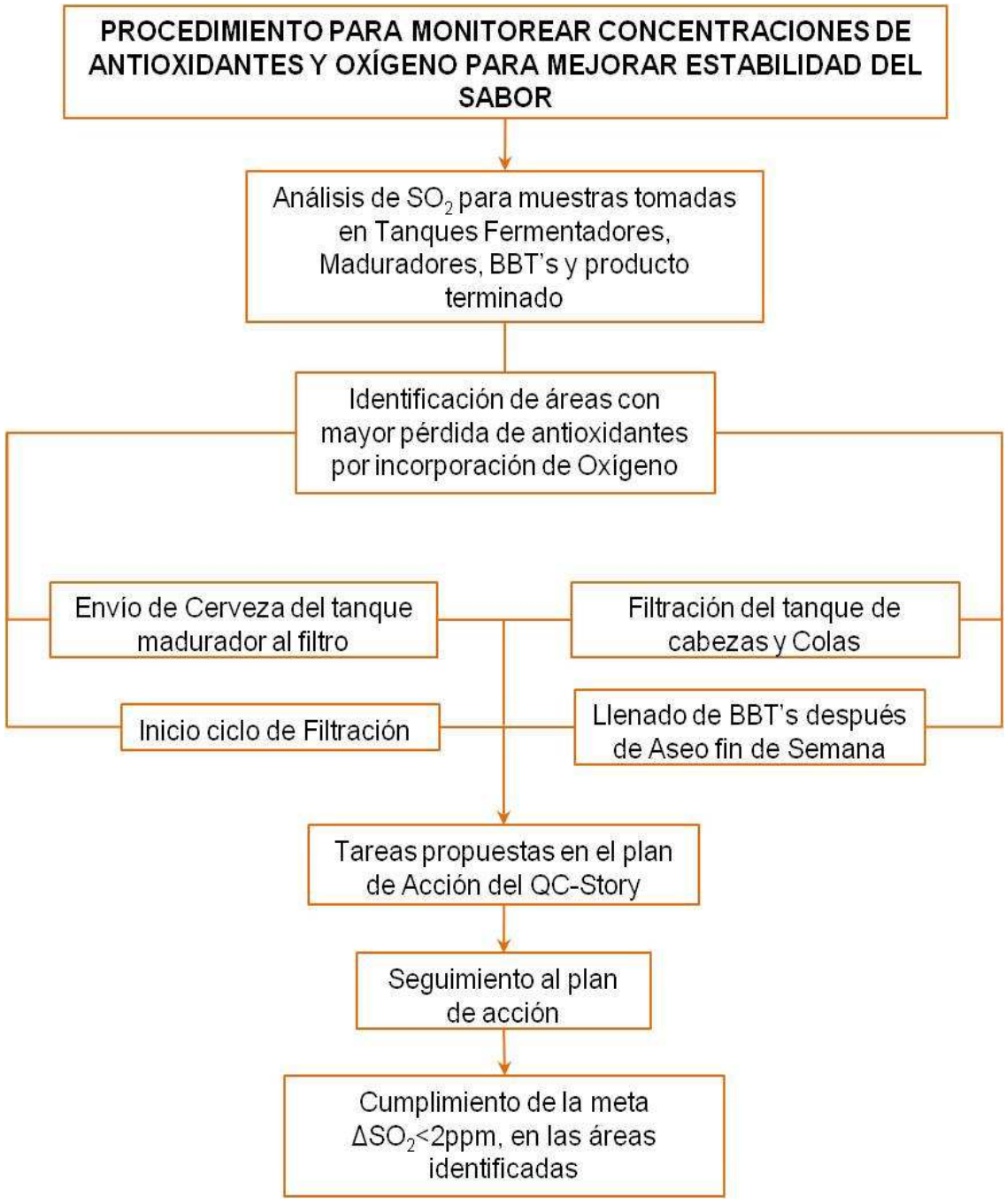
2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Se hizo seguimiento a la concentración de sulfitos desde los tanques fermentadores hasta producto terminado, con el propósito de identificar el comportamiento de los antioxidantes endógenos de la cerveza a lo largo del proceso, y aplicar correcciones de tipo operativo en las áreas en las que se presentara mayor disminución en la concentración de sulfitos.

Con el seguimiento fue posible identificar el camino que sigue la cerveza madura desde el madurador hasta el tanque de contrapresión, como el área con mayores pérdidas de antioxidantes, y se encontró como causa raíz de ésta pérdida las incorporaciones de oxígeno en el envío de la cerveza del tanque madurador al filtro, en los inicios de ciclo de filtración, la filtración del tanque de cabezas y colas y en el llenado de los tanques de contrapresión después de los aseos de fin de semana.

Teniendo las áreas de trabajo plenamente identificadas, y la variable a controlar, se inició un *"QC-Story"* en el que se definía un plan de acción con responsables a cargo, y se propuso como meta lograr ΔSO_2<2ppm, entre maduración y tanques de contrapresión, esto con el fin de controlar la pérdida de antioxidantes causada mayoritariamente por incorporaciones de oxígeno en el proceso. Posterior al análisis y a medida que se iban implementando las tareas propuestas en el plan de acción, estas fueron evaluadas y monitoreadas una a una teniendo en cuenta los cambios en las concentraciones de antioxidantes en las cervezas, y de oxígeno en línea y equipos, hasta cumplir la meta propuesta. En el diagrama de la figura 4 se resume la metodología de trabajo desarrollada.

Figura 4. Metodología de trabajo



Fuente: El autor

2.1. Análisis de SO_2 para muestras tomadas en Tanques Fermentadores, maduradores y de contrapresión:

Se realizó un muestreo diario durante los meses de junio, julio y agosto a todos los tanques fermentadores desde el momento de llenado, así como a los tanques maduradores y BBT's, en tubos de 50 mL manteniendo todas las muestras a 4ºC hasta el momento del análisis. Las muestras de fermentación y maduración fueron centrifugadas previamente a 4000 rpm durante 5minutos antes de comenzar la determinación de SO_2.

Para la determinación de las concentraciones de SO_2 en las muestras, se siguió un procedimiento interno del Laboratorio de análisis especiales de la Cervecería de Boyacá[11].

2.2. Identificación de áreas con mayor pérdida de antioxidantes, por incorporación de oxígeno:

Se realizó un análisis estadístico descriptivo (medias y desviaciones), discriminando las diferentes áreas de trabajo y los respectivos resultados de los análisis de concentración de SO_2, semana a semana, y se encontró que había mayores pérdidas (entre 2 y 3ppm) de antioxidantes (SO_2), en el paso de la cerveza del madurador al BBT, definiendo así ésta parte del proceso como el área sobre la cual focalizar el trabajo, encaminado a la reducción de las incorporaciones de oxígeno, variable que fue calificada como responsable de las pérdidas de antioxidantes en el análisis de causas del *"QC-Story"*.

2.3. Envío de cerveza del tanque madurador al filtro

[11] Ver Procedimiento en anexo 2

Hasta finales del mes de julio, la cerveza del madurador que se estaba filtrando, era enviada por gravedad, y en ocasiones se iniciaba el envío con la tubería vacía, lo que generaba incorporaciones de oxígeno, que se podían apreciar en las gráficas de control del filtro, al inicio y final del envío de cada madurador. Para corregir el impacto causado por éstas incorporaciones se implementaron dos sencillas actividades antes de comenzar el envío del tanque madurador a filtración, a seguir:

- Inundación de la línea de cerveza madura con agua desaireada, antes de comenzar el envío de la cerveza del madurador y
- Presionar el tanque madurador que se va a filtrar, para mantener un ambiente de CO_2 en el mismo. Para éste procedimiento se aprovechó una antigua línea de CO_2 junto al último tanque madurador, así como una válvula de corte que divide la línea de entrada de los maduradores de la de los fermentadores[12]. El procedimiento se encuentra detallado en una LUP [13].

Después de tener la línea de envío completamente inundada, y el tanque madurador con una presión no mayor a 5 psi, se abre la válvula del madurador para comenzar el envío a filtración. El agua utilizada para la inundación de la línea de cerveza es descartada por el drenaje junto al tanque de cabezas y colas. Cuando se termina de evacuar el agua, la cerveza del inicio del madurador es enviada al tanque de cabezas y colas hasta que el medidor de oxígeno en línea antes del equipo de filtración marque una concentración menor a 30 ppb de O_2, y de ésta manera poder dar inicio al proceso de filtración.

[12] Ver diagrama del área de fermentación y maduración, Anexo3
[13] Lección de Un Punto, ver LUP No 8 Anexo 4

2.4. Inicio del ciclo de filtración.

Cada vez que se finaliza un ciclo de filtración, se debe realizar aseo al cuerpo del filtro y líneas de entrada y salida del mismo. Posteriormente, se procede a realizar la evacuación del oxígeno presente en el filtro por las actividades de limpieza y esterilización, para finalmente dar inicio a un nuevo ciclo de filtración.

Se hizo seguimiento y correcciones a los procedimientos para la evacuación de oxígeno, tomando como referencia el comportamiento de la concentración de oxígeno en la línea de llenado de BBT's, que se podía apreciar en tiempo real en las gráficas de control del filtro. En la tabla se resumen los cambios realizados.

Tabla 2. Cambios de procedimientos en filtro

Procedimiento	Resumen del procedimiento[14]
1	Después de finalizar aseo y esterilización, se inunda el filtro con agua desaireada por todas las entradas, posteriormente se inyecta CO_2 y se eliminan las burbujas de aire por la parte superior del filtro. Finalmente se preparan las pre-capas con el agua gasificada.
2	Igual que en el procedimiento anterior, se inunda el filtro con agua desaireada por todas las entradas. Se eliminan las burbujas por la parte superior del filtro, luego se inyecta CO_2 por la parte superior del filtro para evacuar el agua por la salida inferior del mismo, y finalmente pasando CO_2 por las otras líneas. Se inunda el filtro de nuevo con agua desaireada por todas las entradas, se hace eliminación de burbujas, y finalmente se comienza la preparación de pre-capas con el agua de la segunda inundación.

Fuente: El autor

La tabla 2 continúa en la siguiente página.

[14] Para mejor comprensión de procedimientos, ver diagrama de filtro, Anexo 5

Tabla2. Cambios de procedimientos en filtro (continuación)

Procedimiento	Resumen del procedimiento
3	Se realiza un proceso de doble inundación y evacuación de oxígeno como el descrito para el procedimiento 2, pero la inundación se realiza únicamente por la línea de cerveza filtrada en contracorriente, teniendo cuidado de mantener el filtro a una presión superior a 2 Bar, durante las inundaciones.
4	Doble inundación y eliminación de oxígeno igual al anterior, pero la inundación se realiza por entrada inferior del filtro. (Por facilidades técnicas y de procedimientos)

Fuente: El autor

Para conocer la efectividad de los cambios realizados al proceso de aseo y pre-capas del filtro (evacuación de tierras, lavado, esterilización de equipo y líneas, preparación de pre-capas e inicio de ciclo), se hizo seguimiento de la concentración de oxígeno en la salida del filtro[15] y en la línea de llenado de BBT's , para diferentes inicios de ciclo.

La concentración máxima de oxígeno para la cerveza filtrada es de 50 ppb, pero se busca obtener concentraciones de oxígeno cercanas a cero en el producto, para evitar la oxidación y degradación de la cerveza.

2.5. Llenado de BBT´s después de aseo de fin de semana

Las rutinas de aseos de los equipos, más conocidos en el ámbito industrial como CIP ("*Clean in Place"*), siguen una metodología que incluye la utilización de diferentes soluciones lavadoras (soda cáustica, ácido nítrico y oxonia) para la

[15] Ver gráficas en anexo 5

limpieza y esterilización de líneas y equipos. En la Cervecería de Boyacá, se realizan CIP cortos (sin soda) a los BBT's debido a la demanda de producto que requiere el área de embotellado, pero los fines de semana se deben realizar aseos completos a todas las líneas y cada uno de los tanques de contrapresión. Para estos CIP completos, se debe inicialmente despresurizar el tanque, y abrir el "*Manhole"* del mismo con el fin de eliminar todo el CO_2 presente, ya que si no se da una correcta eliminación de CO_2 se puede generar implosión del tanque por la reacción de éste gas con la solución de soda, siendo ésta la primera solución de limpieza aplicada. Al abrir el *"Manhole"* del tanque, ingresa gran cantidad de aire al mismo y por lo tanto se requiere hacer una eliminación efectiva del oxígeno en el tanque después del CIP. Hasta la primera semana de septiembre, la eliminación de oxígeno se hacía contrapresionando el tanque por la parte superior, y eliminando el aire por la línea de alimentación (parte inferior). Esta eliminación no era totalmente efectiva, ya que cuando se llenaban los BBT's por primera vez después del CIP completo se presentaban concentraciones iniciales[16] de oxígeno fuera de especificaciones, que eran corregidas inyectando CO_2 por la parte inferior del tanque mientras éste se llenaba. Con esta operación, era posible terminar el llenado del tanque con una concentración de oxígeno dentro de especificaciones, pero la inyección de gas al tanque durante el llenado afectaba notablemente la estabilidad de la cerveza, hecho que se veía reflejado en la caída de la concentración de sulfitos de maduración a BBT's.

Se sabía de antemano que para lograr una mejor eliminación del oxígeno en el tanque después del CIP, la eliminación del aire se debía hacer inyectando gas por la parte inferior del tanque y desfogando el aire por la parte superior[17], pero ésta operación no se podía realizar ya que la línea de gas sólo tenía acceso al BBT por la parte superior. Ésta limitación técnica se solucionó con la instalación

[16] Durante el llenado de BBT's se hacen análisis de parámetros cada 300hl, dentro de los cuales se encuentra la medición de O_2.

[17] El CO_2 es más denso que el aire. Al hacer empuje con CO_2 desde abajo, se garantiza que el aire se situé sobre el gas y que la eliminación de éste sea más efectiva

de una manguera que permite conectar la línea de CO_2 a la parte inferior de cada uno de los tanques[18] . Los resultados del uso de la manguera para la eliminación de oxígeno en los BBT's después del aseo de fin de semana, se pueden apreciar en la mejora de los resultados del análisis de sulfitos a partir de la segunda semana de septiembre.

2.6. Filtración del tanque de cabezas y colas

La recolección en el tanque de cabezas y colas se realiza con el fin de no afectar las pre-capas en el filtro, y así obtener cerveza filtrada dentro de especificaciones.

Cada vez que se necesita filtrar éste tanque[19] bien sea por cupo o por tiempo de reposo, se generaban incorporaciones de oxígeno que afectaban notablemente la estabilidad del ciclo de filtración. Teniendo en cuenta esto, se propuso reducir el uso de éste tanque y mejorar las prácticas para la filtración del mismo.

Buscando la reducción del uso del tanque de cabezas y colas, se mejoró el proceso de purgas en los tanques maduradores y fermentadores. Se comenzó entonces a realizar purgas sistemáticas cada 24 horas a los tanques maduradores desde el momento de llenado hasta el envío a filtración, y con la misma frecuencia en los tanques fermentadores desde el momento en que se retira la levadura, hasta el envío de la cerveza verde al tanque madurador (trasiego). Estas purgas consisten en eliminación de levadura acumulada en los conos de los tanques, por efecto de las bajas temperaturas manejadas desde el final de la fermentación y durante la maduración de la cerveza (0-1ºC). La levadura de las purgas es descartada en colectores.

[18] Para mejor entendimiento de la mejora, ver diagrama de BBT en Anexo 6.
[19] Ver diagrama de éste tanque en Anexo 11.

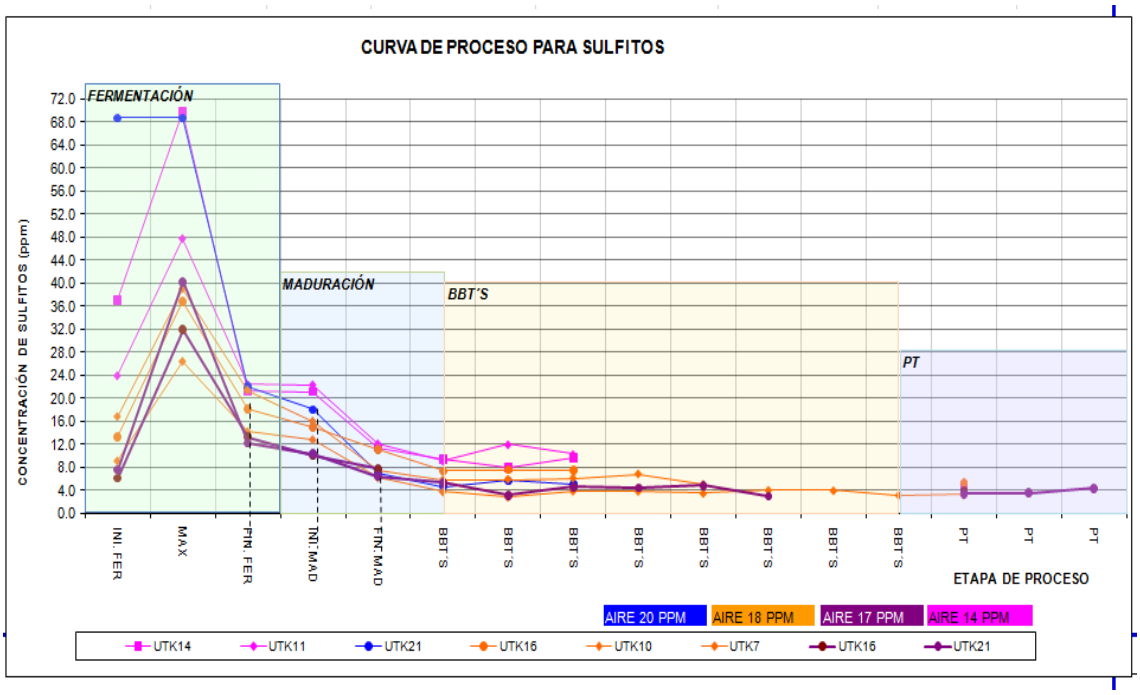
Pasando al área de filtración y al envío del tanque de cabezas y colas al filtro, se estableció un procedimiento en una LUP[20], en el que se citan las condiciones en las que el tanque se debe encontrar antes del envío (el tanque debe mantener siempre una presión entre 10-15 PSI) y la forma en que se debe realizar el envío (se debe purgar la salida del cono del tanque hasta que salga únicamente cerveza, luego conectar el codo correspondiente y encender la bomba para el envío al filtro).

[20] Ver LUP No 11, Anexo 7

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1. Análisis de concentración de sulfitos.

Figura 5. Comportamiento de la concentración de sulfitos en las etapas del proceso cervecero de la Cervecería de Boyacá para los meses de junio y julio de 2010.



Fuente: Laboratorio de Análisis especiales, Cervecería de Boyacá. El autor

La Figura 5[21] muestra los resultados de los análisis de sulfitos[22] hechos durante los meses de junio y julio, que dieron pie a estandarizar procesos y hacer mejoras en las diferentes áreas para mejorar el indicador de estabilidad. Vale la pena anotar que no se había realizado ninguno de los cambios mencionados en el desarrollo experimental.

[21] Ver figura ampliada en Anexo 8
[22] Se graficaron los comportamientos más representativos de los 2 meses. (un tanque por cada semana)

Los fermentadores analizados, presentan aireaciones entre las 14 y 20 ppm. Observando mayor concentración de sulfitos para aireación a 14ppm, sin embargo en la etapa final de fermentación, se observan concentraciones de sulfitos similares.

En la etapa de maduración, se presenta un descenso en la concentración de sulfitos, relacionado con la carbonatación que se debe realizar a la cerveza verde durante los trasiegos, para optimizar las condiciones de maduración. ($[SO_2]$=11ppm).

En el proceso de filtración, el primer y el último BBT del ciclo, presentan un mayor descenso en la concentración de sulfitos debido a las operaciones relacionadas con el desalojo de aire en las líneas y el filtro, y una menor contrapresión en el BBT. También hay un descenso de sulfitos en el paso de BBT a envase. La diferencia de sulfitos entre la envasadora y la salida de la pasteurizadora es muy baja.

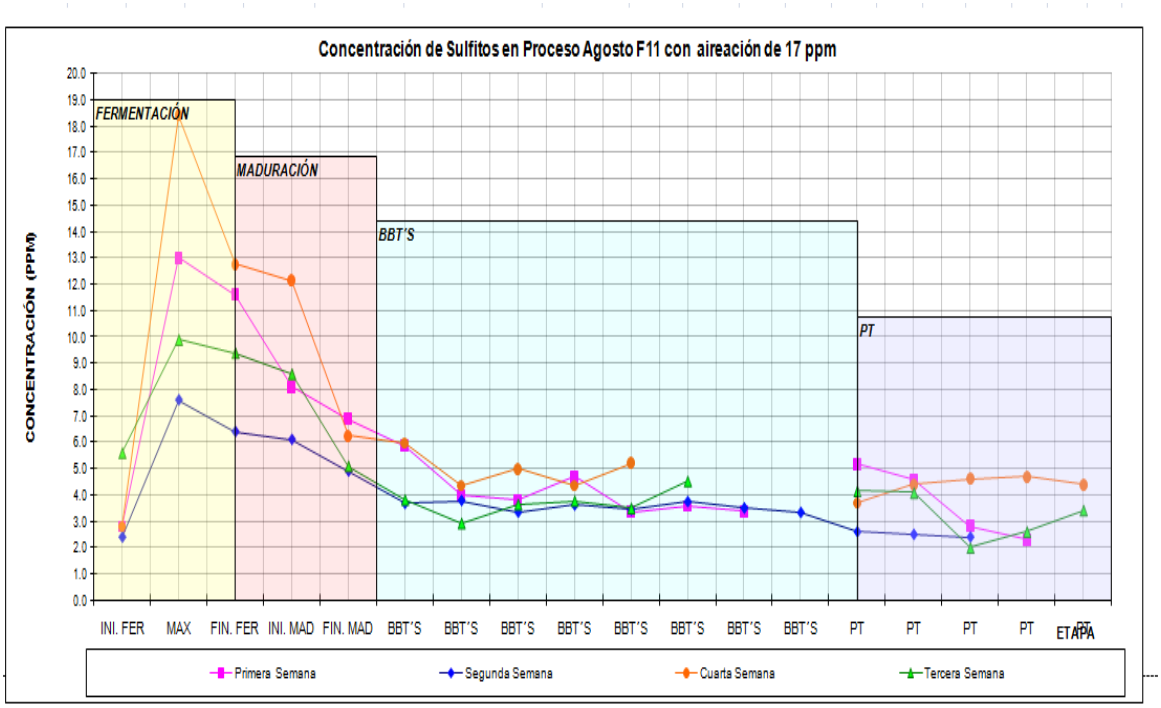
Para poder hacer un análisis más objetivo, se decidió estandarizar la aireación de los cocimientos a fermentar en 17ppm para todo el mes de agosto. En la Figura 6 se pueden ver los resultados obtenidos.

Debido a una aireación constante de 17 ppm en todos los cocimientos a fermentar, se aprecia uniformidad de los resultados del mes de agosto (Figura 6[23]), lo que permite visualizar de manera más clara el comportamiento de la concentración de sulfitos a lo largo del proceso, con una concentración máxima de sulfitos en fermentación por debajo de 20 ppm, baja en comparación a las presentadas en los meses de junio y julio que presentaba valores máximos por

[23] Ver figura ampliada en anexo 9

encima de las 50 ppm de SO_2. En maduración y BBT's se observa también que se presentaron mayores concentraciones de SO_2 para los meses de junio y julio.

Figura 6. Comportamiento de la concentración de sulfitos en las etapas del proceso cervecero de la Cervecería de Boyacá para el mes de Agosto de 2010



Fuente: Laboratorio de Análisis especiales, Cervecería de Boyacá. El autor

A pesar de presentar menores concentraciones de sulfitos en el mes de agosto, estos valores son más cercanos a los valores ideales, ya que como se mencionó en la sección 1.2.3, concentraciones de SO_2 por encima de 6.5 ppm afectan negativamente la calificación sensorial de la cerveza a pesar de mejorar los resultado del análisis ESR, y el interés es buscar un equilibrio entre éstas 3 variables.

3.2. Estadística descriptiva para los resultados de SO_2

Con el fin de determinar la variación global de la concentración de sulfitos en proceso y en cada una de las áreas analizadas, se hizo un análisis estadístico descriptivo que se resume en la tabla 3.

Tabla 3. Estadística descriptiva para las áreas analizadas

Concentración de sulfitos en Proceso			
	Junio	Julio	Agosto
Media SO_2 [ppm]	29	14,8	8,17
Desv. Std	16,9	10,3	2,5
N (datos)	51	105	149

Concentración de sulfitos en Fermentación			
	Junio	Julio	Agosto
Media SO_2 [ppm]	40	21,9	8,7
Desv. Std	16,5	10,35	2,9
N (datos)	27	50	85

Concentración de sulfitos en Maduración			
	Junio	Julio	Agosto
Media SO_2 [ppm]	16,6	10,7	7,5
Desv. Std	4,1	3,6	1,5
N (datos)	24	34	72

Concentración de sulfitos en BBT's			
	Junio	Julio	Agosto
Media $SO_{2\ [ppm]}$	8,5	5,26	3,88
Desv. Std	2,4	0,832	1,225
N (datos)	8	16	64

Fuente: El autor

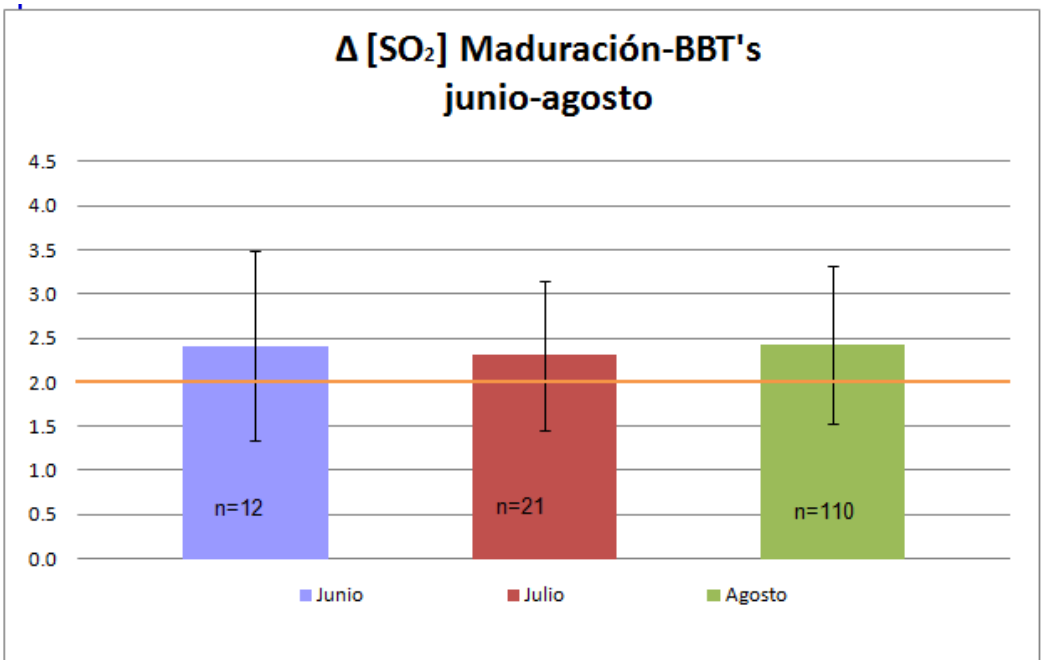
Como ya se mencionó en la sección 3.1, los valores de concentración de sulfitos registrados en el mes de agosto son los ideales, pero como se puede ver en los

datos de la tabla 2, hay una caída considerable de la concentración de sulfitos en el paso de la cerveza de maduración a BBT's (3,62 ppm es la diferencia entre medias), por lo que se decidió trabajar en ésta área del proceso y establecer la meta de ΔSO_2<2ppm.

3.3. Seguimiento a los cambios en planta

A partir de la meta propuesta, se hizo el siguiente análisis gráfico, para poder hacer un mejor seguimiento de la situación previa y actual del ΔSO_2<2ppm con respecto a los cambios mencionados en el desarrollo experimental. Se muestra la media de $\Delta[SO_2]$ para cada periodo de tiempo especificado, la línea naranja representa la meta, y las líneas negras sobre cada barra representa la desviación de los datos.

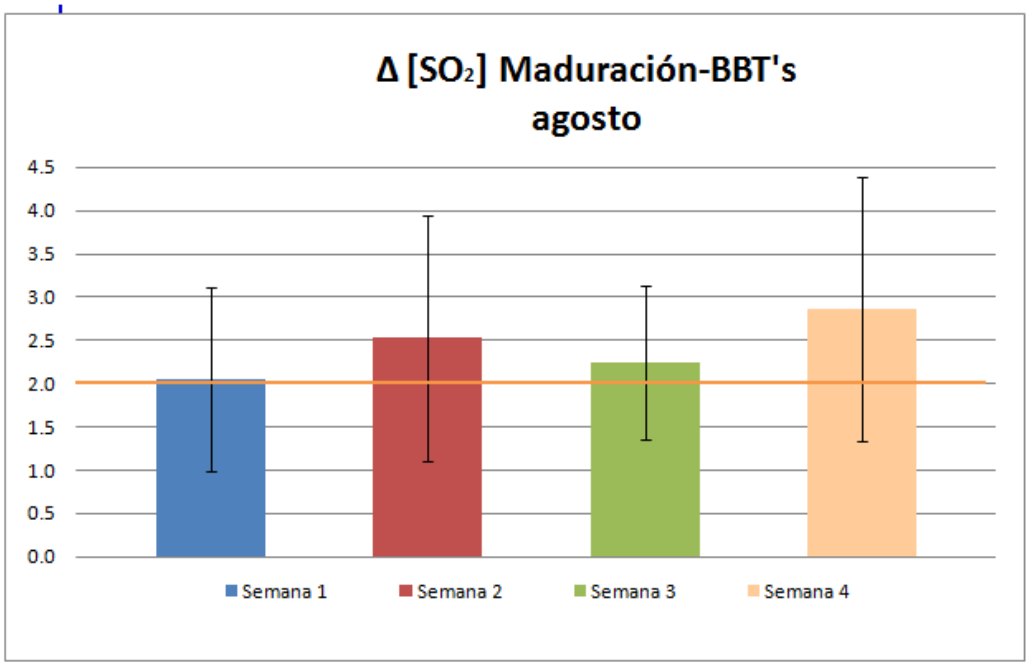
Figura 7. Análisis de la meta, junio-agosto



Fuente: El autor

El análisis para los meses de agosto y septiembre, se hizo semana a semana para poder verificar la efectividad de cada una de las mejoras.

Figura 8. Análisis de la meta, semana a semana. Agosto

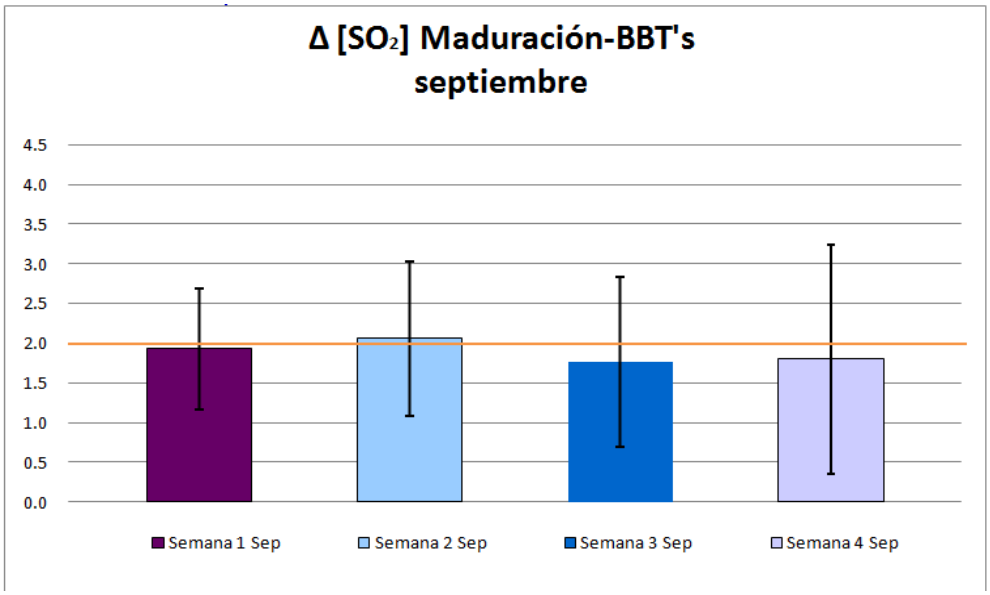


Fuente: El autor

Para la primera semana de agosto, ya se estaba trabajando la metodología descrita en la sección 2.3; para el envío de la cerveza del madurador al filtro, y se estaba manejando el procedimiento 3 descrito en la sección 2.4, para la eliminación de oxígeno en el filtro antes de comenzar cada ciclo de filtración. El proceso permaneció sin cambios durante todo el mes. Como se puede apreciar, los primeros cambios contribuyeron notablemente al mejoramiento de los resultados, con respecto a los meses de junio y julio, ya que se tenía un proceso más estandarizado, con concentraciones de sulfitos apropiadas y se estaba logrando una buena aproximación inicial a la meta propuesta. La fuerte desviación

de la cuarta semana de agosto se debe a ajustes en la automatización en el filtro, que fueron sincronizados para la primera semana de septiembre.

Figura 9. Análisis de la meta, semana a semana. Septiembre

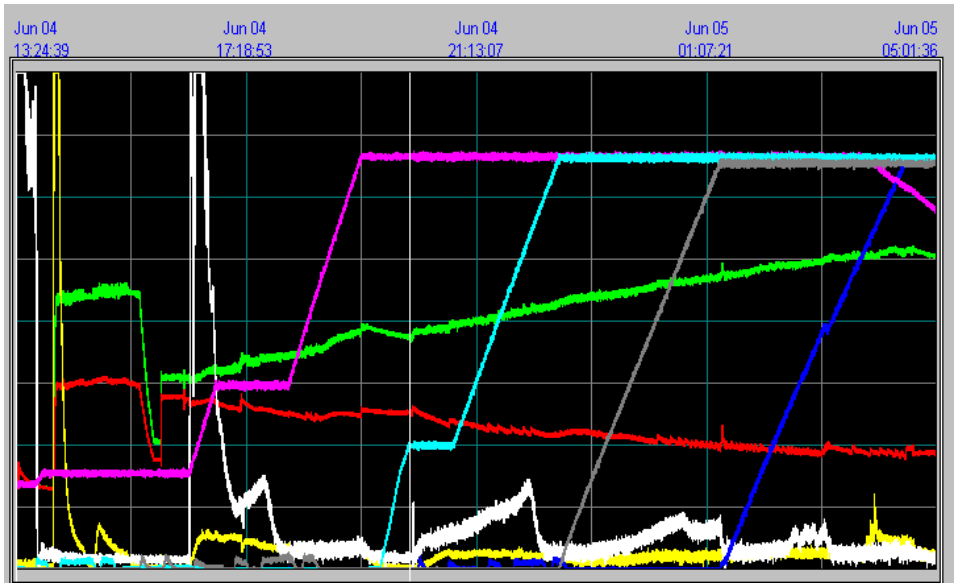


Fuente: El autor

Para la primera semana de septiembre, se comenzó la filtración del tanque de cabezas y colas como se cita en la sección 2.6, y la tercera semana ya se contaba con la manguera para la evacuación de oxígeno en BBT's después del aseo de fin de semana.

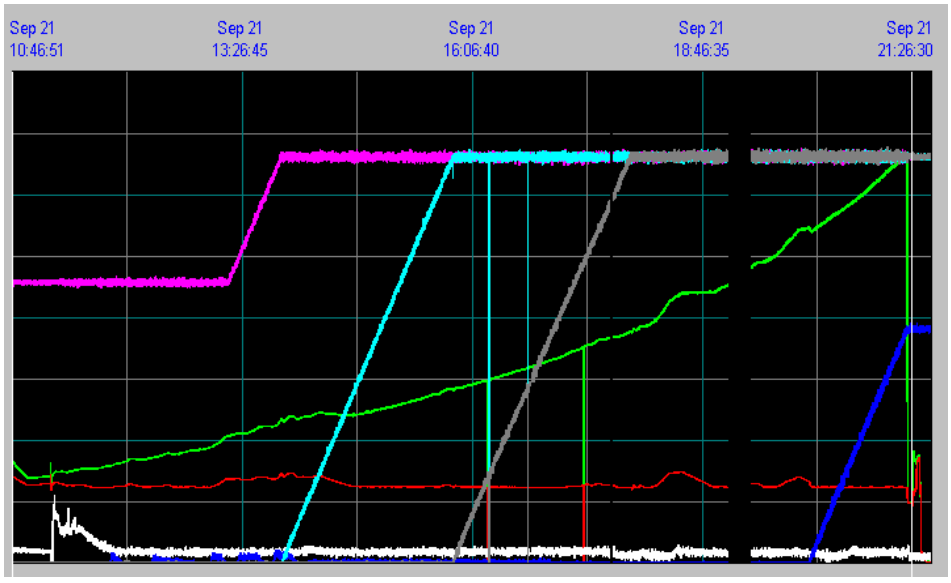
Para apreciar el efecto que tuvieron los cambios en planta para contrarrestar las incorporaciones de oxígeno, se muestran a continuación la situación previa (Figura 9) y actual (Figura 10), de las concentraciones de oxígeno (Línea Blanca) en la línea de llenado de BBT's,

Figura 10. Concentraciones de oxígeno en línea de llenado de BBT's antes de los cambios. (Línea blanca)



Fuente: Gráficas de Control de filtración, Cervecería de Boyacá

Figura 11. Concentraciones de oxígeno en línea de llenado de BBT's después de los cambios. (Línea blanca)



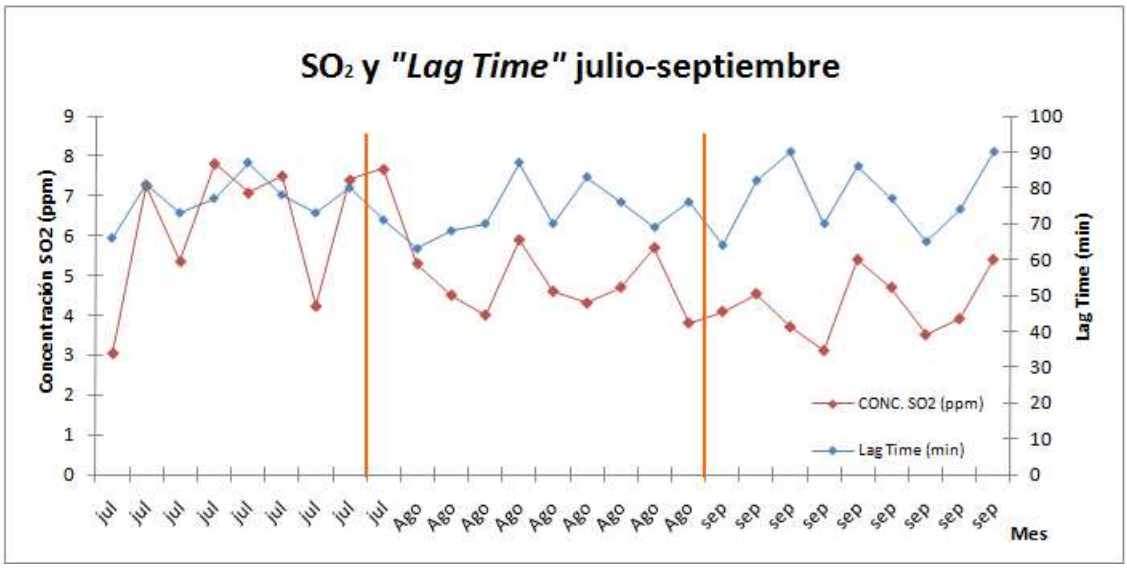
Fuente: Gráficas de Control de filtración, Cervecería de Boyacá

Se tuvo en cuenta el comportamiento del oxígeno en la línea de llenado de BBT's, ya que es ésta es la línea final de proceso, y por lo tanto variaciones en la concentración de oxígeno en las áreas previas (maduración y filtro) se ven reflejadas en el comportamiento de ésta línea.

A partir de los resultados de concentraciones de oxígeno y sulfitos mostrados para los meses de agosto y septiembre se puede concluir, que los cambios propuestos en planta fueron efectivos y contribuyeron de manera oportuna al cumplimiento de la meta propuesta en el "*QC-Story"*, y con esto al mejoramiento del indicador de *"Lag Time"* para la cervecería de Boyacá.

Pasando al análisis ESR (*"Lag Time"*) en la Gráfica 8 se muestran los resultados de concentración de sulfitos y valor de *"Lag Time"* para muestras de producto terminado de la cervecería de Boyacá analizadas en la división de calidad (Bogotá).

Figura 12. Concentraciones de sulfitos y valor de *"Lag Time"* en producto terminado, julio- septiembre. Cervecería de Boyacá



Fuente: El autor

Todos los cambios hechos en planta, se ven directamente relacionados con los resultados de producto final. Prueba de esto es el comportamiento de las 2 variables mostradas en la gráfica de la figura 12, que para el mes de septiembre, en cual ya se encontraban implementados los cambios descritos, muestra un comportamiento similar para las dos variables, con concentraciones ideales de sulfitos por debajo de 6ppm, y dos valores sobresalientes de "*Lag Time*" de noventa minutos, resultados nunca antes obtenidos en ésta cervecería.

El comportamiento de las variables, también resalta la importancia de la estandarización de los procesos en planta, pues como se puede ver sobre todo para el mes de julio, en el cuál no se habían hecho las modificaciones al proceso y además se presentaron cambios en las condiciones del mismo (Aireación de los cocimientos a fermentar) no es posible establecer una relación clara entre las variables analizadas.

4. CONCLUSIONES

La estandarización de las condiciones del proceso fue de vital importancia para lograr un análisis representativo de las variables estudiadas, pues como se evidencia en el trabajo realizado, sólo a partir de los resultados del mes de agosto fue posible obtener conclusiones iniciales y realizar los cambios en planta mencionados de manera acertada ya que se trabajó sobre un proceso controlado y unificado.

La implementación de los cambios en planta fue efectiva, pues gracias a éstos se apreciaron menores fluctuaciones en las concentraciones de antioxidantes entre las áreas de maduración y filtración, además de una importante disminución de las concentraciones de oxígeno en línea en las áreas mencionadas.

A pesar de manejar concentraciones de antioxidantes menores a los reportados en la literatura, se pudo apreciar que existe relación entre concentraciones de antioxidantes y los resultados de *"Lag Time"*. Dicha relación permite, a pesar de las limitaciones técnicas de la planta, tener un indicador interno de la estabilidad del sabor en los productos de la cervecería de Boyacá, que está siendo utilizando actualmente.

5. RECOMENDACIONES

Las mejoras obtenidas en el indicador son el resultado de un trabajo conjunto del personal operativo, técnico y profesional de la Cervecería. Por lo tanto es de vital importancia incentivar en los operarios el interés por mantener y mejorar los resultados obtenidos a través de capacitaciones, y de ésta manera conseguir una retroalimentación por parte de ellos que son quienes conocen de manera detallada el proceso y además son los responsables del mismo.

No sólo los cuidados durante el proceso de elaboración y embotellado, sino además el tratamiento que tiene el producto después de ser envasado influyen significativamente en la estabilidad del sabor de la cerveza. Por lo tanto es importante tener control sobre las condiciones de transporte y almacenamiento del producto, ya que todo el trabajo realizado en planta perdería valor si no se tiene una correcta manipulación del producto desde que sale de la cervecería hasta su disposición final.

BILIOGRAFÍA

[a] Londoño Leonardo, EL DIARIO, separata especial; publicación interna de circulación Nacional editada por Bavaria S.A Ed. 236. Jul 2010

[1] WOLFGANG KUNZE. Tecnología para Cerveceros y Malteros. 1 ed. En español. Alemania.: VLB BERLIN, 2006. pg. 110, 225, 416. [2], [3] p 572-573.

[4] LLETT, D.R. , Aspects of the Analysis, Role and Fate of sulphur Dioxide in Beer- A Review, en MBAA TQ vol 32, Number 4 1995

[5] NORDLÖV, H. And WINWLL, ”beer Flavor Stabilization by interaction Between Bisulphite and t-2 nonenal” European Brewery Convention, Proceeding of the 19th congress, IRL Press ltd., Oxford, 1983, pg 271

[6] WEDZICHA, B.L., Chemistry of sulphur Dioxide in foods, Elsevier, London, 1984, Chapter1

[7] Van Waesberghe, J., Enhanced flavour stability: mission impossible?, in Proceedings of the European Brewery Convention Congress. 2005 CD-ROM, Contribution 97, Fachverlag Hans Carl: Nürnberg, Germany

[8] FOSTER Robert T, SAMP Eric Johann, GIARRATANO Cecil, FLETCHER Stephen, MILLER Michael, QUILLIAM Warren; Electron Paramagnetic Resonance Studies Comparing Wort Boiling Temperatures and Various Levels of Sulfur Dioxide in Packaged Beer.

[9] BACK, W., FORSTER, C., KROTTENTHALER, M., U.A BRWLT 38 81997), s1677-1692; FORSTER, C.: Arbeitstagg. Bund der österr. Brmstr. Maria Taferl, 11.09.97

[10] MANGER, H.-J.: Brwlt 18 (1997), S.696-701

[11] HAFFMANS, B.: Brwkt 27 (1997), S.1084-1088

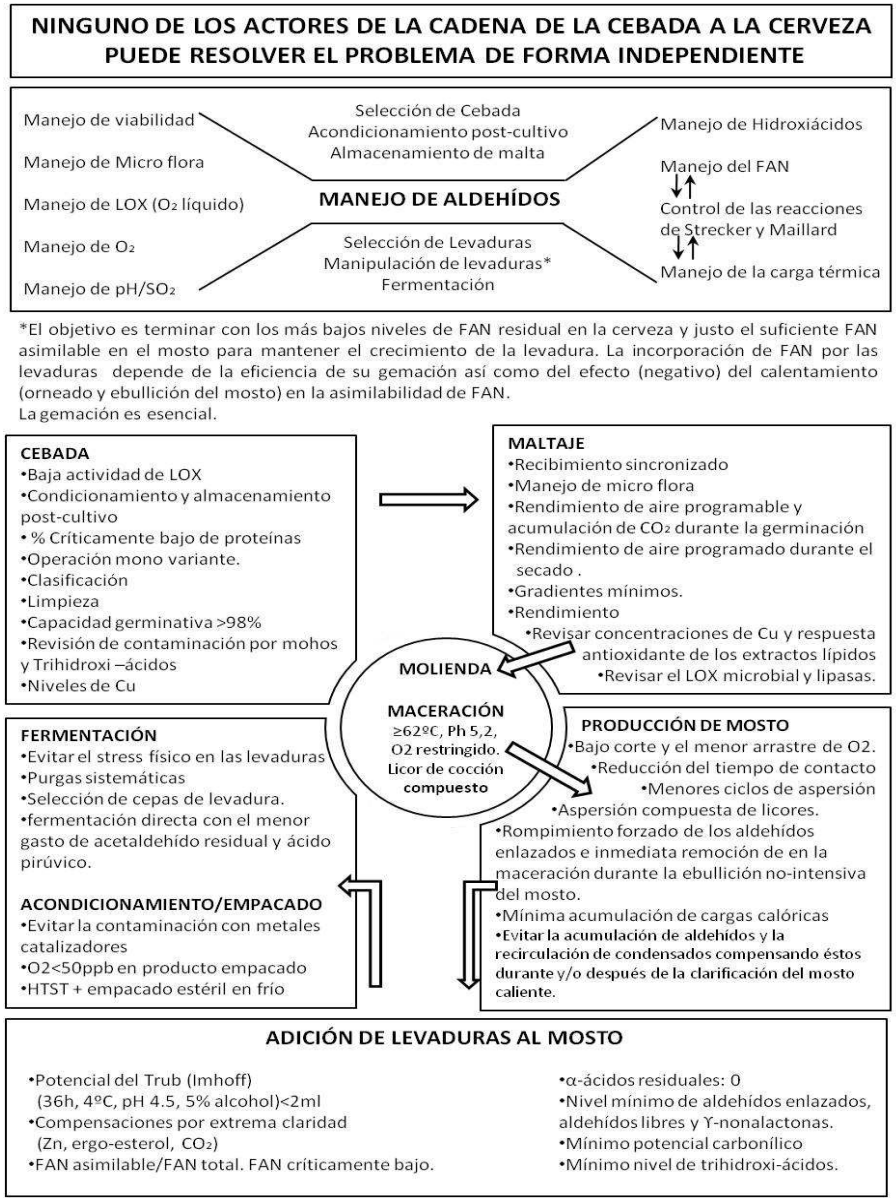
[12] MILLER BREWING COMPANY (Brewing, Research & Qualitty Assurance). Secrets of Beer Freshness Vol2. Implementing the Solutions. Internal use only. Milwaukee, Wisconsin, 2008. pg 113, 114.

[13] BARR, D & FOSTER, RT., Electron Paramagnetic resonance as a measurement tool for free radical oxidation in fermented beverages, in Brewers and Vintners Fermented Beverage Symposia. 2005: Chico, CA.

ANEXOS

Anexo 1. Factores que afectan la estabilidad de la cerveza

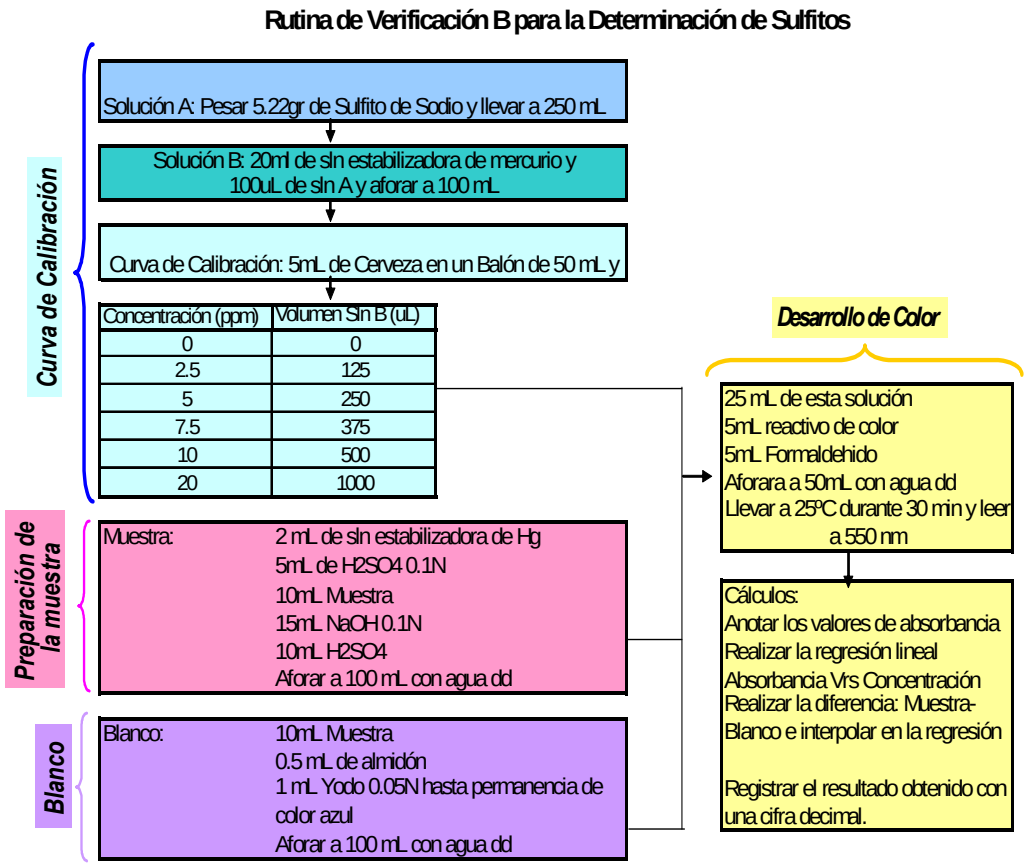
Figura 13. Factores que afectan la estabilidad del sabor



Fuente: Van Waesberge, traducción: El autor. [7]

Anexo 2. Procedimiento para determinación de SO_2

Figura 14. Rutina para verificación de sulfitos

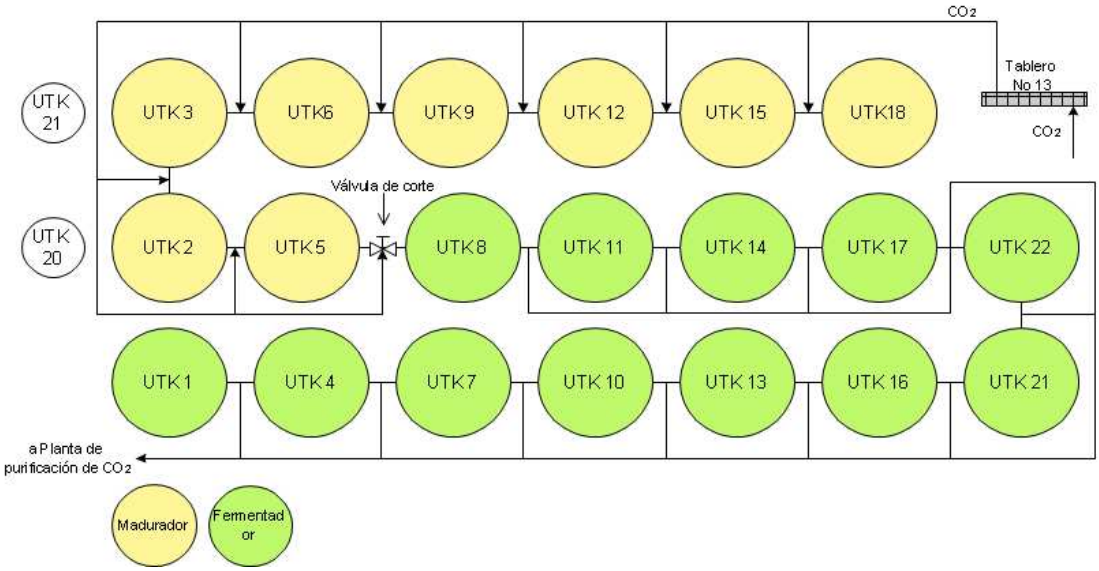


Fuente: Laboratorio de análisis especiales, Cervecería de Boyacá

1. El método descrito está basado en el método "*SABMILLER*" BAMS0725

Anexo 3. Diagrama de Fermentación Maduración

Figura 15. Fermentación-Maduración, Cervecería de Boyacá

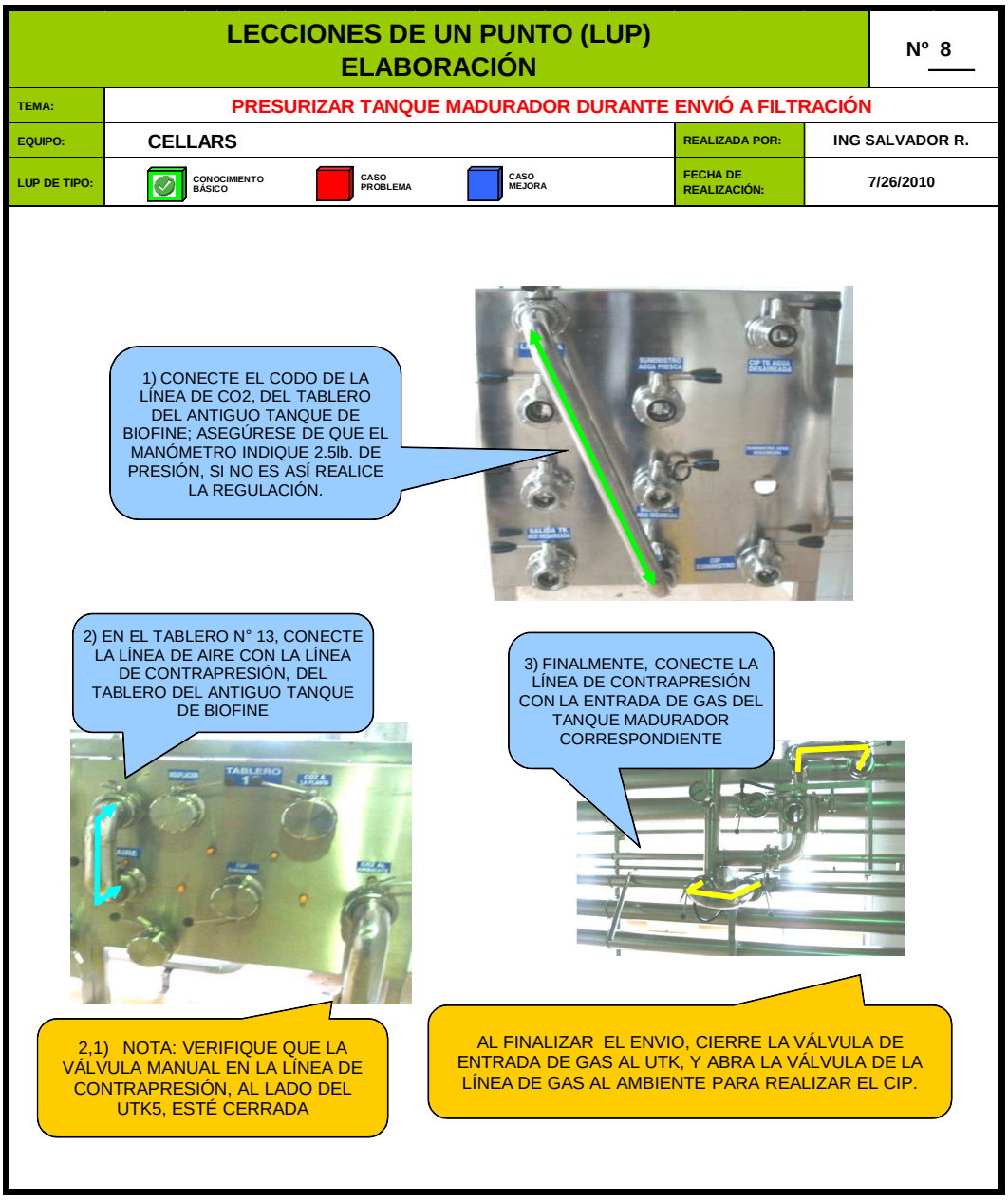


Fuente: El autor

UTK 20 y 21 son tanques más pequeños con capacidad de 1000hl, utilizados para la propagación de levadura, y anteriormente uno de ellos era utilizado para el almacenamiento de Pony Malta, marca que ya no se produce en la Cervecería de Boyacá.

Anexo 4. LUP No 8

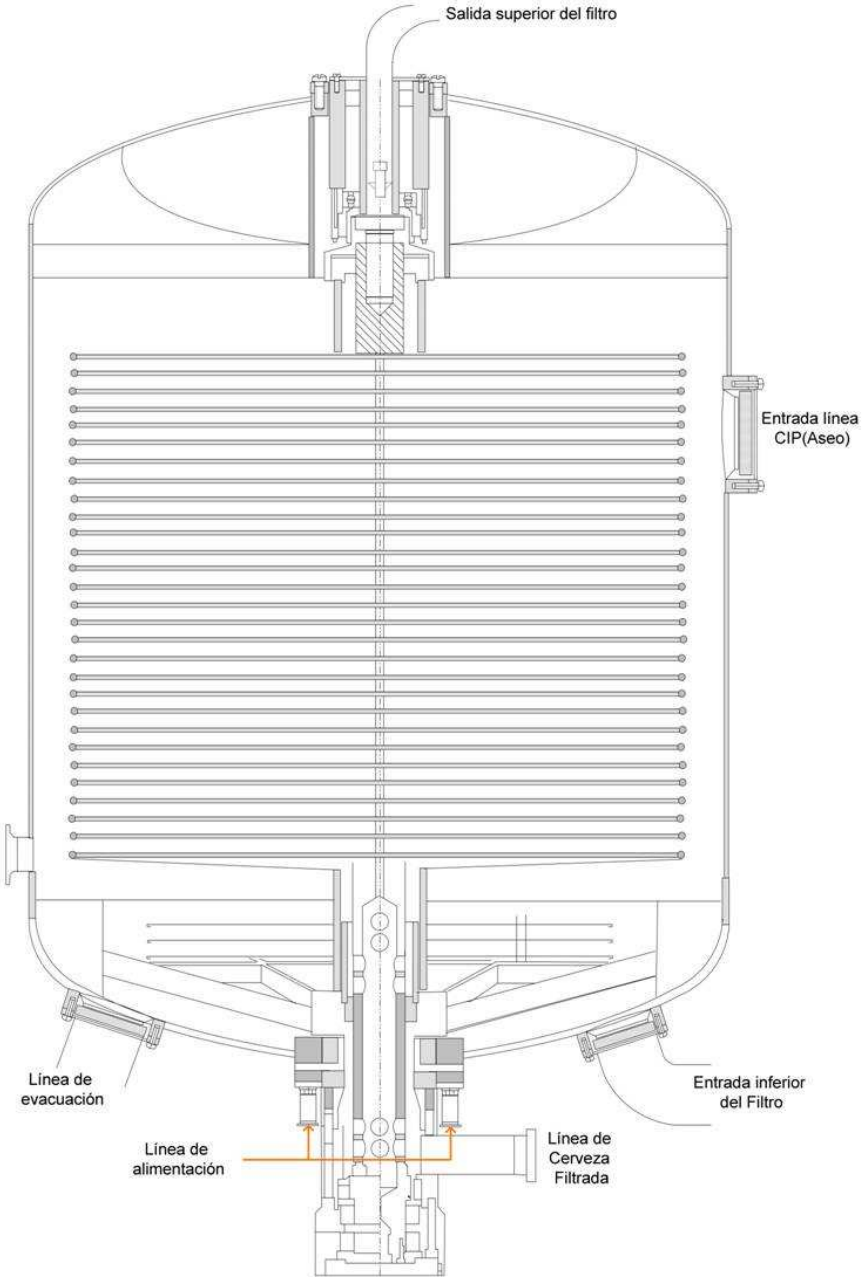
Figura 16. LUP Presurización de tanque madurador



Fuente: Ingeniero Salvador R

Anexo 5. Diagrama del filtro

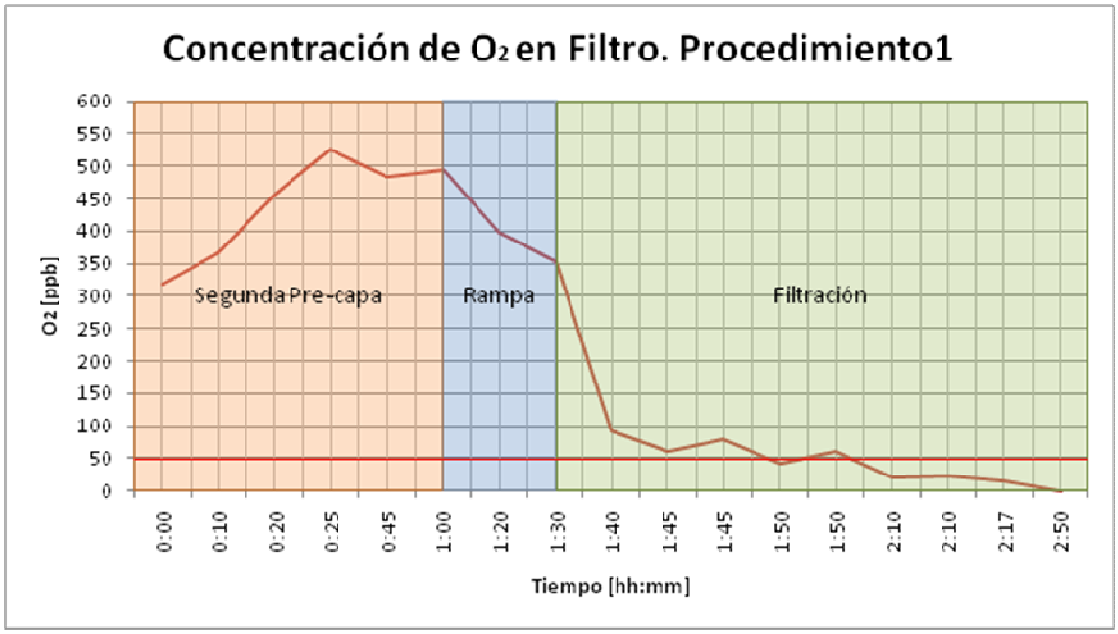
Figura 17. Filtro Schenk, Cervecería de Boyacá



Fuente: El autor.

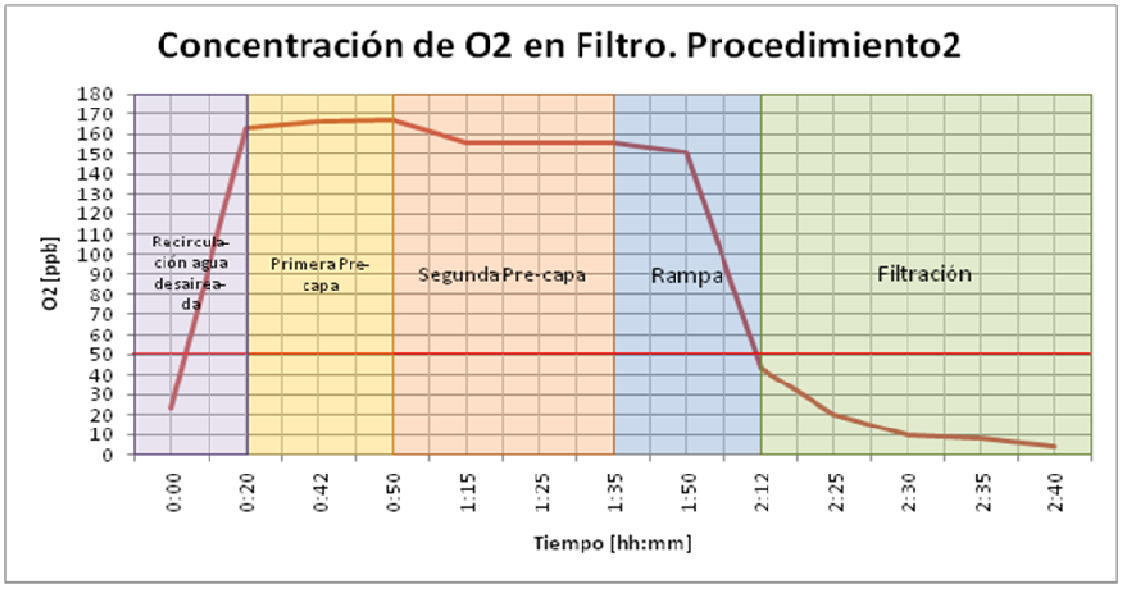
En las gráficas siguientes se muestra la variación de la concentración de oxígeno durante la preparación de pre-capas y arranque de filtración, para cada uno de los procedimientos descritos en la sección 2.4.

Figura 18. Variación de la concentración de oxígeno en filtro, procedimiento 1



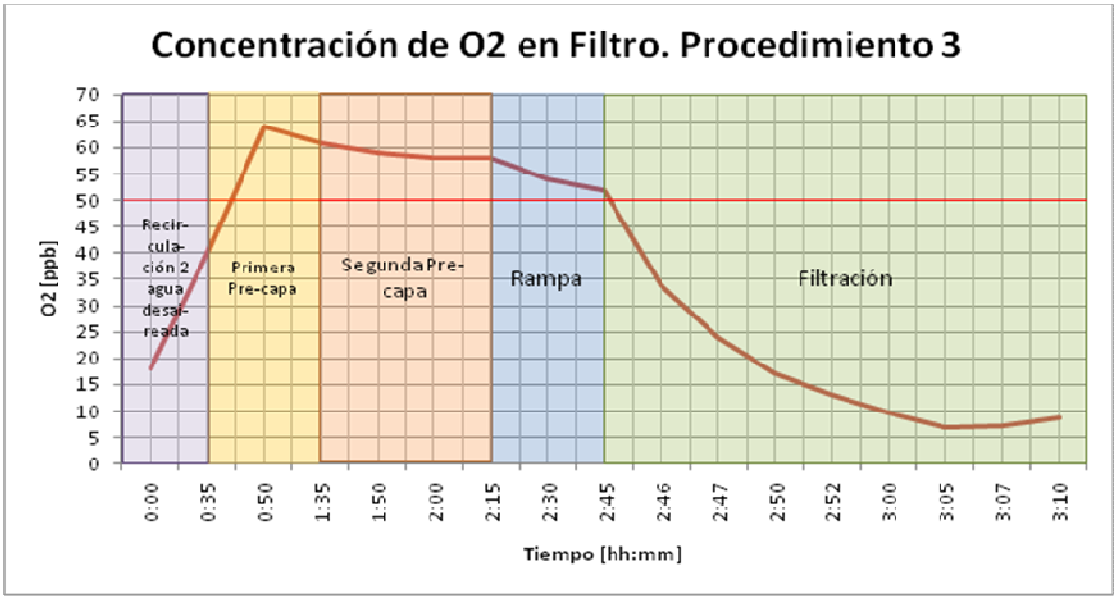
Fuente: El autor

Figura 19. Variación de la concentración de oxígeno en filtro, procedimiento 2



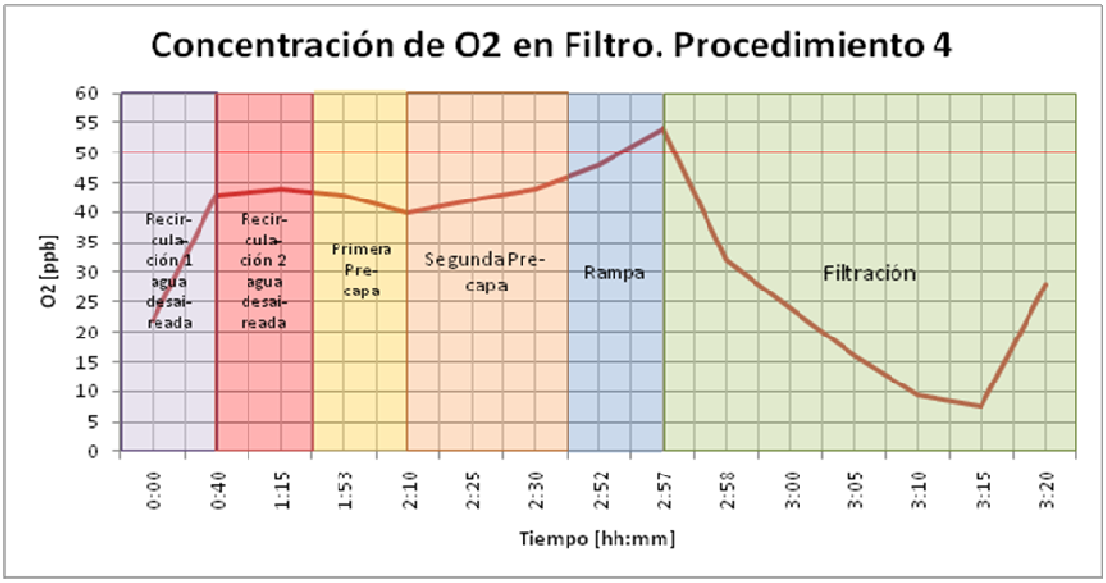
Fuente: El autor

Figura 20. Variación de la concentración de oxígeno en filtro, procedimiento 3



Fuente: El autor

Figura 21. Variación de la concentración de oxígeno en filtro, procedimiento 4

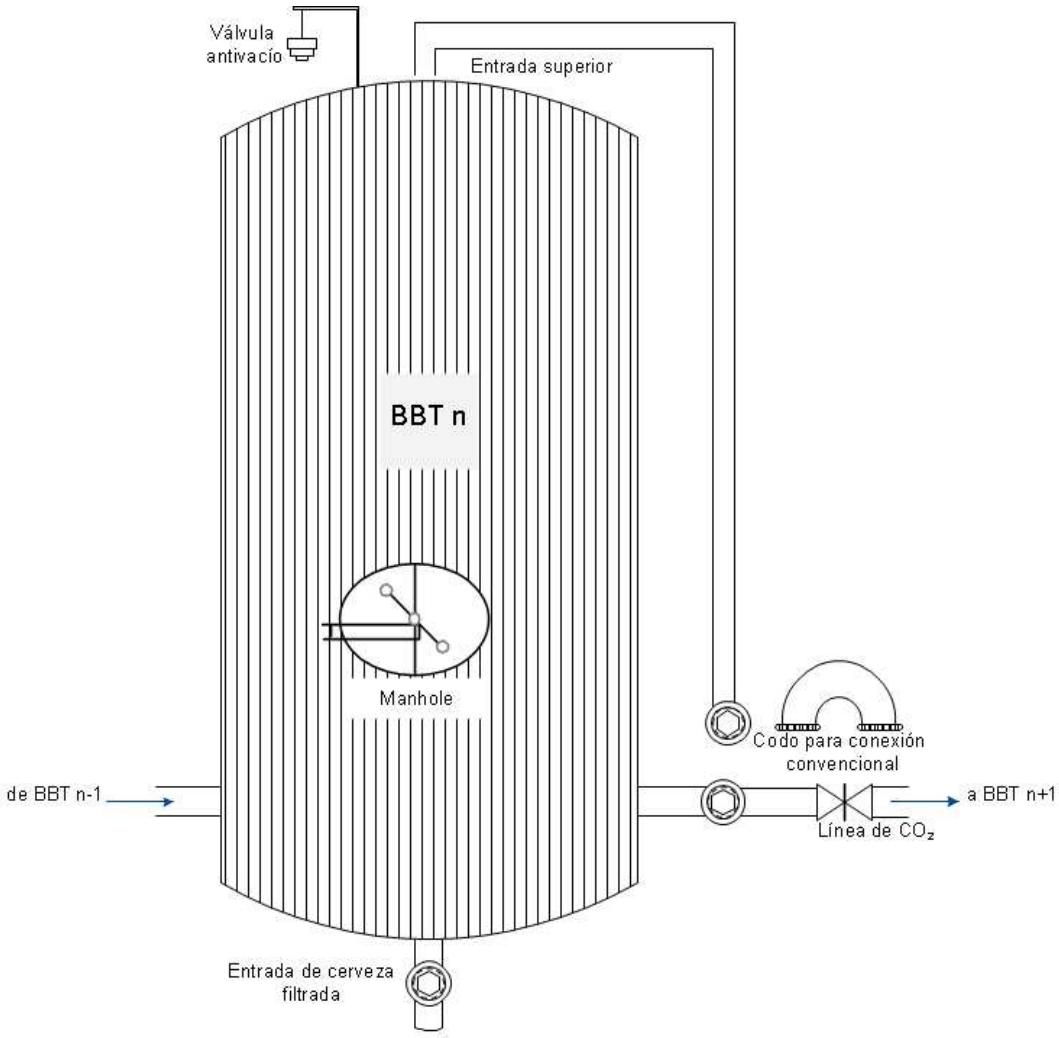


Fuente: El autor

Como se puede apreciar de las gráficas, los cambios realizados, cumplieron con el objetivo de reducir las incorporaciones de oxígeno, ya que cada cambio trajo consigo menores concentraciones de oxígeno durante la preparación de las pre-capas (se pasó de concentraciones superiores a 300 ppb de O_2 a concentraciones menores a 50 ppb de O_2), así como una caída más rápida de la concentración de oxígeno al inicio del ciclo de filtración (de más de una hora antes de los cambios a no más de 10 minutos con la última modificación de proceso.).

Anexo 6. Diagrama BBT

Figura 22. Diagrama de BBT, Cervecería de Boyacá.

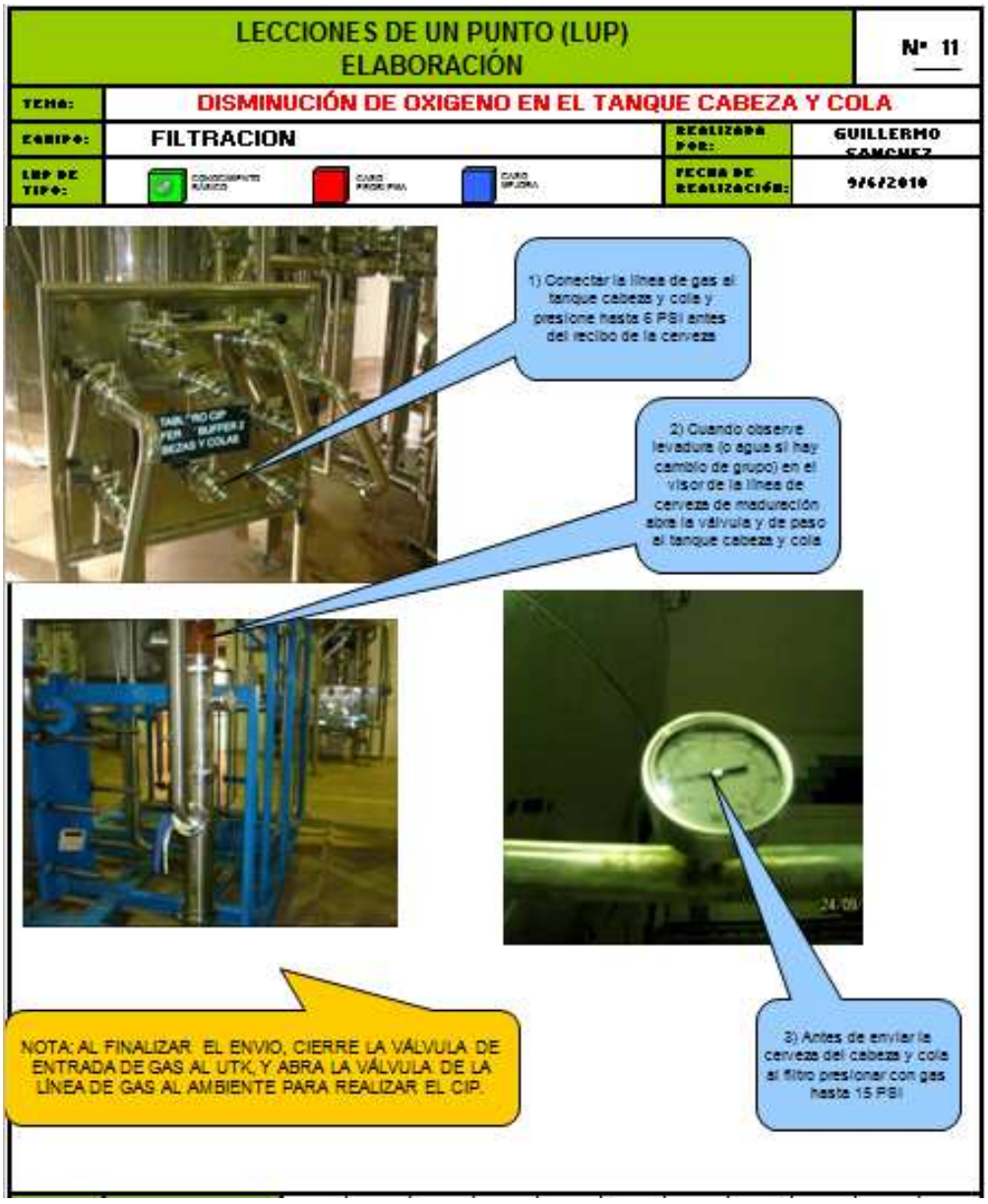


Fuente: El autor

Los 14 BBT's de la cervecería tienen la misma configuración y todos tienen acceso a la línea de CO_2. El codo para conexión convencional es utilizado para mantener la presión en los tanques durante el llenado, almacenamiento y el envío de la cerveza del BBT al envase.

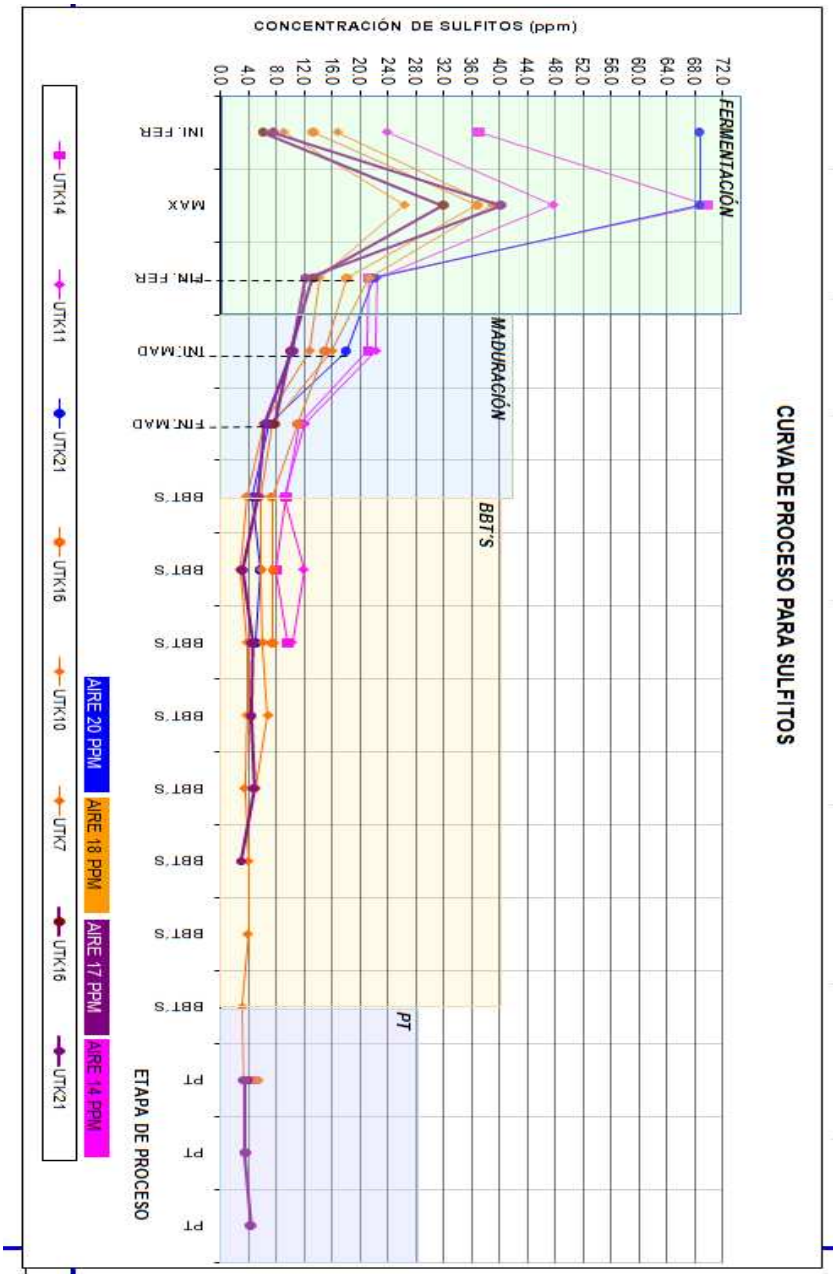
Anexo 7. LUP No 11

Figura 23. LUP filtración de tanque cabezas y colas



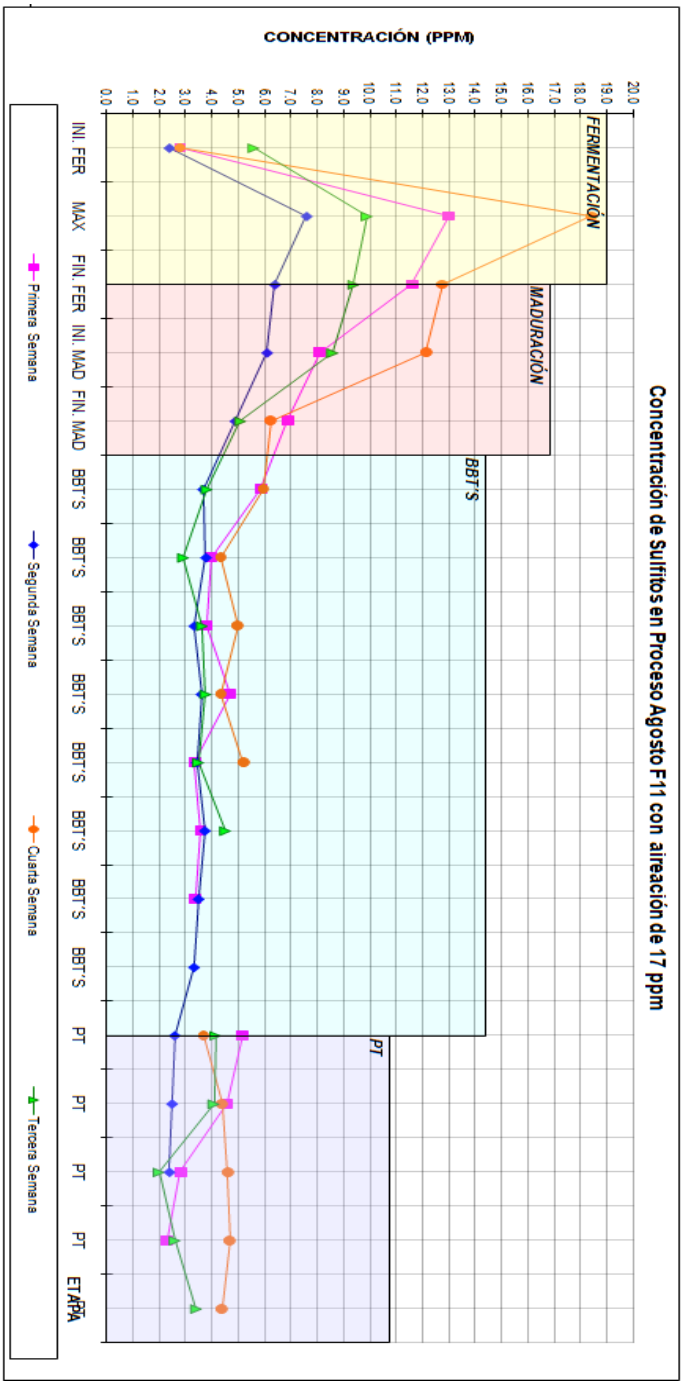
Fuente. Ing. Guillermo Sánchez.

Anexo 8. Figura 5 Ampliada



Fuente: El autor

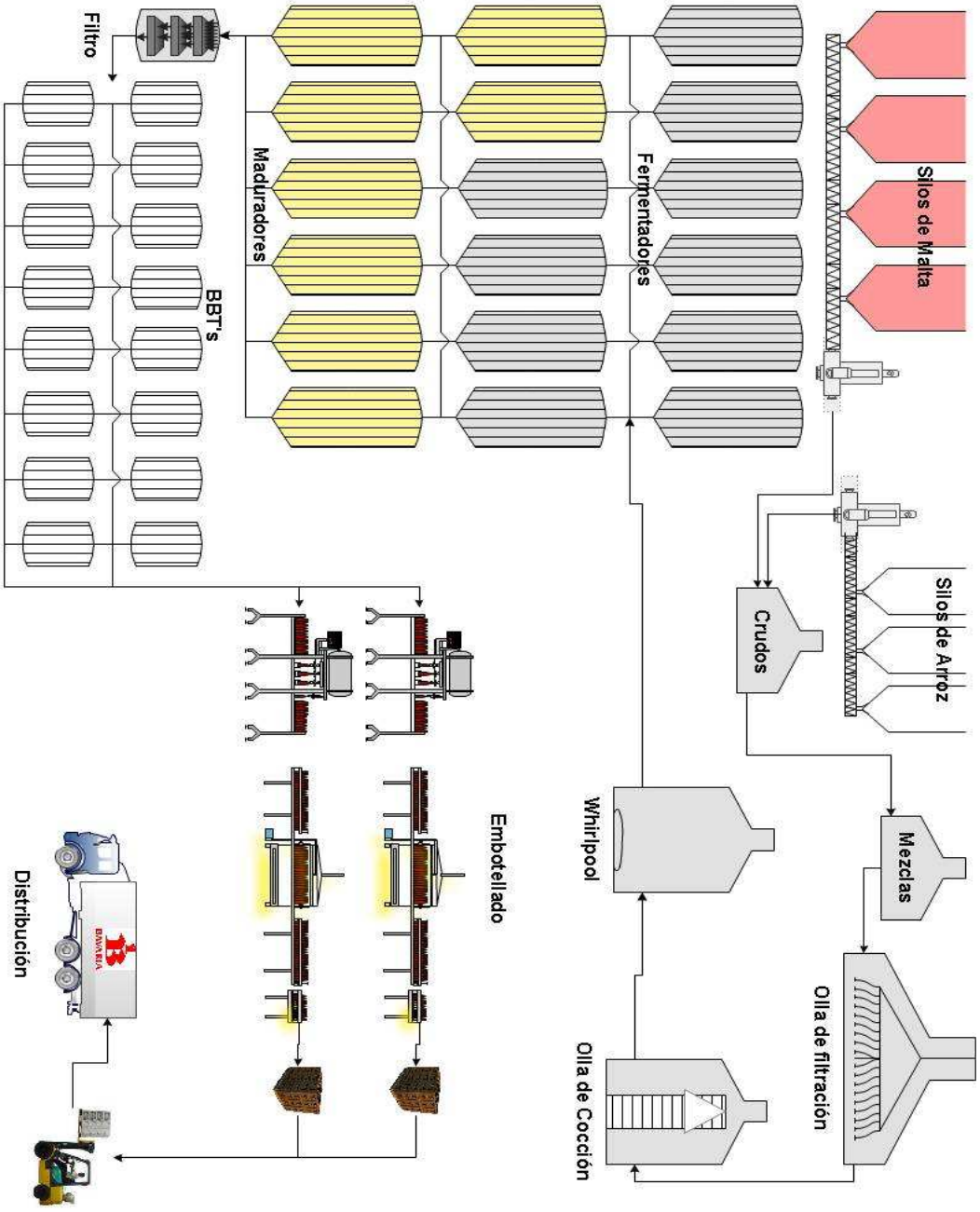
Anexo 9. Figura 6 Ampliada



Fuente: El autor

Anexo 10. Diagrama cervecería de Boyacá

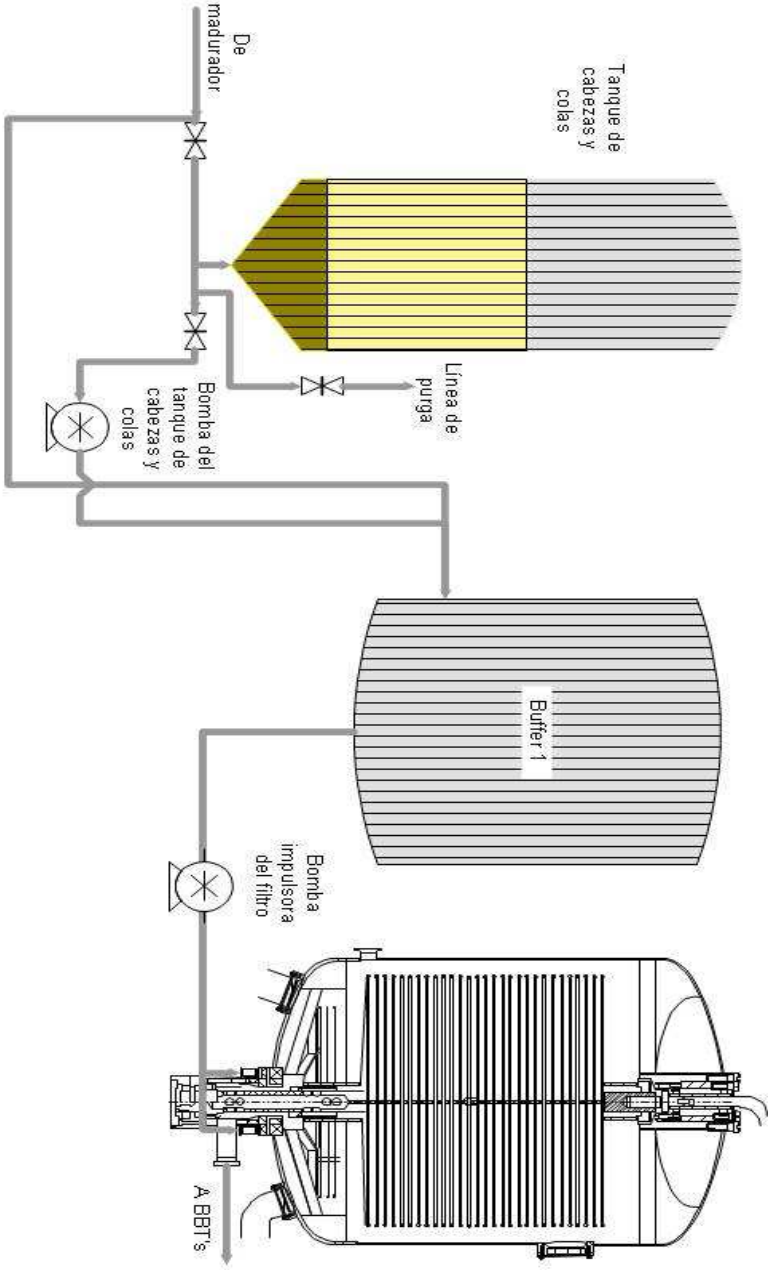
Figura 24 Diagrama, Cervecería de Boyacá



Fuente: El autor

Anexo 11. Diagrama tanque de cabezas y colas

Figura 25. Diagrama tanque de cabezas y colas



Fuente: El autor