

Caracas, 16 de Noviembre de 2015

Señores

Director y demás integrantes  
Consejo de Área de Ingeniería,  
Estudios de Postgrado,  
Universidad Católica Andrés Bello,  
Presentes.

Referencia: **Aprobación del Tutor**

Tengo a bien dirigirme a Ustedes a fin de informarles que he leído y revisado el borrador final del Trabajo de Grado cuyo título definitivo es "**Metodología para el fortalecimiento de un sistema de gestión de la calidad basado en indicadores analíticos predictivos del deterioro de productos del proceso de elaboración de mosto e inicio de fermentación alcohólica**", presentado por el Lic. Gabriel José Mujica Bolívar, titular de la cédula de identidad N° V-15.837.798, como parte de los requisitos para optar al Título de **Magíster en Sistemas de la Calidad**.

A partir de dicha revisión, considero que el mencionado Trabajo de Grado reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a evaluación y posterior exposición y defensa oral ante el distinguido Jurado que tenga(n) a bien designar.

Atentamente,



Ing Emmanuel López C.

C. I. N° 3.189.576



UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO  
VICERECTORADO ACADÉMICO  
ESTUDIOS DE POSTGRADO  
ÁREA DE INGENIERÍA  
POSTGRADO EN SISTEMAS DE LA CALIDAD

**TRABAJO DE GRADO**

**METODOLOGÍA PARA EL FORTALECIMIENTO DE UN SISTEMA DE  
GESTIÓN DE LA CALIDAD BASADO EN INDICADORES ANALÍTICOS  
PREDICTIVOS DEL DETERIORO DE PRODUCTOS DEL PROCESO DE  
ELABORACIÓN DE MOSTO E INICIO DE FERMENTACIÓN  
ALCOHÓLICA**

Presentado por

**Mujica Bolívar, Gabriel José**

Para optar al Título de

**Magister en Sistemas de la Calidad**

Tutor

Ing. Emmanuel López

Caracas, noviembre de 2015

Caracas, 19 de Noviembre de 2015

Señores:

Consejo de Área de Ingeniería

Estudios de Postgrado

Universidad Católica “Andrés Bello”

Presentes

### **APROBACIÓN DEL TUTOR**

Por la presente hago constar que he leído el borrador final del Trabajo de Grado presentado por el ciudadano Gabriel José Mujica Bolívar, portador de la cédula de Identidad V-15.837.798, para optar al Título de **Magíster en Sistemas de la Calidad** y cuyo título definitivo es: ***“Metodología para el fortalecimiento de un sistema de gestión de la calidad basado en indicadores analíticos predictivos del deterioro de productos del proceso de elaboración de mosto e inicio de fermentación alcohólica”***

A partir de dicha revisión, considero que el mencionado Trabajo de Grado reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a evaluación y posterior exposición y defensa oral ante el distinguido Jurado que tengan a bien designar.

Ing. Emmanuel López

C.I. 3.189.576

## **Dedicatoria**

*A Dios todopoderoso, porque su bondad y misericordia ha sido infinita en mi vida.*

*A mis padres que han sabido guiarme y hacer de mí un hombre de bien.*

*A mi futura esposa, por ser mi mano derecha, mi compañera, mi amiga y mi soporte  
en los momentos más difíciles.*

*A mis amigos que siempre han estado para mí.*

## **Agradecimientos**

- A Dios, porque nunca me abandona y en los momentos difíciles me da las herramientas y me demuestra que puedo con todo.
- Al profesor Emmanuel López por sus enseñanzas, sabios consejos, su paciencia y su confianza en la conducción de este trabajo de grado. ¡Gracias profe!
- Al litúrgico compañero Luis Canelón por ser parte fundamental y una biblia de experiencias en Cervecería Polar, C.A, tu ayuda fue de las mejores Canelón. ¡Gracias por la disposición y conducirme siempre a la excelencia!
- A la Universidad Católica Andrés Bello por darme la formación de cuarto nivel y fortalecer aún más mis valores y principios.
- A Empresas Polar, especialmente a la Gerencia de Investigación y Soporte Analítico (GISA), mi segunda familia, por brindarme el apoyo y el cobijo que sólo la familia sabe dar. ¡Somos el mejor equipo!
- A mis viejos, Rosario y Rafael que siempre han estado ahí incondicionalmente. ¡Los amo mis viejos!
- A mi Dra y futura esposa Jennifer, por ser mi soporte, mi mano derecha, mi amiga... Sencillamente te amo.. Gracias por tanto vida...
- A mis amigos pollitos del postgrado: Nazira, Rudimar, Julio, Doha, Luz y Miguel por los buenos momentos, risas, cafés y comidas antes de cada clase y, sobre todo, por ese complemento académico y profesional tan importante. ¡Un abrazo gallitos!
- A todos lo que hicieron posible la realización de esta investigación.

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO  
VICERRECTORADO ACADÉMICO  
ESTUDIOS DE POSTGRADO  
ÁREA DE INGENIERÍA  
POSTGRADO EN SISTEMAS DE LA CALIDAD

**METODOLOGÍA PARA EL FORTALECIMIENTO DE UN SISTEMA DE  
GESTIÓN DE LA CALIDAD BASADO EN INDICADORES ANALÍTICOS  
PREDICTIVOS DEL DETERIORO DE PRODUCTOS DEL PROCESO DE  
ELABORACIÓN DE MOSTO E INICIO DE FERMENTACIÓN  
ALCOHÓLICA**

Autor: Lic. Mujica Bolívar Gabriel José.  
Asesor: Ing. López Emmanuel  
Fecha: Noviembre 2015

**RESUMEN**

La cerveza es actualmente una de las bebidas más importantes a nivel nacional debido a su agradable sabor y cualidad refrescante. Asegurar la calidad del producto es fundamental dentro de un Sistema de Gestión de Calidad (SGC). Actualmente en Cervecería Polar C.A. se dispone de un buen SGC, sin embargo presenta zonas débiles debido a la generación de un alto índice de acciones correctivas en los procesos de elaboración de mosto y la etapa inicial del proceso de fermentación. Para fines de esta investigación se diseñó una metodología para el fortalecimiento del (SGC) de este proceso, basado en indicadores analíticos predictivos del deterioro de productos obtenidos en la elaboración de mosto e inicio de fermentación alcohólica, para llevarlo a cabo se diagnosticaron analíticamente las variables del proceso: color, pH, diacetilo y nitrógeno, y se analizó gráficamente la correlación de estas variables con el SGC del proceso, determinándose factores de fluctuación que pudieran originar valores fuera de especificaciones, y con esto se generaron una serie de acciones preventivas para evitar que el proceso estuviese fuera de control. Mediante un estudio de factibilidad que abarcó la parte técnica, económica y operacional se diseñó una metodología de Mínima Ocurrencia de Acciones Correctivas (MOAC) mediante un catálogo que incluye el alcance, roles y responsables, así como las variables controladas y criterios de decisión de empleo. Los parámetros de control determinados fueron:  $\Delta\text{pH}: \leq 0,2$ ;  $\geq 0,4$ ;  $\Delta\text{Diacetilo}: > 0,08\text{ppm}$  y  $\Delta\text{color}: < 0,2$  EBC. El nitrógeno fue el único parámetro controlado con valores de proteínas dentro de especificaciones en su materia prima lo que originó que el proceso estuviese en óptimas condiciones.

**Palabras clave:** Mosto, Sistema de Gestión de la Calidad, Acciones Preventivas, Efectividad, Mínima Ocurrencia de Acciones Correctivas,.

## Índice general

Carta de Aprobación del Tutor.....	i
RESUMEN.....	iv
Índice de figuras.....	ix
Índice de Tablas.....	x
Índice de gráficos.....	xi
Introducción.....	1
CAPITULO I.....	5
El Problema.....	5
Planteamiento de Problema.....	5
Objetivos de la Investigación.....	8
Objetivo general.....	8
Objetivos específicos.....	8
Justificación e Importancia.....	9
CAPÍTULO II.....	12
Marco Teórico.....	12
Fundamentos Teóricos.....	15
Producción de cerveza.....	15
<i>Elaboración de cerveza.....</i>	<i>15</i>
<i>Cambios químicos que ocurren durante el envejecimiento de la cerveza.....</i>	<i>17</i>
<i>Oxidación de los ácidos grasos.....</i>	<i>17</i>
<i>La percepción sensorial de aromas y sabores.....</i>	<i>17</i>
<i>El sabor de la cerveza.....</i>	<i>20</i>
<i>Compuestos químicos que contribuyen al sabor en la cerveza.....</i>	<i>21</i>
<i>Envasado y despacho del producto terminado.....</i>	<i>23</i>
<i>Llenadora.....</i>	<i>24</i>
<i>Proceso de llenado.....</i>	<i>25</i>
Sistema de gestión de calidad.....	26

<i>Estructura de la Norma ISO 9001:2008.</i> .....	28
<i>Validación de metodologías de ensayos.</i> .....	30
<i>ISO/IEC 17025:2005 Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración.</i> .....	31
<i>Requisitos técnicos para lograr el aseguramiento de la calidad.</i> .....	32
Cadena de valor.....	32
Indicadores de gestión.....	33
Aspectos generales acerca de los indicadores de gestión.....	36
<i>Contar con objetivos y estrategias.</i> .....	36
<i>Identificar factores de éxito.</i> .....	36
<i>Determinar, para cada indicador, línea base, meta y rango de gestión</i> .....	37
<i>Diseñar la medición.</i> .....	40
CAPITULO III.....	41
Marco Metodológico.....	41
Tipo y diseño de investigación.....	41
Variables .....	42
Operacionalización de los objetivos.....	43
Unidades de Análisis.....	43
Técnicas e Instrumentos para el análisis .....	45
Análisis e interpretación de los datos .....	45
Consideraciones éticas y legales .....	45
CAPITULO IV .....	47
Presentación y Análisis de los Resultados .....	47
Diagnosticar las variables del proceso .....	47
Correlación de las variables del proceso con el Sistema de Gestión de Calidad y el impacto de los indicadores en la ocurrencia de acciones correctivas.....	50
Cambios de materia prima. ....	51
Adición de ácido sulfúrico. ....	52
Pérdida de vitalidad de la levadura. ....	53



Composición del mosto.....	54
Contenido de glucosa en el medio. ....	55
Inspección de la carga térmica en la elaboración de mosto.....	57
Composición proteolítica. ....	57
Características del color de las materias primas.....	58
Metodología de Mínima Ocurrencia de Acciones Correctivas (MOAC).....	59
Finalidad. ....	59
Roles. ....	59
Alcance. ....	60
<i>pH</i> .....	61
<i>Diacetilo (mg/L)</i> .....	61
<i>Color (EBC)</i> .....	62
Determinar la factibilidad de la implementación de la metodología.....	62
Factibilidad Técnica.....	62
<i>Reactivos</i> . ....	63
<i>Equipos de análisis</i> . ....	64
<i>Costos Generales</i> . ....	64
<i>Costos por análisis</i> .....	65
<i>pH</i> . ....	65
<i>Nitrógeno</i> . ....	66
<i>Color</i> . ....	66
<i>Diacetilo</i> .....	66
Factibilidad operacional.....	67
CAPÍTULO V.....	68
Conclusiones y Recomendaciones .....	68
Referencias.....	70
Anexos .....	74
Anexo “A” .....	75
Valores de pH y cálculo de distribución normal .....	75

Anexo “B” .....	76
Valores de diacetilo y cálculo de distribución normal .....	76
Anexo “C” .....	77
Valores de color y cálculo de distribución normal.....	77

## Índice de figuras

Figura 1. Diagrama de cadena de valor.....	10
Figura 2. Proceso de elaboración de la cerveza.....	16
Figura 3. Envasado y despacho del producto terminado.....	24
Figura 4. Proceso de llenado de la cerveza.....	26
Figura 5. Principios de la Norma ISO 9001:2008.....	27
Figura 6. Mapa de factores de éxito de la gestión.....	37
Figura 6a. Mapa de factores de éxito de la gestión.....	39
Figura 6b. Mapa de factores de éxito de la gestión.....	40
Figura 7. Catálogo de acciones para el pH.....	61
Figura 8. Catálogo de acciones para el diacetilo.....	61
Figura 9. Catálogo de acciones para el Color.....	62

## Índice de Tablas

Tabla 1.Operacionalización de los objetivos.....	43
Tabla 2.Reactivos de para análisis.....	63
Tabla 3.Equipos para análisis.....	64
Tabla 4.Costos generales para análisis y mantenimiento de equipos.....	65
Tabla 5.Costos para análisis de pH .....	65
Tabla 6.Costos para análisis de Nitrógeno .....	66
Tabla 7.Costos para análisis de Color .....	66
Tabla 8.Costos para análisis de Diacetilo .....	66

## Índice de gráficos

Gráfico 1. Porcentaje de acciones correctivas .....	6
Gráfico 2. Porcentaje de acciones correctivas para el diacetilo.....	7
Gráfico 3. Comportamiento del pH.....	51
Gráfico 4. Comportamiento del diacetilo.....	52
Gráfico 5. Comportamiento del color.....	56

## **Introducción**

Los grandes avances tecnológicos y el proceso de globalización en donde el consumidor es quien define el éxito de un producto o servicio de acuerdo a la satisfacción de sus necesidades, ha generado un cambio y una retrospcción de cada una de las funciones de todas las organizaciones independiente de su ramo llevando a las empresas a buscar soluciones para garantizar su supervivencia y crecimiento, respondiendo a las nuevas exigencias del mercado. Una de las respuestas que mejores resultados ha proporcionado es la implantación de una dirección basada en la calidad. Cada día son más las organizaciones que apuestan por la gestión de la calidad como factor generador de ventajas competitivas a largo plazo.

Un sistema de gestión de calidad es la estructura organizativa en donde están los procesos, responsabilidades, recursos y los procedimientos necesarios para llevar a cabo la gestión de la calidad. Se aplica en todas las actividades realizadas en la empresa, desde el estudio de las necesidades del consumidor hasta el servicio postventa.

Una organización se beneficiará del establecimiento de un Sistema de Gestión de la Calidad (SGC) eficaz. La base fundamental de una organización de calidad es el concepto de que el cliente y el proveedor trabajan juntos para su beneficio mutuo. Para que esto sea efectivo, las interfaces cliente-proveedor se deben extender dentro y fuera de la organización.

Los Sistemas de Gestión de la Calidad pueden ser aplicables a todo tipo de organizaciones, tanto grandes o pequeñas, complejas o simples. Se puede pensar que en empresas con una amplia trayectoria ya no se necesitan realizar mejoras en su modo de producir, pensando que todo está mejorado y no hay nada más que hacer. Sin embargo, al transcurrir las décadas este pensamiento ha cambiado llegando al

consenso que siempre hay algo que mejorar, por lo tanto debe existir el proceso bajo el enfoque de “Mejora Continua”.

Actualmente, la implantación de Sistemas de Calidad es de suma importancia en los procesos de producción, bien sea del sector industrial o del sector servicios, ya que en la mayoría de los casos están asociados con productos específicos, y debido a esto, el control suele ser muy estricto para mantenerse en los mercados que generalmente son muy competitivos. Incluir estos sistemas al proceso de producción involucra una cantidad significativa de factores, que deben ser cumplidos para así garantizar el cumplimiento de normas y procedimientos de la calidad.

Para Empresas Polar, un Sistema de Gestión de la Calidad juega un papel importante, ya que desde hace muchos años se ha comprometido con una filosofía de trabajo que permitiere producir cada una de sus marcas de alimentos y bebidas pensando en el bienestar de sus consumidores. Para ello se han implementado canales estratégicos que potencian sus acciones, velando por el abordaje de sus marcas y entregando conocimiento a los consumidores.

A fines de esta investigación, se trabajará con productos del proceso “elaboración de mosto e inicio de fermentación alcohólica”, el cual presenta una composición muy compleja en cuanto a su aroma y sabor, ya que la materia prima utilizada para su elaboración pasa por una serie de procesos físicos y químicos y por una etapa de fermentación alcohólica hasta llegar al producto final. Estas etapas son fundamentales para la formación de compuestos de sabor y aroma, debido a que en ellas se llevan a cabo las reacciones enzimáticas y no enzimáticas que producen compuestos volátiles, de los cuales algunos son relevantes para el aroma y el sabor de la cerveza. Cervecería Polar C.A. cuenta con un Sistema de Gestión de la Calidad que abarca la totalidad del proceso de elaboración y envasado de la cerveza y malta, cuidando y cumpliendo cada uno de los requisitos involucrados a lo largo de la producción.

El objetivo de este trabajo de investigación fue diseñar una metodología para el fortalecimiento de un sistema de gestión de la calidad basado en indicadores analíticos predictivos del deterioro de productos del proceso de elaboración de mosto e inicio de fermentación alcohólica.

Este trabajo representa, para la empresa cervecera, una poderosa herramienta de apoyo, para lograr el fortalecimiento del Sistema de Gestión del conjunto, obtener ahorro de tiempo, dinero, mejor manejo de la información, entre otros beneficios.

El proyecto comprende cinco (5) capítulos, descritos a continuación:

**CAPITULO I:** contiene el planteamiento del problema, enmarcado dentro la situación actual e interrogante del proceso relacionado a la elaboración de mosto e inicio de fermentación alcohólica; se enuncian los objetivos, la justificación e importancia que aportan solución al caso de estudio y se describen las delimitaciones y limitaciones que contextualizan el trabajo.

**CAPITULO II:** expone el marco teórico, que representa la base científica que sirvió de guía para el análisis del problema planteado y encaminó la investigación. En este capítulo se hace resumen de la revisión de trabajos previos científicos y/o tecnológicos u otros documentos de interés con el tema tratado, que avalan los resultados obtenidos del estudio.

**CAPITULO III:** expone el marco metodológico, utilizado en función al análisis del problema planteado y el tipo de investigación realizada. En este capítulo se hace un resumen del tipo y diseño de la investigación, así como la técnica de recolección y análisis de los datos y la operacionalización de las variables que avalan los resultados obtenidos del estudio.

**CAPITULO IV:** resume el análisis de los datos y la información recolectada a través de los instrumentos de recolección de datos y se presentan los resultados, que



servieron de orientación para hacer una descripción del sistema actual y fueron una guía para el diseño del sistema propuesto.

**CAPITULO V:** resume las conclusiones obtenidas en función de los resultados y de los objetivos planteados así como del sistema propuesto.

## **CAPITULO I**

### **El Problema**

#### **Planteamiento de Problema**

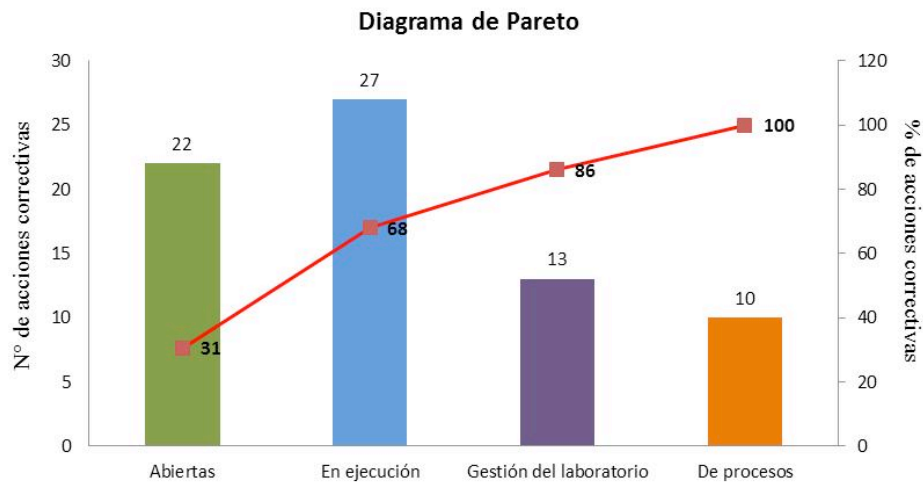
La cerveza es una bebida alcohólica, que en términos generales, se obtiene por la fermentación alcohólica de líquidos que contienen azúcares. La fabricación de la misma envuelve el uso de cebada germinada, lúpulo, levadura, agua e ingredientes, denominados adjuntos, ricos en almidón como el trigo, maíz y arroz (Atkinson, 1991, pp. 304-307).

Desde el momento en que la cerveza se embotella y se almacena, comienza un proceso de evolución natural intrínseco de la bebida. El proceso de fabricación de cerveza a escala industrial, implica una serie de consideraciones en el proceso de gestión y de cuidado a lo largo de la cadena de valor: abastecimiento, desarrollo tecnológico, recursos humanos e infraestructura de la empresa, así como la logística interna, operaciones, logística externa, mercadeo (marketing) y ventas y finalmente los servicios. La cadena de valor ayuda a determinar las actividades o competencias distintivas que permiten generar una ventaja competitiva (Dalglish, 1977, pp. 623-658).

Debido a esto, es importante contar con un Sistema de Gestión de la Calidad sólido para la elaboración de cerveza que controle y asegure la calidad en cada uno de los procesos involucrados y entre otros aspectos, la cadena de distribución y la rotación del producto preservando su óptima calidad: frescura del producto, condiciones adecuadas de almacenamiento, tiempos de entregas establecidos, entre otras con la finalidad de mantener satisfecho al cliente.

Para fines de esta investigación se identificó un laboratorio dedicado a la evaluación de bebidas de fermentación alcohólica (BFA), que actualmente cuenta con un Sistema de Gestión de la Calidad que presenta zonas débiles, debido a la

generación de un alto índice de acciones correctivas demandando inversión de tiempo significativos, y haciendo vulnerables otros aspectos del sistema de gestión. Para ilustrar esta situación actual, en el gráfico 1 porcentaje de acciones correctivas se realiza un diagrama de Pareto en donde se pueden observar los porcentajes de acciones correctivas abiertas y las que están en ejecución. Los valores más altos del diagrama fueron 86% y 100% respectivamente, es decir, los esfuerzos son enfocados en acciones correctivas de proceso y gestión, generando una mayor inversión de tiempo para su cumplimiento. Esto principalmente se atribuye a que el sistema de gestión no cuenta con mecanismos de vigilancia preventiva que permitan tomar acciones tempranas y así evitar este tipo de eventos.

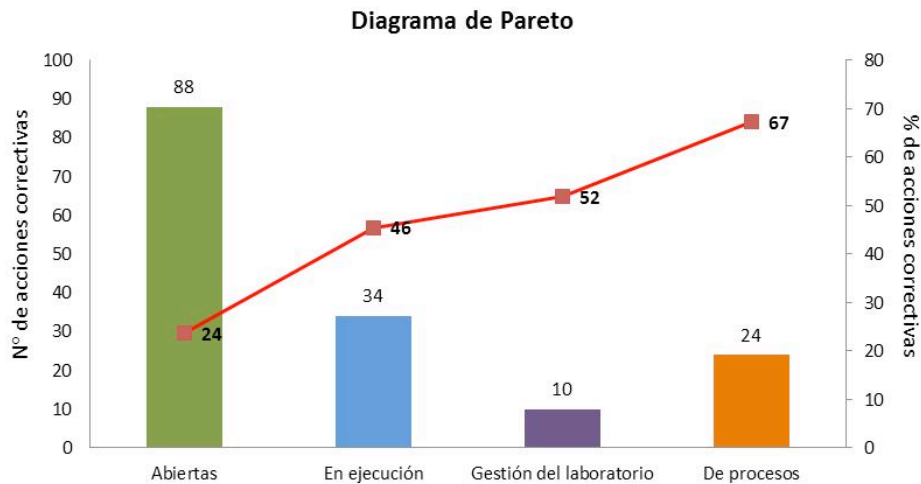


**Gráfico 1. Porcentaje de acciones correctiva**

Fuente: construido a partir de datos de seguimiento de una industria de fermentación alcohólica. Año 2012-2013

Entre las variables de estudios se encuentran diacetilo, color, pH y nitrógeno; para ejemplificar la situación actual, en el gráfico 2, porcentaje de acciones correctivas para el diacetilo, se presenta un diagrama de Pareto correspondiente a la cantidad de acciones correctivas, 156 en total, ocurridas en el cuatrimestre enero-abril de 2014 en donde 88 de estas acciones fueron atribuidas a la variable diacetilo,

presentando el mayor porcentaje de acciones asociadas al proceso (67%), estando relacionadas principalmente a fallas humanas y al enfriado adelantado del tanque de mosto antes de culminar la maduración. Esta variable será explicada detalladamente más adelante de esta investigación.



**Gráfico 2. Porcentaje de acciones correctiva para el diacetilo**

Fuente: construido a partir de datos de seguimiento de una industria de fermentación alcohólica. Enero-Abril 2014

De manera similar se comporta la variable color, en donde las principales causas de acciones correctivas se atribuyen al sobre tostado de la cebada, accidentes tecnológicos y mosto quemado, todas éstas generadas principalmente por fallas humanas.

Estas desviaciones traen como consecuencia principal el retrabajo y generación de merma, así como la no conformidad de los parámetros fisicoquímicos y sensoriales.

Luego de lo expuesto anteriormente se plantean las siguientes interrogantes:

¿Se cuenta con mecanismos de vigilancia que permitan tomar acciones tempranas para evitar la ocurrencia de acciones correctivas en el proceso de elaboración de mosto e inicio de fermentación alcohólica?

¿Existen indicadores analíticos y acciones preventivas para los diferentes descriptores presentes en el proceso de degradación de la cerveza?

¿Se tiene un procedimiento para el tratamiento de acciones correctivas del proceso que satisfaga la necesidad de la empresa y garantice la calidad del producto?

Para llevar a cabo esta investigación se formularon los siguientes objetivos:

### **Objetivos de la Investigación**

#### **Objetivo general**

Diseñar una metodología para el fortalecimiento de un sistema de gestión de la calidad, basado en indicadores analíticos predictivos, del deterioro de productos del proceso de elaboración de mosto e inicio de fermentación alcohólica.

#### **Objetivos específicos**

- Diagnosticar las variables del proceso: color, pH, diacetilo y nitrógeno.
- Analizar la correlación de las variables del proceso con el Sistema de Gestión de Calidad y el impacto de los indicadores en la ocurrencia de acciones correctivas.
- Diseñar la metodología de Mínima Ocurrencia de Acciones Correctivas (MOAC), basados en los indicadores analíticos predictivos para el fortalecimiento del Sistema de Gestión de la Calidad.
- Determinar la factibilidad de la implementación de la metodología.

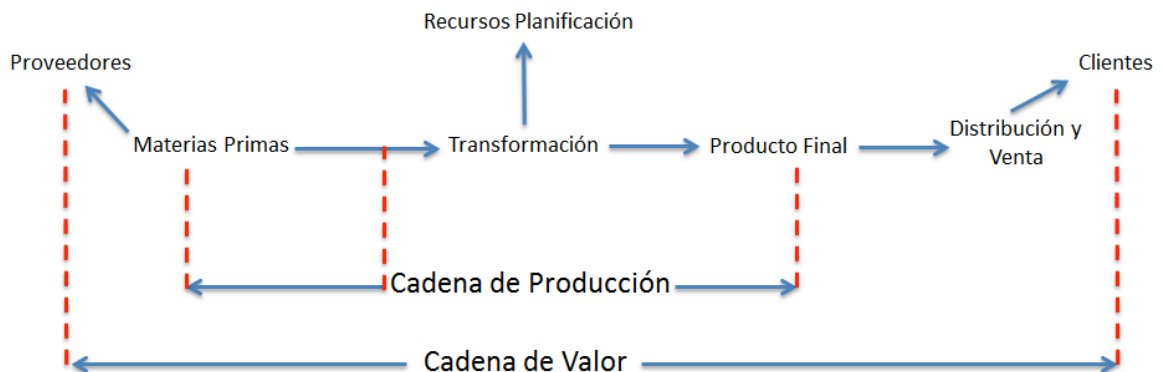
## **Justificación e Importancia**

La elaboración de bebidas de fermentación alcohólica es un proceso complejo que comienza con la etapa de “maceración” en donde la malta es mezclada con los adjuntos y agua caliente. Esta mezcla se calienta para que las enzimas presentes degraden al almidón y a las proteínas en azúcares fermentables, obteniéndose un líquido rico en azúcares denominado “mosto”, el cual es filtrado para la remoción de los granos de la cebada para luego someterlo a ebullición junto con el lúpulo, con la finalidad de darle a la cerveza su característico sabor amargo.

Las bebidas de fermentación alcohólica, a diferencia de otras bebidas alcohólicas, tienen una estabilidad organoléptica particular, porque por la influencia de luz y calor su sabor va cambiando propiedades rápidamente durante el almacenamiento, transporte, especialmente en países con climas calurosos. Esto genera consecuencias económicas negativas a las industrias, ya que se limita el transporte lejano (exportación) y se encuentra una alta heterogeneidad en la cerveza que llega al consumidor.

La formación de “notas sensoriales” producto del proceso natural de evolución de la cerveza es una consecuencia de cambios químicos complejos que ocurren en ésta cuando es sometida a almacenamiento. En la evaluación sensorial, el ser humano es sujeto y objeto de estudio, es decir, se utilizan los evaluadores para obtener información acerca de los atributos sensoriales de los productos, pero a su vez se utilizan estímulos controlados para obtener información de la respuesta humana a atributos específicos o grupos de atributos.

Por estas razones se deben monitorear y controlar cada uno los aspectos involucrados a lo largo de la cadena de valor, para así garantizar un producto final con altos estándares de calidad y sin desviaciones significativas durante la elaboración, atacando las fuentes potenciales de no conformidades y trabajando directamente con oportunidades de mejora.



**Figura 1. Diagrama de cadena de valor.**

Fuente: Atkinson, 1991.

Debido a esto, resulta justificada una metodología para el fortalecimiento de un Sistema de Gestión basado en indicadores analíticos que puedan predecir el deterioro de la cerveza. En esta investigación se pretende trabajar en función al histórico de las acciones correctivas y desarrollar un catálogo con las posibles acciones preventivas que se puedan implementar mediante indicadores analíticos en el proceso estudiado.

Existen una serie de beneficios inherente a la realización de esta investigación, entre las cuales se mencionan:

- En primer lugar se beneficia el país porque se contará con el fortalecimiento de los Sistemas de Gestión de Calidad de las industrias de fermentación alcohólica.
- Las industrias de fermentación alcohólica apuntarán a la optimización de la cadena de valor.
- La empresa, ya que contará con una metodología que prevenga no conformidades en los procesos de elaboración, garantizando aún más la excelente calidad de sus productos.

- La universidad porque contribuye en el desarrollo de investigación aplicada.
- Al investigador por la oportunidad de compartir los conocimientos y dar un aporte importante de mejora a la industria.
- Finalmente al consumidor porque siempre tendrá disponible productos de excelente calidad.

Con esta investigación se están aportando las herramientas necesarias para mejorar el Sistema de Gestión de la Calidad del proceso “elaboración de mosto e inicio de fermentación alcohólica”, permitiendo el ahorro de recursos al detectar desviaciones minimizando el reproceso.

En el desarrollo del trabajo se empleará una metodología diseñada para el seguimiento del proceso, con el fin de fortalecer el Sistema de Gestión de la Calidad a través de la utilización de indicadores predictivos, la metodología que se quiere implementar está basada en metodologías internacionales de acuerdo a la Mitteleuropäische Brautechnische Analysenkommision e.V. (MEBAK), la European Brewery Convention (EBC), la American Society of Brewing Chemists (ASBC) y la Asociación Latinoamericana de Fabricantes de Cerveza (ALAFACE).



## CAPÍTULO II

### Marco Teórico

Para el desarrollo de los objetivos específicos de este trabajo, se plantearon las estrategias de aplicación, que los definen. A continuación se presentan los diferentes documentos con mayor afinidad a este trabajo.

#### **Antecedentes de la Investigación**

Hurtado, (2012). En su investigación denominada **“Reingeniería del Sistema de Limpieza y Agitación de las Cubas de Fermentación de una Planta de Fabricación de Bebidas Alcohólicas”**. Planteó como objetivo el diseño de una reingeniería del Sistema de Limpieza y Agitación de las cubas de fermentación de una planta de fabricación de bebidas alcohólicas, especificando la nueva tecnología a utilizar, el desarrollo del rediseño del sistema indicando equipos, instrumentos y accesorios necesarios, diagrama de flujo con las respectivas modificaciones, la evaluación de factibilidad económico- financiera y un análisis de los riesgos. La investigación que se realizó fue de tipo evaluativa, porque tuvo como propósito realizar el estudio de factibilidad técnico- económico y el diseño conceptual del nuevo sistema de limpieza y agitación. El punto de conexión con la investigación es la implementación de una nueva metodología que fortalecen y optimizan el sistema de gestión en una empresa de bebidas alcohólicas, específicamente en sus cubas de fermentación.

Pájaro, (2012). En su investigación denominada **Mejoramiento de la Metodología de Preparación de Muestras Homogéneas y Estables para estudios interlaboratorios del Método de Medición de Oxígeno de Cerveza**, establece como objetivo general el desarrollo de una metodología de preparación de muestras homogéneas y estables para estudios interlaboratorios del método de medición de oxígeno, que ayudaran a disminuir el error debido a repetibilidad y reproducibilidad obtenido con la aplicación de la metodología actual, logrando proponer a través del

análisis de los resultados la metodología que permitió desarrollar la mejor muestra para ser utilizada en estudios interlaboratorios posteriores. Este trabajo de grado guarda relación con el proyecto de investigación a desarrollar ya que realizan modificaciones en el aseguramiento de la calidad de los resultados, siendo esta una parte fundamental en el Sistema de Gestión de la Calidad, adicionalmente tiene aplicación directa en cualquier organización donde se desee fortalecer el SGC.

Canelón, (2011). En su investigación **“Sistema en línea de indicadores de calidad y evaluación fisicoquímica de la cebada malteada para la elaboración de la cerveza. Caso Cervecería Polar, C.A”**, teniendo como problema de investigación, la existencia de un sistema de gestión de calidad muy complejo, hecho de forma manual, que no contaba con las herramientas apropiadas para su optimización. Para esto presentó una solución tecnológica, a través de desarrollo de un sistema vía web, basado en investigación científica de proyecto factible y bajo la metodología de desarrollo Rational Unified Process (RUP), reflejando excelentes resultados en su funcionamiento. Esta investigación tiene relación con el proyecto a realizar, ya que estudia de manera tecnológica la influencia de los indicadores del deterioro de la cerveza a partir de la cebada malteada. Adicionalmente se hace una optimización del Sistema de Gestión de Calidad.

Miedl, Rogers, Geoff, Clarke y Stewart, (2011). En su investigación denominada **“Reto de la prueba de peróxido: Un nuevo método para la medida holística en tiempo real de la estabilidad y los sabores de la cerveza”**. Plantean como objetivo general una aproximación holística para medir con fiabilidad el envejecimiento de la cerveza. Para esto se utilizó la prueba del reto de peróxido (PRP) la cual fue desarrollada como una alternativa a la resonancia de spin electrón (RSE). El principio del (PRP) se basó en minimizar la oxidación titulando la cerveza con peróxido de hidrógeno. El (PRP) permitió en casi tiempo real evaluar el alto rendimiento de la estabilidad del sabor de la cerveza. Los resultados obtenidos se correlacionaron con los resultados logrados por (RSE) y el carácter envejecido de la

cerveza. Este estudio guarda estrecha relación con la investigación en la aplicación de pruebas científicas para obtener la data necesaria sobre los indicadores típicos del deterioro de la cerveza, con la finalidad de realizar una metodología que fortalezca el sistema de gestión.

Vanderhaegen, Neven, Verachtert, y Derdelinckx, (2005). En su investigación denominada **“La Química del Envejecimiento de la Cerveza”** plantean como objetivo general el cambio de la composición química de la cerveza durante su almacenamiento, lo cual altera sus propiedades sensoriales. Una variedad de sabores pueden surgir en función del tipo de cerveza y sus condiciones de almacenamiento. El foco principal de esta investigación también fue estudiar los sabores papel y cartón (*E*)-2-nonenal y su formación mediante la oxidación de lípidos. También estudiaron otros atributos de envejecimiento los cuales son importantes para la impresión sensorial global de la cerveza envejecida. Este trabajo guarda relación con el proyecto a desarrollar, ya que estudia los diferentes atributos de envejecimiento de la cerveza, partiendo de estos atributos se pueden establecer mecanismos preventivos sobre el envejecimiento y generar acciones que garanticen la calidad del producto.

Arismendy, Fernow y Roccasalva, (2002). En su investigación denominada **“Formulación de un plan de fortalecimiento de la función de aseguramiento de calidad en una industria cervecera”**, realizaron una investigación evaluativa de formulación, obteniendo como resultado la definición del modelo estratégico del macroproceso de aseguramiento de la calidad, y la definición de los atributos de servicio que requieren los clientes de la unidad de aseguramiento de la calidad, adicionalmente pudieron establecer el alcance de las dimensiones de los servicios ofrecidos a la vez que obtuvieron el resultado de la comparación entre los postulados de la calidad en servicio y las políticas de calidad de la empresa. Esta investigación tiene relación con el proyecto en que realizó un plan de fortalecimiento para asegurar la calidad de la cerveza, en función de los atributos del servicio que necesita el

cliente, es decir, estuvieron enfocados a los principios del Sistema de Gestión de la Calidad.

## **Fundamentos Teóricos**

### **Producción de cerveza.**

#### *Elaboración de cerveza.*

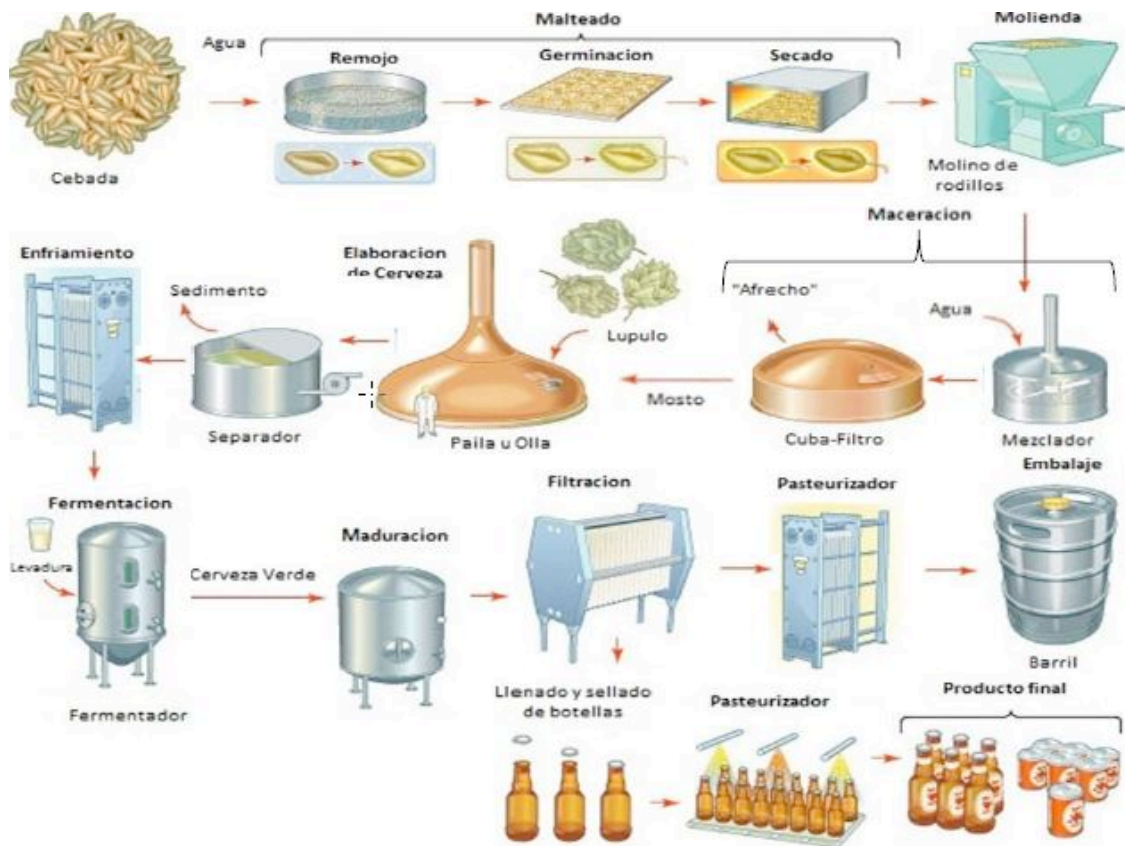
La cerveza es una bebida alcohólica, que en términos generales, se obtiene por la fermentación alcohólica de líquidos que contienen azúcares. La fabricación de la misma envuelve el uso de cebada germinada, lúpulo, levadura, agua e ingredientes, denominados adjuntos, ricos en almidón como el trigo, maíz y arroz (Atkinson, 1991, pp. 304-307).

La cebada se remoja en agua para su germinación, produciéndose un gran número de enzimas. Una vez germinada es secada y tostada en un horno para obtener cebada malteada (malta) (Atkinson, 1991, pp. 304-307).

La producción de cerveza comienza con el proceso de maceración en donde la malta es mezclada con los adjuntos y agua caliente. Esta mezcla se calienta para que las enzimas presentes degraden al almidón y a las proteínas en azúcares fermentables. Con este calentamiento se obtiene un líquido rico en azúcares denominado mosto. Este es filtrado para la remoción de los granos de la cebada para luego someterlo a ebullición junto con el lúpulo, con la finalidad de darle a la cerveza su característico sabor amargo (Atkinson, 1991, pp. 304-307).

Luego, este mosto calentado es fermentado por la levadura para producir la cerveza. La levadura crece en el fermentador convirtiendo parte de los azúcares del mosto en etanol, dióxido de carbono y pequeñas cantidades de compuestos de vital importancia responsables del sabor (Atkinson, 1991, pp. 304-307).

Al final de la fermentación, la cerveza es condicionada para el proceso de maduración y clarificación por sedimentación a bajas temperaturas. Luego de esta etapa, la cerveza se filtra, se embotella y se pasteuriza (Atkinson, 1991, pp. 304-307).



**Figura 2. Proceso de elaboración de la cerveza.**

Fuente: Atkinson, 1991.

Desde el momento en que la cerveza se embotella y se almacena, comienza su proceso de cambios por reacciones oxidativas. Es por esto que es una de las bebidas más delicadas e inestable desde el punto de vista sensorial. La fabricación a gran escala, el transporte para su distribución y su almacenamiento por tiempos prolongados, bajo condiciones desfavorable (sometimiento a altas temperaturas), hacen que este problema de estabilidad organoléptica incremente (Dalglish, 1977, pp. 623-658), (Kaneda, et al., 1995, pp 76-80).

### ***Cambios químicos que ocurren durante el envejecimiento de la cerveza.***

Reacción de Maillard (reacción no enzimática entre un azúcar reductor y un compuesto amino). Esta reacción se genera cuando azúcares reductores libres (glucosa, maltosa) son calentados en presencia de pequeñas cantidades de compuestos de nitrógeno (aminoácidos, aminoras, sales de amonio), se forman reductonas y deshidroreductonas (intermediarios  $\alpha$ -dicarbonílicos) por una serie de rearrreglos y deshidrataciones. Estos compuestos pueden polimerizar para formar pigmentos amarillos y marrones (melanoidinas), los cuales le dan un color oscuro característico de una cerveza envejecida térmicamente (Tressl, et al., 1980, pp. 293-318)

La posterior degradación de las reductonas con o sin la incorporación de nitrógeno o azufre, produce una variedad de compuestos heterocíclicos de importancia en el aroma y sabor de la cerveza envejecida. El incremento en el sabor y aroma a dulce y a melaza, caramelo, quemado y a pan en la cerveza envejecida, corresponde con la formación de heterociclos volátiles de las reacciones de Maillard, especialmente aquellos derivados de la pirolina, el aminoácido más abundante en cerveza (Tressl, et al., 1980, pp. 293-318).

### ***Oxidación de los ácidos grasos.***

La mayoría de los investigadores coincide en que los lípidos de la malta son la mayor fuente de aldehídos volátiles. Los lípidos de la malta son degradados por la enzima lipasa a ácidos grasos, los cuales son indispensables para la germinación de la malta durante las primeras etapas del malteo (Mikyška, A., Hrabák, M., Hašková, D., Šrogl, J, 2002, pp. 78-85).

### ***La percepción sensorial de aromas y sabores.***

Los aromas existen en virtud de una serie de interrelaciones complejas entre los sistemas biológicos receptores y los estímulos químicos. La química se ha encargado de la caracterización de los compuestos activos de aroma. El estudio del

comportamiento humano ante los estímulos ha sido el campo de la psicometría, que es una rama de la psicología, ya que se ha reconocido que elementos psicológicos tales como la atención, la memoria, la emoción, la cognición y la cultura tienen influencia en la respuesta humana. Por último, la neurofisiología ha estudiado lo concerniente a los componentes neuronales asociados con el proceso de estímulo-respuesta. A pesar de que no se conocen completamente todos los procesos relacionados con la respuesta humana a los estímulos físicos, se han encontrado que se cumplen los tres siguientes aspectos (Acree, 1993a, pp. 293-318):

- a) La percepción de los aromas se presenta en diferentes cualidades o modalidades, las cuales muestran una especificidad estructural hacia el estímulo. Es decir, dos compuestos químicos con la misma cualidad de aroma (Ej.: rosas) y el mismo comportamiento cromatográfico (tiempo de retención), son muy probablemente el mismo compuesto químico. Recientemente, se ha estudiado la especificidad vibracional de la percepción olfativa, mediante el uso del fenómeno de túnel electrónico inelástico, en el cual se explica la cualidad sensorial de un compuesto en base a su espectro vibracional simulado en computadoras (Turín, 1996, pp.773-791).
- b) Las reacciones a los aromas muestran una respuesta sigmoideal con respecto a la concentración del compuesto químico. La medición de la respuesta humana en forma cuantitativa se ha logrado a través del diseño de pruebas psicológicas, las cuales van desde la medición de las respuestas de intensidad y cualidad de una sola persona, hasta resultados de la aplicación de pruebas multi-variables a las reacciones de poblaciones de personas que reaccionan a una serie de estímulos (Acree, 1993b, pp. 77-94).
- c) Las respuestas a mezclas de estímulos están caracterizadas por efectos aditivos y efectos inhibitorios, y no por efectos sinérgicos (Meilgaard, 1982, pp. 1009-1017).

Técnicamente, lo que se llama aroma y sabor, es una combinación compleja de interacciones de aroma, gusto, textura, temperatura, así como de factores aprendidos y culturales. Sin embargo, el componente más importante y complejo en la sensación de aroma-sabor es el aroma. Las diferentes dimensiones que participan en el fenómeno de aroma-sabor, se describen a tres niveles. En el nivel superior se encuentran las percepciones del aroma. El nivel intermedio está formado por dos tipos de subniveles, que representan las percepciones del sabor, los relacionados con el sentido trigémino: astringencia, pungencia y frío, y los relacionados con el sentido del gusto: ácido, dulce, salado, amargo y umami. El nivel inferior está formado a su vez por una doble capa de sub-niveles relacionadas con la consistencia (cuerpo). En la parte superior se encuentran las grasas, almidones y proteínas, y en el nivel inferior se encuentran el etanol, el agua y el CO<sub>2</sub> (Van Toller, 1993, pp. 199-218).

Los compuestos químicos responsables del gusto son generalmente no volátiles a temperatura ambiente, y sólo interaccionan con los receptores gustativos ubicados en la lengua. Las sustancias de aroma son generalmente compuestos volátiles, y por eso son percibidos por los receptores olfativos, ubicados en la cavidad nasal. Sin embargo, estos conceptos deben ser usados con cuidado, debido a que la presencia de un compuesto puede contribuir al olor y sabor típicos en un alimento, mientras que en otro alimento puede causar un olor o sabor no deseado (Belitz, 1986, pp. 276-301, 824-829). La diferencia entre “aroma” y “olor” no está bien definida, y se usa el olor para describir al alimento antes de entrar a la boca (percepción nasal), y aroma para la sensación del alimento dentro de la boca (retronasal). De los muchos compuestos volátiles detectados en sistemas de alimentos, solo una pequeña fracción de estos imparte el aroma característico, a pesar de estar presentes en muy bajas concentraciones (a niveles de partes por billón, trazas) (Blank, 1997, pp. 293-330).

Dependiendo de la relevancia sensorial de un compuesto respecto a la fracción de aroma, los alimentos se pueden clasificar en cuatro grupos: En el grupo 1, el aroma del alimento depende en su mayoría de un solo compuesto, mientras que los otros



constituyentes volátiles de la fracción de aroma contribuyen poco al olor total. Un ejemplo de este grupo es la mantequilla (2,3-butanodiona), cambur (acetato de isoamilo), papa cruda (2-isopropil-3-metoxi-pirazina), etc. En el grupo 2, el olor característico se debe en su mayoría a un pequeño número de compuestos: por ejemplo, el olor típico de la manzana se debe mayoritariamente a la mezcla de 2-metil-butanoato de etilo, n-hexanal, y (E)-2-hexenal. En el grupo 3, el olor total del alimento es difícilmente reproducible debido a la gran cantidad de compuestos de aroma presentes. Alimentos como pan, parchita, piña, coco, son típicas de este grupo. Finalmente el grupo 4 se refiere a alimentos y bebidas que tienen un perfil aromático complejo, difícil de reproducir en un medio sintético. Estos alimentos generalmente llevan procesos de tostado y fermentación en su elaboración (Belitz, 1986, pp. 276-301, 824-829). Además del café (900 compuestos de aroma detectados), té y chocolate, se encuentra la cerveza, que de los casi 1000 compuestos volátiles identificados, cerca de unos 250 compuestos contribuyen al aroma y sabor (Meilgaard, 1982, pp. 1009-1017).

### ***El sabor de la cerveza.***

La propiedad sensorial más apreciada por el consumidor de cerveza es su sabor y aroma fresco, característico de las cervezas recién producidas. Desde el punto de vista químico, el aroma y el sabor de la cerveza son bastante complejos, básicamente porque están formados por compuestos que provienen de reacciones de calentamiento a altas temperaturas, reacciones fermentativas y de precursores presentes en las materias primas. No todos los compuestos activos de aroma identificados en la cerveza contribuyen de igual manera al aroma y sabor característico de la misma (Meilgaard, 1991, pp. 132-141).

Las fuentes de sabor en la cerveza están ligadas a la materia prima (cebada malteada, maíz, lúpulo, levadura, agua), al procesamiento de la materia prima (molienda de cereales, maceración, ebullición del mosto, fermentación), y a

tratamientos post-fermentación tales como maduración, filtración, envasado y transporte al lugar de consumo (De Clerck, 1957, pp. 143).

### ***Compuestos químicos que contribuyen al sabor en la cerveza.***

Muchas referencias consideran a la cerveza una bebida con un perfil de aromas complejo, la cual es difícilmente reproducible en medio sintético. Esto coincide con el hecho de que la cerveza, al igual que el café, té y pan, llevan en su elaboración un paso de tratamiento térmico de las materias primas (germinación y posterior tostado de la cebada, ebullición del mosto); y al igual que muchos licores, una etapa de fermentación alcohólica. Estas etapas son determinantes en cuanto a la formación de compuestos de sabor y aroma, debido a que en ellas se activan reacciones enzimáticas y no enzimáticas. Sin embargo, otros pasos del proceso cervecero, tales como la adición de lúpulo durante la ebullición del mosto y la fermentación, ofrecen otras fuentes de compuestos de aroma que influyen también en el perfil sensorial característico de la cerveza (Belitz, 1986, pp. 276-301), (Briggs, 1981, pp. 1-14).

Durante el remojo y la germinación del grano de cebada, se activan algunos procesos de degradación enzimática, tales como la proteólisis, degradación de almidón y dextrinas, y la degradación por acción de las lipasas de los lípidos de la cebada (principalmente triacil-glicerol) en ácidos linoléico y linolénico (Briggs, 1981, pp. 1-14), (Broderick, 1977, pp. 326). Estos ácidos grasos sufren una transformación, mediada por las enzimas lipoxigenasas y oxígeno, a ácidos hidroperóxidos correspondientes, los cuales a su vez se fragmentan en el horneado para producir aldehídos saturados e insaturados y ácidos carboxílicos de bajo peso molecular (Hardwick, 1995, pp 224).

En el proceso de horneado y tostado de la malta, se somete el grano de cebada germinada a medias, a un proceso de deshidratación por calentamiento suave (35-45°C), reduciendo casi totalmente la actividad enzimática y el proceso germinativo.

Paralelamente se producen altos contenidos de aminoácidos por la acción proteolítica, que junto con algunos azúcares reductores libres, conforman la base de las reacciones químicas que ocurren durante el horneado. En esta parte del malteo de la cebada se conjugan las condiciones necesarias para las reacciones de Maillard, degradación de Strecker de aminoácidos, caramelización de azúcares, así como la descomposición termo-oxidativa de ácidos grasos (Moir, 1992, pp. 215-220), (Back et al, 1998, pp. 92-104).

En el proceso de mezcla o maceración de cereales, continúa el proceso de degradación de polisacáridos a azúcares fermentables (amilólisis) y de proteínas a aminoácidos (proteólisis) que comenzaron en el malteo de la cebada y que fueron desactivados por el tostado. Esto trae como consecuencia la liberación de azúcares reductores y aminoácidos en el medio, las cuales son reactantes por excelencia de las reacciones de Maillard y otras rutas de formación de compuestos de sabor (Hashimoto, et al, 1071, pp. 1-12), (Hough, 1991, pp 1-10). En esta etapa también se producen hidroperóxidos de ácidos grasos, cuya producción depende del nivel de oxígeno presente en el medio y de la actividad de las enzimas lipoxigenasas provenientes de la cebada malteada (Back et al, 1998, pp. 92-104), (Narziss et al, 1993, pp. 48-53).

La ebullición del mosto cervecero es un paso importante en la formación de compuestos de sabor y aroma de la cerveza. Debido a la gran cantidad de azúcares fermentables y aminoácidos libres en el medio, junto con las altas temperaturas, se desencadenan las reacciones de Maillard, formándose una amplia variedad de compuestos de aroma (Hashimoto, et al, 1071, pp. 1-12), (Moir, 1992, pp. 215-220), (Viro, 1983, pp. 565-569), y la formación de ciertas macromoléculas que imparten color al mosto, llamadas melanoidinas (Moir, 1992, pp. 215-220). Adicionalmente, la ebullición del mosto produce la descarboxilación no enzimática de los ácidos fenólicos de la malta para formar algunos compuestos fenólicos volátiles, relevantes en el aroma de la cerveza (Moir, 1992, pp. 215-220), (Tressl, 1980, pp. 293-318). La

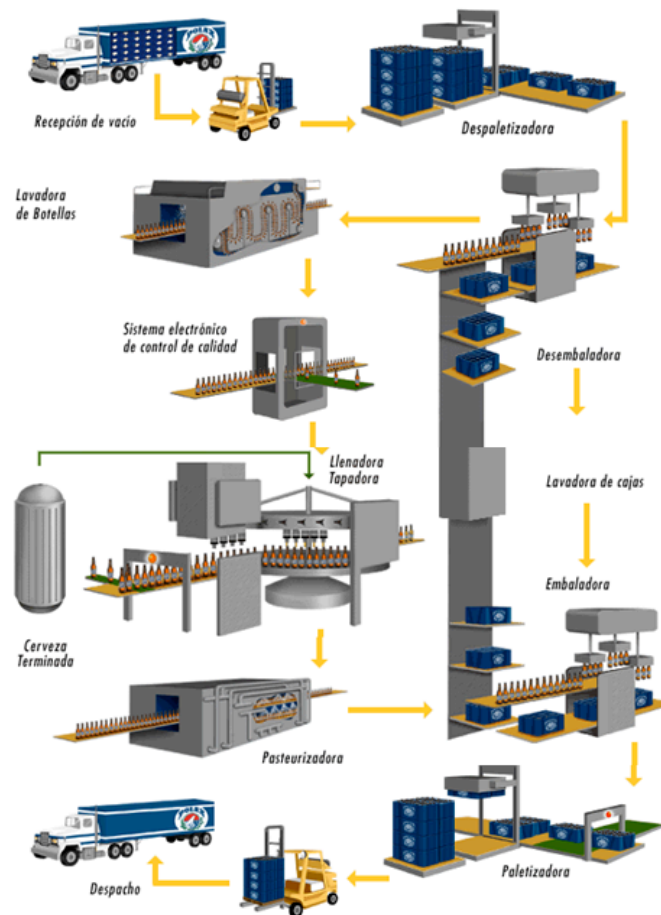
adición de Lúpulo al mosto justo terminada la ebullición, trae cambios importantes y definitivos en el sabor y aroma debido a: a) se incorporan al mosto las  $\alpha$ -isohumulonas, que son los compuestos responsables del sabor amargo característico de la cerveza y b) la incorporación al mosto de algunos terpenos y sesqui-terpenos presentes en el aceite esencial del lúpulo, son los responsables del aroma asociado a esta materia prima, y son de impacto en el aroma del producto elaborado (Moir, 1992, pp. 215-220), (Tressl, 1980, pp. 293-318), (Sánchez et al, 1992, pp. 403-426), (Lermusieau et al, 2001, pp. 3867-3874).

En la etapa de la fermentación del mosto, la levadura juega un papel determinante en la producción de compuestos de aroma y sabor que están presentes en la cerveza. Además de la producción de Etanol y Dióxido de carbono, se forman algunos alcoholes por reducción de aldehídos del mosto por la levadura, a partir de reacciones secundarias de la biosíntesis de aminoácidos por la levadura, y a partir del metabolismo de carbohidratos fermentables. Adicionalmente, debido al metabolismo de la levadura, se forman ciertos ácidos grasos de cadena par, que también tienen atributos sensoriales relevantes al aroma y sabor de la cerveza. En el proceso de fermentación también se forman algunos ésteres relevantes en el aroma, a partir de la toma de etanol y otros alcoholes por las enzimas de tipo Acil-co-enzima A, que provienen del metabolismo de azúcares y de lípidos de la levadura. Los ésteres, así como los alcoholes producidos durante la fermentación, son considerados compuestos primarios en el aroma y el sabor de la cerveza (Oshita, et al, 1995, pp. 387-394).

### ***Envasado y despacho del producto terminado.***

En la figura 3 envasados y despacho del producto terminado de Cervecería Polar detalla el proceso, todo comienza con la recepción de las cajas vacías y su paso a la despaletizadora en donde las cajas llenas son enviadas a la desembaladora, en ella se separan las botellas de las cajas y se envían a las lavadoras. En el caso de las botellas, al salir de la lavadora pasan por un sistema electrónico de control de calidad

de botellas vacías previo a la entrada a la llenadora. En la llenadora las botellas son llenadas con el producto terminado y enviadas a la pasteurizadora para mantener por un tiempo mayor las propiedades organolépticas de la cerveza.



**Figura 3. Envasado y despacho del producto terminado.**

Fuente: Instructivo llenadora de botellas Cervecería Polar, 2012.

### ***Llenadora.***

La Llenadora es una máquina giratoria compuesta por una llenadora propiamente dicha y una tapadora, que a alta velocidad llena los envases y luego los tapa, cumpliendo con los estándares de calidad. La Llenadora es la máquina más compleja y delicada de un tren de envasado ya que del llenado dependen en gran medida la conservación de las condiciones microbiológicas y características del

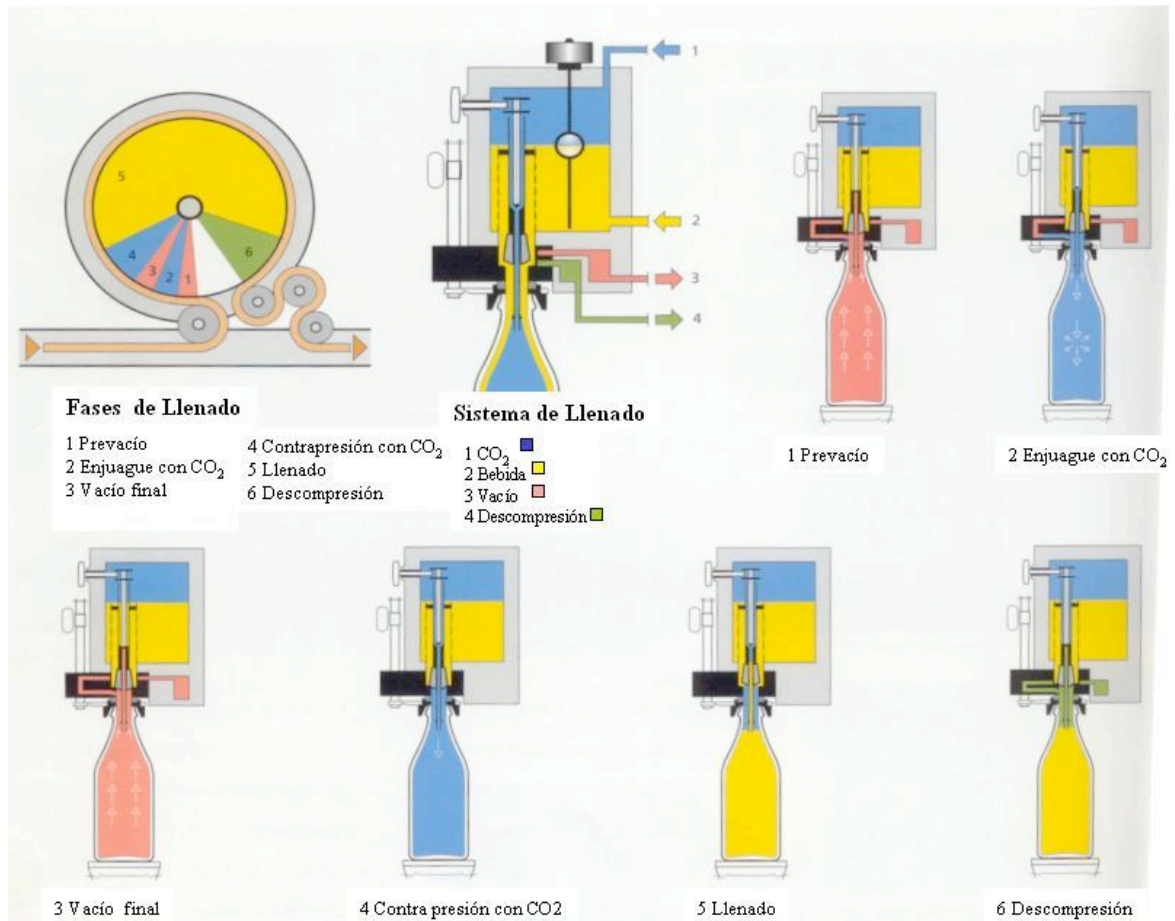
producto final. Por ejemplo, la espuma cremosa, efervescencia, brillo, color y sabor de la cerveza (Instructivo llenadora de botellas Polar, 2012).

### ***Proceso de llenado.***

El proceso de llenado consta de 6 etapas:

- Pre-evacuación de aire: Sistema de vacío que consiste en extraer el aire que se encuentra en el interior de los envases, antes de ser llenados, para así evitar la contaminación y oxidación del producto.
- Enjuague con CO<sub>2</sub>: Con el enjuague se logra eliminar el resto de oxígeno que queda en el envase después del primer vacío efectuado.
- Presurización: Consiste en inyectar gas carbónico (CO<sub>2</sub>) al envase para que la presión del mismo se iguale a la presión del calderín de la cerveza y la botella o lata se llene sin formar espuma.
- Llenado: Una vez que la botella o lata esté llena de gas carbónico la cerveza comienza a bajar por gravedad sobre las paredes internas. Mientras el envase se llena, la cerveza va desplazado el CO<sub>2</sub> que regresa al calderín.
- Descarga: Cuando la cerveza alcanza el tubo de venteo, se detiene el llenado. Se abre entonces una válvula que alivia la presión en la botella o lata y la iguala con la de la atmósfera.
- Expulsión de aire: Cuando la botella o lata se separa de la válvula de llenado entra aire que puede contaminar la cerveza y oxidarla. Para eliminar este efecto, se inyecta agua a alta presión que libera gas carbónico y produce suficiente espuma para desalojar el aire que se encuentra en la parte superior del envase antes de ser tapado.

Cualquier falla operativa en el proceso descrito anteriormente tiene como consecuencia la obtención de productos fuera de especificación desde el punto de vista de los tres parámetros de control de calidad en la llenadora: cantidad de dióxido de carbono, volumen de llenado y cantidad de oxígeno disuelto en el producto envasado.



**Figura 4. Proceso de llenado de la cerveza.**  
 Fuente: Instructivo llenadora de botellas Cervecería Polar, 2012.

### **Sistema de gestión de calidad.**

El sistema de gestión de calidad está conformado por todos aquellos procesos, procedimientos y otros documentos orientados a garantizar la calidad de un producto. En general, los laboratorios de la industria cervecera funcionan de acuerdo con un sistema de gestión de calidad basado en la Norma Internacional ISO/IEC 17025: 2005 “Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración”.

Las normas ISO 9000 se han elaborado para asistir a las organizaciones de todo tipo y tamaño, en la implementación y la operación de sistemas de gestión de calidad eficaces, orientadas a través de ocho principios, que al ser utilizados por la dirección de la organización la conducen hacia una mejora del desempeño.



**Figura 5. Principios de la Norma ISO 9001:2008.**

Fuente: Norma ISO 9001:2008, 2008.

- Enfoque al cliente: las organizaciones dependen de sus clientes y por tanto deben comprender las necesidades actuales y futuras, cumplir con los requisitos de los clientes y esforzarse en sobrepasar las expectativas de los mismos.
- Liderazgo: las organizaciones deben fomentar el liderazgo, éstas crean el ambiente en el cual el personal puede llegar a involucrarse totalmente en el logro de los objetivos de la organización.



- Participación del personal: el personal es la esencia de la organización y su total implicación posibilita que sus capacidades sean usadas para el beneficio de la organización.
- Enfoque basado en procesos: los resultados deseados se consiguen más eficazmente cuando los recursos y actividades se gestionan como un proceso.
- Enfoque de sistema para la gestión: identificar, entender y gestionar un sistema de procesos interrelacionados, mejora la eficacia para la organización.
- Mejora continua: es un objetivo permanente de la organización.
- Enfoque basado en hechos para la toma de decisión: las decisiones eficaces se basan en el análisis de los datos y la información.
- Relaciones mutuamente beneficiosas con el proveedor: las relaciones mutuamente beneficiosas entre la organización y sus proveedores intensifica la capacidad de ambas organizaciones para crear valor.

### ***Estructura de la Norma ISO 9001:2008.***

La Norma ISO 9001 especifica los requisitos para un sistema de gestión de la calidad que pueden utilizarse para su aplicación interna por las organizaciones, para certificación o con fines contractuales. Se centra en la eficacia del sistema de gestión de la calidad para satisfacer los requisitos del cliente (ISO 9001, 2008).

#### Sistema de gestión de la calidad

La organización debe establecer, documentar, implementar y mantener un sistema de gestión de la calidad y mejorar continuamente su eficacia de acuerdo con los requisitos de esta Norma Internacional (p. 2).

La organización debe:

- a) determinar los procesos necesarios para el sistema de gestión de la calidad y su aplicación a través de la organización,
- b) determinar la secuencia e interacción de estos procesos,

- c) determinar los criterios y los métodos necesarios para asegurarse de que tanto la operación como el control de estos procesos sean eficaces,
- d) asegurarse de la disponibilidad de recursos e información necesarios para apoyar la operación y el seguimiento de estos procesos,
- e) realizar el seguimiento, la medición cuando sea aplicable y el análisis de estos procesos,
- f) implementar las acciones necesarias para alcanzar los resultados planificados y la mejora continua de estos procesos.

#### Acción correctiva

La organización debe tomar acciones para eliminar las causas de las no conformidades con objeto de prevenir que vuelvan a ocurrir. Las acciones correctivas deben ser apropiadas a los efectos de las no conformidades encontradas (p. 16).

Debe establecerse un procedimiento documentado para definir los requisitos para:

- a) revisar las no conformidades (incluyendo las quejas de los clientes),
- b) determinar las causas de las no conformidades,
- c) evaluar la necesidad de adoptar acciones para asegurarse de que las no conformidades no vuelvan a ocurrir,
- d) determinar e implementar las acciones necesarias,
- e) registrar los resultados de las acciones tomadas, y
- f) revisar la eficacia de las acciones correctivas tomadas.

#### Acción preventiva

La organización debe determinar acciones para eliminar las causas de no conformidades potenciales para prevenir su

ocurrencia. Las acciones preventivas deben ser apropiadas a los efectos de los problemas potenciales (p.17).

Debe establecerse un procedimiento documentado para definir los requisitos para:

- a) determinar las no conformidades potenciales y sus causas,
- b) evaluar la necesidad de actuar para prevenir la ocurrencia de no conformidades,
- c) determinar e implementar las acciones necesarias,
- d) registrar los resultados de las acciones tomadas (véase 4.2.4), y
- e) revisar la eficacia de las acciones preventivas tomadas.

#### ***Validación de metodologías de ensayos.***

La norma ISO-9001:2008 define la validación como:

Diseño y desarrollo de acuerdo con lo planificado para asegurarse de que el producto resultante es capaz de satisfacer los requisitos para su aplicación especificada o uso previsto, cuando sea conocido (p.11).

La validación de un método de ensayo representa la garantía en la obtención de resultados técnicamente válidos y confiables mediante el conocimiento de los parámetros de desempeño del método.

En el apartado 9.1 de la norma ISO/IEC 17025:2005, se encuentran los requisitos para validación de métodos, mediante los cuales se exige que cualquier laboratorio que desee validar un método específico debe analizar y controlar los factores que inciden en la confiabilidad y exactitud de los resultados que informa.

En el alcance de estos requisitos se establece la validación de:

- Métodos no normalizados.

- Métodos diseñados o desarrollados por el laboratorio.
- Métodos normalizados usados para evaluaciones distintas al alcance para el cual fueron desarrollados.
- Métodos normalizados que han sido ampliados o modificados.

Estos requisitos sugieren que:

- La validación sea tan extensiva como el propio método de ensayo lo requiera y pueda incluir los procesos relacionados con el muestreo, el manejo y el transporte de la muestra.
- Entre las técnicas disponibles para determinar los parámetros de desempeño del método de ensayo se aplique, al menos, una de las siguientes: la calibración mediante patrones de referencia, la comparación de los resultados con otros métodos de ensayo, las comparaciones interlaboratorios y/o la evaluación de la incertidumbre.

***ISO/IEC 17025:2005 Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración.***

Los laboratorios de ensayo y de calibración que cumplen con esta Norma Internacional funcionan también de acuerdo con la Norma ISO 9001, la cual especifica los requisitos para un sistema de gestión de calidad, que debe cumplir una empresa para demostrar su capacidad de prestar un servicio que satisfaga los requisitos del cliente y los reglamentos aplicables.

La Norma ISO/IEC 17025:2005, establece de manera general que para demostrar competencia los laboratorios deben:

- Identificar y concretar cómo se ordenan y se interrelacionan los procesos necesarios para el sistema de gestión de calidad.
- Determinar los criterios y métodos necesarios para asegurarse de que la operación y el control de estos procesos sean eficaces.
- Asegurarse de la disponibilidad de recursos e información necesarios para apoyar la operación y el seguimiento de los procesos.

- Realizar el seguimiento, la medición y el análisis de los procesos.
- Implementar las acciones necesarias para lograr los resultados planificados y la mejora continua de estos procesos.

El cumplimiento de estos lineamientos en conjunto con los requisitos técnicos que se presentan a continuación, permiten garantizar el aseguramiento de la calidad de cualquier proceso y facilitar la estandarización de los métodos utilizados en el laboratorio:

### ***Requisitos técnicos para lograr el aseguramiento de la calidad.***

Muchos factores determinan la exactitud y la confiabilidad de los ensayos o de las calibraciones realizadas por un laboratorio. Estos factores incluyen elementos provenientes: de los factores humanos, de las instalaciones y condiciones ambientales, de los métodos de ensayo y de calibración, de la validación de los métodos, de los equipos, de la trazabilidad de las mediciones y del muestreo.

El grado con el que los factores contribuyen a la incertidumbre total de la medición difiere considerablemente según los ensayos y calibraciones. Es por ello, que los laboratorios deben tener en cuenta estos factores al desarrollar los métodos y procedimientos de ensayo y de calibración, en la formación y la calificación del personal, así como en la selección y la calibración de los equipos utilizados (ISO/IEC 17025, 2005).

### **Cadena de valor.**

La cadena de valor es un modelo teórico que representa, en forma gráfica, la cadena de procesos, la cadena medular y la de apoyo y permite describir las actividades de una organización para generar valor al cliente final y a la misma empresa. En base a esta definición se dice que una empresa tiene una ventaja competitiva frente a otra cuando es capaz de aumentar el margen (ya sea bajando los costos o aumentando las ventas). Cada empresa es un conjunto de actividades que se

desempeñan para diseñar, producir, llevar al mercado, entregar y apoyar a sus productos.

- Logística interna: La primera actividad primaria de la cadena de valor es la logística interna. Las empresas necesitan gestionar y administrar una manera de recibir y almacenar las materias primas necesarias para crear su producto, así como el medio para distribuir los materiales. Cuanto más eficiente sea la logística interna, mayor es el valor generado en la primera actividad.
- Operaciones: La siguiente etapa de la cadena de valor son las operaciones. Las operaciones toman las materias primas desde la logística de entrada y crea el producto. Naturalmente, mientras más eficientes sean las operaciones de una empresa, más dinero la empresa podrá ahorrar, proporcionando un valor agregado en el resultado final.
- Logística Externa: Después de que el producto está terminado, la siguiente actividad de la cadena de valor es la logística de salida. Aquí es donde el producto sale del centro de la producción y se entrega a los mayoristas, distribuidores, o incluso a los consumidores finales dependiendo de la empresa.
- Mercadeo y Ventas: Mercadeo y ventas es la cuarta actividad primaria de la cadena de valor. Aquí hay que tener cuidado con los gastos de publicidad, los cuales son una parte fundamental de las ventas.
- Servicios: La actividad final de la cadena de valor es el servicio. Los servicios cubren muchas áreas, que van desde la administración de cualquier instalación hasta el servicio al cliente después de la venta del producto. Tener una fuerte componente de servicio en la cadena de suministro proporciona a los clientes el apoyo y confianza necesaria, lo que aumenta el valor del producto.

### **Indicadores de gestión.**

Medir es comparar una magnitud con un patrón establecido. Aunque existe la tendencia de “medirlo todo” con el fin de eliminar la incertidumbre, o, por lo menos

de reducirla a su mínima expresión, la clave consiste en elegir las variables críticas para el éxito del proceso, y para ello es necesario la más conveniente para medir y asegurar que esta última resuma lo mejor posible la actividad que se lleva a cabo en cada área funcional (Beltrán 2008, p. 49).

Un sistema de control de gestión tiene como objetivo facilitar a los administradores con responsabilidades de planeación y control de cada grupo operativo, información permanente e integral sobre su desempeño, que le permita a éstos autoevaluar su gestión y tomar los correctivos del caso (Beltrán 2008, p. 49).

A cada uno de sus usuarios, el sistema debería facilitarle información oportuna y efectiva sobre el comportamiento de las variables críticas para el éxito a través de los indicadores de gestión que hayan sido previamente definidos. Sólo de esa forma se garantiza que la información que genera el sistema de control de gestión tenga efecto en los procesos de toma de decisiones y se logre así mejorar los niveles de aprendizaje de la organización (Beltrán 2008, p. 49).

Se define un indicador como la relación entre las variables cuantitativas o cualitativas, que permite observar la situación y las tendencias de cambio generadas en el objeto o fenómeno observado, respecto de objetivos y metas provistas e influencias esperadas. Estos indicadores pueden ser valores, unidades, índices, series estadísticas, etc. Son factores para establecer el logro y el cumplimiento de la misión, objetivos y metas de un determinado proceso (Beltrán 2008, p. 49).

Igualmente son parte de dos sistemas de información fundamentales para la gerencia de las organizaciones (Beltrán 2008, p. 49):

1. Del sistema de información gerencial, que según James A. Senn en su libro *Sistemas de información para la administración* (p.10), define como: “Sistema de información gerencial: Proporciona información de apoyo en la toma de decisiones, donde los requisitos de información pueden identificarse

de antemano. Las decisiones respaldada por este sistema frecuentemente se repiten”.

2. Del sistema de apoyo para la decisión: Citando nuevamente a Senn, quien lo define así: “Sistema de apoyo para la decisión: Ayuda a los gerentes en la toma decisiones únicas y no reiteradas que relativamente no están estructuradas. Parte del proceso de la decisión consiste en determinar los factores y considerar cuál es la información necesaria”.

Los indicadores de gestión son, ante todo, información, es decir, agregan valor, no son solo datos. Siendo información, los indicadores de gestión deben tener atributos de la información, tanto en forma individual como cuando se presentan agrupados. Los atributos para la información son:

- Exactitud: La información debe representar la situación o el estado como realmente es.
- Forma: Existen diversas formas de presentación de la información, que puede ser cualitativa o cuantitativa, numérica o gráfica, impresa o visualizada, resumida y detallada. Realmente la forma debe ser elegida según la situación, necesidades y habilidades de quien la recibe y la procesa.
- Frecuencia: Es la medida de cuán a menudo se requiere, se recaba, se produce o se analiza.
- Extensión: Se refiere al alcance en términos de cobertura del área de interés. Además tiene que ver con la brevedad requerida, según el tópico de que se trate. La calidad de la información no es directamente proporcional con su extensión.
- Origen: Puede originarse dentro o fuera de la organización. Lo fundamental es que la fuente que la genera sea la fuente correcta.
- Temporalidad: La información puede “hablarnos” del pasado, de los sucesos actuales o de las actividades o sucesos futuros.



- Relevancia: La información es relevante si es necesaria para una situación particular.
- Integridad: Una información completa proporciona al usuario el panorama integral de lo que necesita saber acerca de una situación determinada.
- Oportunidad: Para ser considerada oportuna, una información debe estar disponible y actualizada cuando se necesita.

### **Aspectos generales acerca de los indicadores de gestión.**

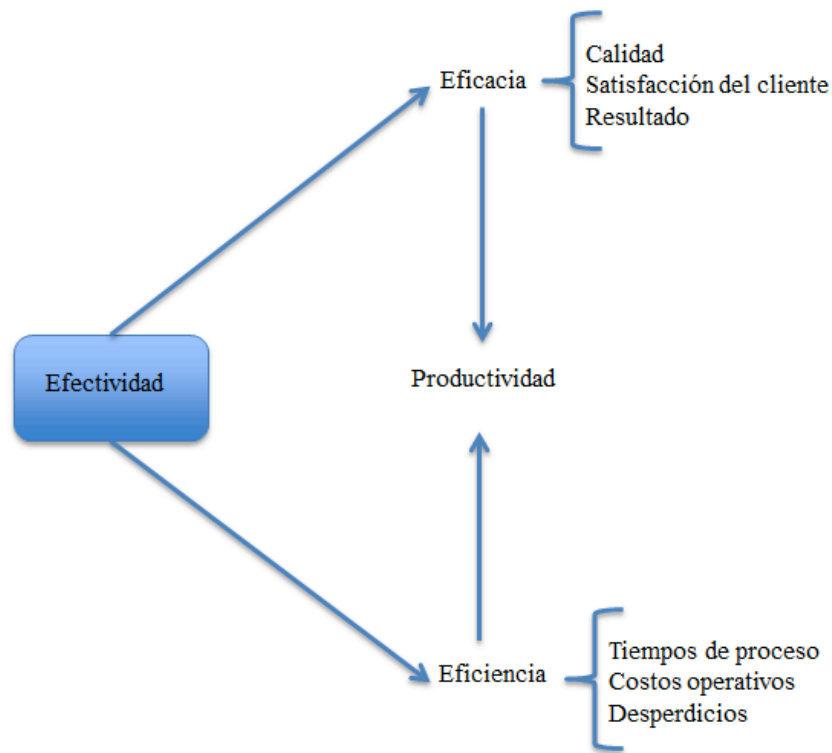
#### ***Contar con objetivos y estrategias.***

Es fundamental contar con objetivos claros, precisos, cuantificados y tener establecida la o las estrategias que se emplearán para lograr los objetivos. Ellos nos dan el punto de llegada, las características del resultado que se espera. Existen unos factores que nos ayudan a especificar, a cuantificar, un objetivo o una estrategia. Se entiende por cuantificar un objetivo o estrategia la acción de asociarle patrones que permitan hacerla verificable (Beltrán 2008, p. 53).

#### ***Identificar factores de éxito.***

Se entiende por factor de éxito aquel aspecto que es necesario mantener bajo control para lograr el éxito de la gestión, el proceso o la labor que se pretende adelantar.

En la figura 6, mapa de factores de éxito de la gestión, los factores que se mencionan corresponden a los factores de éxito que se deben tener en cuenta siempre en la concepción, monitoreo y evaluación final de la gestión. Cuando se realiza el monitoreo de los factores efectividad, eficacia, eficiencia y productividad, decimos que el monitoreo es integral (Beltrán 2008, p. 56).



**Figura 6. Mapa de factores de éxito de la gestión.**

Fuente: Beltrán, 2008.

Al igual que del ser humano se habla de “signos vitales” que nos ayudan a monitorear el estado de equilibrio fisiológico de una persona, en una organización y en los procesos también existen una serie de factores considerados vitales y que, por tanto, requieren ser monitoreados a fin de garantizar un control íntegro y equilibrado de sus funciones y operación.

***Determinar, para cada indicador, línea base, meta y rango de gestión***

- Línea base: Corresponde al valor inicial o actual del indicador. En algunos casos no existe la información necesaria para calcular el valor inicial o actual del indicador, lo cual no significa necesariamente que las cosas no se estén haciendo correctamente; más bien ocurre cuando no se tienen registros sobre

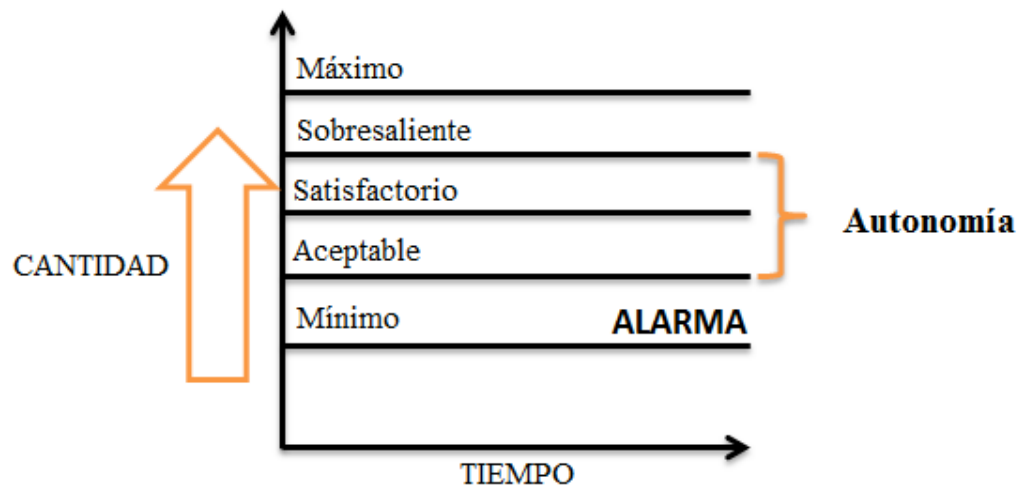
el comportamiento de las variables que conforman el indicador: En estos casos es usual encontrar o utilizar para el estado las letras (NA).

- Meta: Se refiere al valor del indicador que se requiere lograr o mantener.
- Rango de gestión: Este término lo acuñamos para designar el espacio comprendido entre los valores mínimo y máximo que el indicador puede tomar. La propuesta consiste en establecer, para cada indicador, un rango de comportamiento que nos permita hacerle el seguimiento, teniendo en cuenta el hecho de que es muy difícil que una variable se comporte siempre de manera idéntica. Lo anterior se apoya en la teoría del control estadístico de procesos, concretamente en los gráficos de control propuestos por Shewart, inicialmente, y posteriormente trabajados por muchos estudiosos de la calidad y el mejoramiento continuo.

Por lo general, y esto constituye un error, se acostumbra a asignarle a cada indicador un valor único, una meta. Al tener un solo valor de referencia, lo más seguro es que dicho valor no se logre, bien sea por exceso o por defecto. Surge entonces la inquietud de que tan cerca, por arriba o por debajo, se estuvo de lograr la meta, y lo que es más importante aún, a que distancia máxima alrededor de la meta la situación deja de ser favorable para la organización. Como respuesta a lo anterior, y a fin de generar procesos de toma efectiva y productiva de decisiones, se plantea la conveniencia de establecer cinco valores de referencia, si no para todos, para los indicadores básicos del negocio, nivel o proceso que se trate (Beltrán 2008, p. 59).

En primera instancia, es fundamental tener claro si el valor del indicador conviene que aumente o disminuya el primer caso, ver figura 6a Rango de gestión, de abajo para arriba el nombre de los valores de referencia es el siguiente: Mínimo, Aceptable, Satisfactorio, Sobresaliente y Máximo. Aparece otro concepto que es el de la Alarma. Si se aprecia la figura, se notará que está situada entre el valor del mínimo y el valor aceptable. La Alarma es la zona en la cual siempre que el indicador se encuentre en ella, significará que el proceso estará a punto de quebrantarse; aun no se

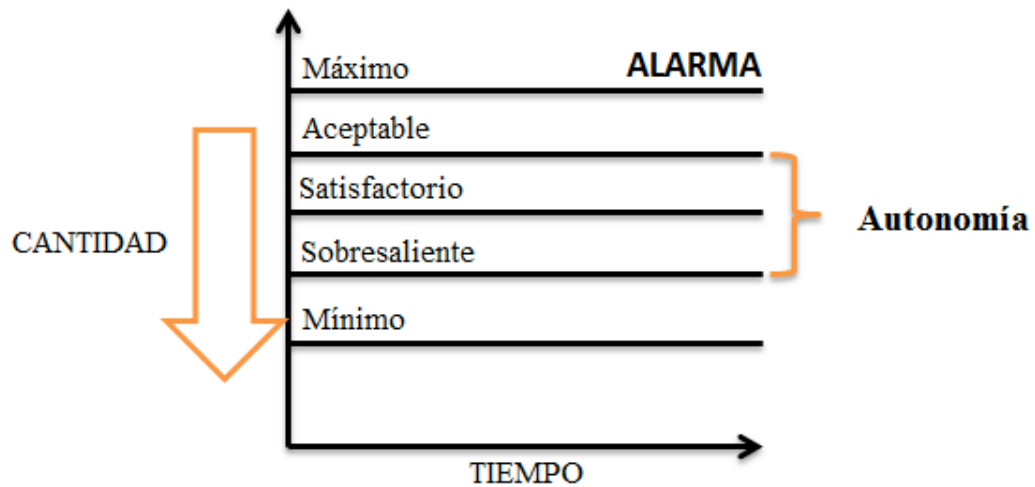
ha caído en una situación crítica, pero de no tomar alguna acción, es muy posible que la situación, proceso o variable observada ya no tenga modo de recuperarse. En la figura 6b rango de gestión, se aprecia que si lo conveniente es que el valor del indicador disminuya o tienda a cero, la gráfica quedaría constituida así, de abajo hacia arriba: Mínimo, Sobresaliente, Satisfactorio, Aceptable y Máximo. Se aprecia que tanto en la zona de Alarma como los valores Aceptable y Sobresaliente cambian de lugar. Otro aspecto interesante es el hecho de que entre los valores aceptable y sobresaliente se configura una zona de autonomía en la cual, siempre que el valor del indicador se encuentre dentro de estos límites, se considera que su comportamiento es estable y que lo más seguro es que se logre el valor satisfactorio (Beltrán 2008, p. 68).



Cuando lo conveniente es que el valor del indicador se incremente o sea cada vez mayor

**Figura 6a. Mapa de factores de éxito de la gestión.**

Fuente: Beltrán, 2008.



Cuando lo conveniente es que el valor del indicador se reduzca o sea cada vez menor

**Figura 6b. Mapa de factores de éxito de la gestión.**

Fuente: Beltrán, 2008.

### ***Diseñar la medición.***

Consiste en determinar fuentes de información, frecuencia de medición, presentación de la información, asignación de responsables de la recolección, tabulación, análisis y presentación de la información.

Es de vital importancia que una vez se hayan establecido los indicadores se determine exactamente la fuente que proveerá la información pertinente para su cálculo. Esta fuente deberá ser lo más específica posible, de manera que cualquier persona que requiera hacerle seguimiento al indicador esté en posibilidad de obtener los datos de manera ágil y totalmente confiable.

De cualquier manera, las fuentes de información pueden clasificarse como internas o externas. Existen por lo general fuentes de información tales como los estados financieros (para el cálculo de las razones financieras), informes de producción, cuadros de costos, reportes de gestión, etc (Beltrán 2008, p. 69).

## **CAPITULO III**

### **Marco Metodológico**

#### **Tipo y diseño de investigación**

Este estudio se fundamentó en una investigación de tipo proyectiva, bajo un diseño no experimental mixto (documental y de campo), transversal descriptivo. Es proyectiva ya que consistió en la elaboración de una propuesta, un plan, un programa o un modelo, como solución a un problema o necesidad de tipo práctico, ya sea de un grupo social, o de una región geográfica, en un área particular del conocimiento, a partir de un diagnóstico preciso de las necesidades del momento, los procesos explicativos, o generadores involucrados y de las tendencias futuras, es decir, con base en los resultados de un proceso investigativo (Hurtado 2008, p. 47).

Se siguió un diseño no experimental mixto: documental ya que se basó en el estudio de problemas con el propósito de ampliar y profundizar el conocimiento de su naturaleza, con apoyo, principalmente, en trabajos previos, información y datos divulgados por medios impresos, audiovisuales o electrónicos. Y de campo, debido a que se hizo un análisis sistemático de problemas reales, con el propósito bien sea de describirlos, interpretarlos, entender su naturaleza y factores constituyentes, así como explicar sus causas y efectos, o predecir su ocurrencia (UPEL, 2006, pp 11-12).

Por su parte, un diseño de la investigación no experimental, es aquel que durante el desarrollo no se realiza manipulación de ninguna de las variables, simplemente se observan los eventos en su contexto natural, para conocer y entender la situación actual y así desarrollar y proponer una metodología para el fortalecimiento de un sistema de gestión de calidad, es decir, no se alterará las condiciones existentes (Hernández, R., Fernández, C., Baptista, P, 2007, pp 705).

Finalmente fue de tipo transversal descriptivo, ya que se recolectaron los datos de las diferentes variables involucradas en un tiempo único y se analizaron sus

incidencias en un tiempo dado. Este tipo de investigación proporcionó información útil sobre la naturaleza del problema (Tamayo, 2005, pp 45-50).

Debido a la identificación de las necesidades de la organización, y basados en lo antes expuesto, se diseñó una metodología para el fortalecimiento del sistema de gestión de la calidad, basado en indicadores analíticos predictivos del deterioro de productos del proceso de elaboración de mosto e inicio de fermentación alcohólica. Con este fin se revisaron las fuentes documentales que generaron datos necesarios para diseñar la solución del problema.

### **Variables**

- Parámetros analíticos en la elaboración de cerveza: color, pH, diacetilo y nitrógeno.
- Comparación de parámetros de calidad; y su impacto en el Sistema de Gestión de Calidad (SGC).
- Fortalecimiento del Sistema de Gestión de Calidad (SGC).
- Estudio de factibilidad de la metodología de Mínima Ocurrencia de Acciones Correctivas (MOAC).

## Operacionalización de los objetivos

Objetivo Específico	Variabes	Dimensiones	Indicadores
Diagnosticar las variables del proceso: color, pH, diacetilo y nitrógeno.	Parámetros analíticos de elaboración de cerveza	Proceso de elaboración de mosto e inicio de fermentación alcohólica	Medida directa de pH, color, diacetilo y nitrógeno.
Analizar la correlación de las variables del proceso con el Sistema de Gestión de Calidad y el impacto de los indicadores en la ocurrencia de acciones correctivas.	Comparación de parámetros de calidad y su impacto en el Sistema de Gestión de la Calidad	Interrelación con el sistema de calidad del proceso	Gráficos de correlación de las variables e impacto en las acciones correctivas
Diseñar la metodología para el fortalecimiento del Sistema de Gestión.	Metodología del fortalecimiento del SGC	Proceso de elaboración de mosto e inicio de fermentación alcohólica	Nivel de desarrollo de metodología, evaluación de las variables del proceso
Determinar la factibilidad de la implementación de la metodología.	Estudio económico	Estudio de factibilidad de la metodología	*Costos de análisis. *Costos en horas hombre. *Costo de plataforma tecnológica (mantenimiento de equipos)

**Tabla 1.** Operacionalización de los objetivos

### Unidades de Análisis

En esta investigación se trabajó con una población finita, que abarca específicamente el proceso de elaboración y fermentación. Se utilizó una muestra representativa bajo un criterio no probabilístico intencional, ya que los elementos seleccionados fueron en base a criterios previamente establecidos, específicamente las variables de estudio: color, pH, diacetilo y nitrógeno; cuyos datos se encontraban en los archivos del laboratorio central ubicado en Cervecería Polar C.A.

La técnica e instrumentos de recolección de datos fue la observación directa participativa, autores como (Arias, 2006) indica que

Es una técnica que consiste en visualizar o captar mediante la vista, en forma



sistemática, cualquier hecho, fenómeno o situación que se produzca en la naturaleza o en la sociedad, en función de unos objetivos de investigación preestablecidos” para esto se utilizó una lista de chequeo, libreta de anotación de observaciones, computadoras, etc. Otra de las técnicas utilizadas fue la observación documental que no es más que la recolección de los antecedentes relacionados con la investigación, que facilitó la descripción, el análisis y la interpretación de los datos de estudio, a través de investigación bibliográfica, base de datos, artículos e investigaciones relacionadas con el tema de interés, investigación en la web, trabajos especiales de grado.

Para la técnica de observación documental en esta investigación se trabajó con el histórico de cada una de las variables de estudio, así como los valores una vez realizado los ajustes.

En la validación de instrumentos se trabajó con hojas de observaciones, registros de muestras y análisis de la organización los cuales se basan en la ISO 17025 específicamente los ítems relacionados a los controles de registros y documentos. Adicionalmente, en la recolección de datos requeridos para el estudio se realizó juicio de expertos, esto con la finalidad de conocer la probabilidad de error probable en la configuración del instrumento. Mediante el juicio de expertos se pretende tener estimaciones razonablemente buenas. Sin embargo, estas estimaciones pueden y deben ser confirmadas o modificadas a lo largo del tiempo, según se vaya recopilando información durante el funcionamiento del sistema.

Otra técnica utilizada fue la tormenta de ideas, que es una herramienta de grupo que permite la obtención de un gran número de ideas sobre un determinado tema de estudio. Esta se empleó en las fases de identificación y definición de proyectos, en diagnóstico y solución de la causa.

## **Técnicas e Instrumentos para el análisis**

Las técnicas e instrumentos de recolección de datos permitieron obtener información en función a los objetivos planteados en la investigación. (Balestrini, 2006) Indica que

Se debe precisar de manera clara y desde la perspectiva metodológica, cuales son los métodos instrumentales y técnicas de recolección de información, considerando las particularidades y límites de cada uno de estos, más apropiados, atendiendo a las interrogantes planteadas en la investigación y a las características del hecho estudiado, que en su conjunto permiten obtener y recopilar los datos que se están buscando.

## **Análisis e interpretación de los datos**

Para su procesamiento y análisis los datos, se pueden clasificar, organizar, registrar, codificar y tabular, utilizando técnicas sencillas de análisis de contenido o de manera cualitativa y así poder sintetizar los datos obtenidos para dar respuestas a las interrogantes de la investigación.

Balestrini (2006) indica que el propósito del análisis de datos “implica el establecimiento de categorías, la ordenación y manipulación de los datos para resumirlos y poder sacar algunos resultados en función de las interrogantes de la investigación”.

## **Consideraciones éticas y legales**

Para el desarrollo de esta investigación, metodología para el fortalecimiento de un sistema de gestión de la calidad, Cervecería Polar C.A cumple con los lineamientos de Código Ética y Acuerdos de Confidencialidad.

Código de Ética de Empresas Polar: Consultado el 06 de enero de 2014.  
<http://portal.netpolar.com/irj/portal>.

Adicionalmente también se cumplen con los reglamentos y los códigos de ética, y se asume la responsabilidad ante el plagio o copia de la investigación, según lo que establece el reglamento sobre el Régimen Disciplinario Aplicable a los Alumnos N° 5.05 de la Universidad Católica Andrés Bello.

## CAPITULO IV

### Presentación y Análisis de los Resultados

El desarrollo y el análisis de los objetivos específicos planteados se presentan a continuación,

#### **Diagnosticar las variables del proceso**

El proceso “elaboración de mosto e inicio de fermentación alcohólica” consta de diferentes etapas: Recepción de cebada malteada, extracción, molienda, maceración, filtración de mosto, hervido de mosto, clarificación y enfriamiento.

Durante la maceración se produce la degradación enzimática de almidón, de las proteínas y de otros compuestos y la extracción con agua de los productos resultantes. El procedimiento de maceración varía según el tipo de cerveza que se desea obtener y las materias primas utilizadas. Existen procedimientos de cocción y de infusión que presentan diferencias fundamentales.

En el procedimiento de cocción parte de la malta macerada se hierve y se mezcla seguidamente con el resto del macerado hasta que la mezcla alcance la temperatura deseada. En el procedimiento de infusión la temperatura de todo el macerado se eleva gradualmente. Por lo general la temperatura se eleva hasta 30-50 °C. Cuando se utiliza una gran proporción de cebada cruda, más del 25% del total, se añaden preparados enzimáticos que a 52 °C degradan los glucanos de la cebada. Los glucanos dificultan los procesos de clarificación y filtración.

Después de mantener estas temperaturas durante 20-30 minutos, se calienta hasta alcanzar una temperatura de 63-64 °C. A esta nueva temperatura actúa la  $\beta$ -amilasa que degrada el almidón a maltosas sin que apenas se produzcan dextrinas. Elevando después la temperatura de la masa a 72-75 °C se consigue la temperatura

óptima para la acción de la  $\alpha$ -amilasa, enzima que reduce el almidón a dextrinas sin producir apenas maltosa. Alargando o acortando los tiempos de calentamiento a las diferentes temperaturas se puede controlar la composición del mosto en lo que concierne a relación de azúcares fermentables por las levaduras, como glucosa, sacarosa, levulosa, maltosa y maltotriosa, respecto de las dextrinas no fermentables. Dicha relación es la que determina el grado final de fermentación.

Los fenómenos que acontecen durante la fermentación y maduración de cerveza, y que fueron variables estudiadas en la investigación, ocurren en los primeros 4 días de la fermentación principal, es decir, paralelamente a la multiplicación de la levadura, aquí se forman los alcoholes superiores, diacetilo, pentadiona, aldehídos y compuestos azufrados. La concentración de alcoholes superiores, formados durante la fermentación principal, apenas se modifica durante la fase de maduración. El diacetilo y la pentadiona ejercen una influencia esencial en el sabor de la cerveza. El valor límite señalado a la suma de ambas sustancias es de 0,20 mg/l de cerveza. Sin embargo, en una cerveza bien madurada existen por lo general menos de 0,05 mg/l. El diacetilo se genera en la fase de fermentación principal. Entre los días 3 y 5 de instaurarse esta se evidencian hasta 100 mg/l. Al final de la fermentación principal y durante la maduración, el diacetilo es reducido por las levaduras a acetona y butanodiol principalmente, productos que no influyen en el sabor. La velocidad de desdoblamiento del diacetilo depende de la temperatura y de la concentración de levadura. También el tipo de levadura ejerce cierta influencia. Los tipos de levaduras que forman mucho diacetilo en el curso de la fermentación principal también desdoblan esta diacetona con mucha rapidez en la siguiente fase de maduración. En cambio, las levaduras que en la fermentación principal originan una concentración de diacetilo más baja, necesitan un plazo bastante más largo para reducir este producto metabólico.

El pH fue un parámetro importante en esta investigación, ya que en el proceso de fermentación se produce un cambio. El pH del mosto, que es de 5,4-5,6 desciende en unas 24 a 48 horas hasta 4,4-4,5 y el pH final de una cerveza en depósito está entre 4,1 y 4,4. Durante la maduración apenas se modifica el pH. Únicamente en los depósitos muy prolongados puede aumentar del orden de 0,1 por autólisis de las levaduras.

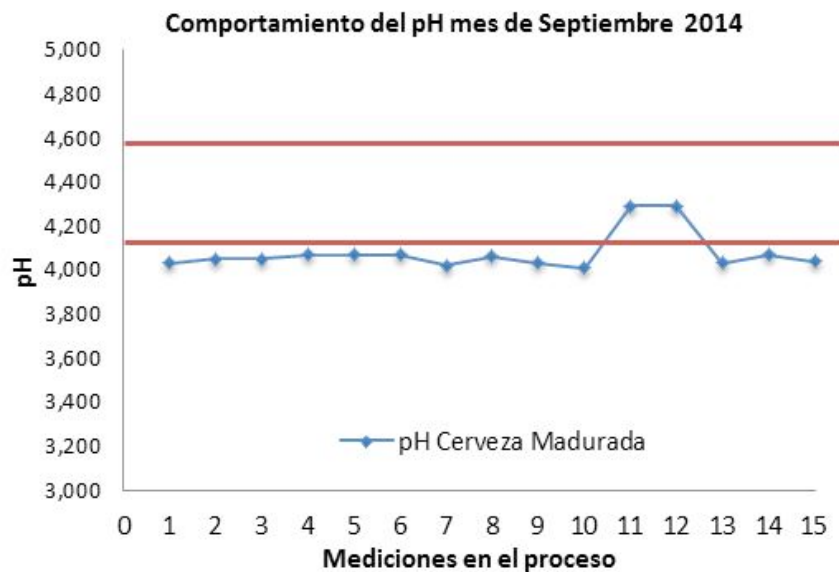
La aplicación de calor puede ser la causa de muchas reacciones complejas que comprometen a los carbohidratos y origina la variación del color. La actividad del agua y los protones regulan el grado de liberación de azúcares reductores por hidrólisis a partir de sus conjugados glicosídicos en los alimentos. Después de la liberación ocurren muy pocas reacciones de los azúcares en medios acuosos a pH 4,0 aproximadamente. Sin embargo, si el medio vuelve a ser neutro o débilmente alcalino, entonces los hemiacetales pasan más rápidamente a la forma carbonilo de los azúcares reductores, es decir, a aldehídos y cetonas reactivas, las cuales se enolizan y comienzan una serie de reacciones de descomposición. Los grupos amino básicos de las proteínas, péptidos y aminoácidos se añaden rápidamente a los grupos carbonilo de los azúcares y se condensan. Entonces ocurre la reacción entre el grupo amino y el grupo del azúcar, conocida como reacción de Maillard, con la aparición de color pardo que es el punto inicial de la enolización de la glicosilamina. Cuando no participan compuestos amino en las reacciones de descomposición inducidas por el calor (sobre 100°C), reciben el nombre de reacciones de caramelización (Kunze, 1996, pp 796).

Los compuestos nitrogenados, constituyen un grupo diversificado de compuestos, en donde los principales son: aminoácidos péptidos, polipéptidos, proteínas y ácidos nucleicos. Debido a la complejidad de la naturaleza de la fracción nitrogenada, suelen agruparse con fines analíticos como Nitrógeno Soluble Total (NST).

Un 50 – 80% de los aminoácidos presentes en el mosto procede directamente de la cebada malteada. Con la degradación de las proteínas se buscan, entre otras cosas, producir amino nitrógeno libre (FAN) que es un compuesto químico que se obtiene directamente de la cebada y, en proporciones adecuadas, contribuyen al buen desarrollo de las levaduras impidiendo fermentaciones lentas o inactivas. De igual manera los compuestos nitrogenados de mayor peso molecular que no contribuyan con el desarrollo de la levadura pueden terminar presentes en la cerveza final, pudiendo provocar efectos beneficiosos, como estabilidad de la espuma, o adversos como atributos sensoriales no característicos. Sin embargo, durante la ebullición del mosto coagulan y precipitan una proporción de los compuestos nitrogenados de alto peso molecular. La fracción nitrogenada que queda en solución después de ebullición se designa Nitrógeno soluble permanente.

### **Correlación de las variables del proceso con el Sistema de Gestión de Calidad y el impacto de los indicadores en la ocurrencia de acciones correctivas**

Para esta investigación se realizó la correlación de las variables del proceso que generaban las acciones correctivas, y se representaron gráficamente con el fin de establecer los valores en los cuales el sistema presentaba desviación. En función a esto se despliega un catálogo de acciones preventivas orientadas a minimizar el riesgo presente ocasionado por los valores fuera de especificaciones.



**Gráfico 3. Comportamiento del pH**

Fuente: construido a partir de datos de seguimiento de una industria de fermentación alcohólica. Año 2014

En el gráfico 3 Comportamiento del pH, se observa que los valores estuvieron fuera de especificaciones, por debajo del límite inferior, este comportamiento fue a lo largo de todo el proceso. El estudio de esta variable se hizo mediante el cálculo de variación de pendiente, su distribución normal y la correlación existente con el proceso. De los valores obtenidos de la pendiente se toman aquellos que representan una influencia importante en la generación de acciones correctivas.

Una variación  $\leq 0,2$  y  $\geq 0,4$  origina que los valores de pH estén fuera de especificaciones. Para este caso se genera una serie de acciones preventivas para evitar que el proceso esté fuera de control y se mencionan a continuación:

#### **Cambios de materia prima.**

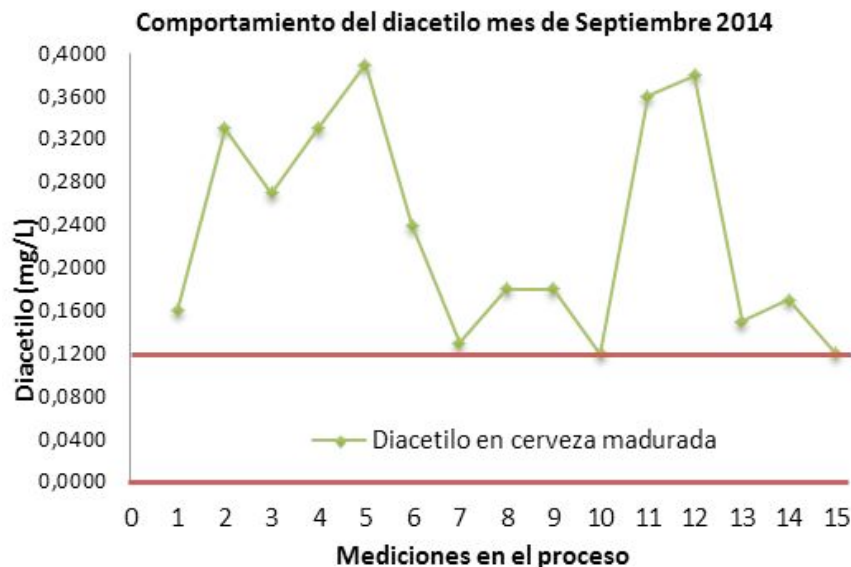
La alteración del pH de maceración hacia estos rangos pueden estar asociados a que los almidones son degradados rápidamente por las amilasas, aumentando la



actividad de otros carbohidratos y proteasas, alterando la solubilidad y coagulado de las proteínas y minimizando la extracción de taninos. Con el incremento de la acidez aparecen mayor cantidad de nitrógeno soluble en el mosto, pero las proteínas son degradadas más rápida por las enzimas proteolíticas.

### Adición de ácido sulfúrico.

El pH del mosto puede ser reducido mediante tratamientos líquidos con la finalidad de remover la dureza permanente del agua mediante la adición directa de ácido. Los fosfatos de la cebada malteada crean un efecto buffer, originando un rango más alcalino, iones como carbonatos y bicarbonatos presentes en el agua también funcionan como un buffer fuerte y son removidos a través de la acidificación directa. Una sobredosificación de ácido origina la reducción de la actividad enzimática impactando en el punto isoeléctrico de las proteínas generando dificultades en los procesos subsiguientes.



**Gráfico 4. Comportamiento del diacetilo**

Fuente: construido a partir de datos de seguimiento de una industria de fermentación alcohólica. Año 2014

En el comportamiento del diacetilo observado en el gráfico 4 los valores estuvieron fuera de especificaciones, por encima del límite superior, y a lo largo de todo el proceso. El estudio de esta variable se hizo mediante el cálculo de variación de pendiente, su distribución normal y la correlación existente con el proceso. De los valores obtenidos de la pendiente se toman aquellos que representan una influencia importante en la generación de acciones correctivas.

Valores  $\geq 0,08$  mg/L originan desviaciones de resultados y generación inmediata de acciones correctivas, se planteó un catálogo de acciones preventivas cuando ocurran estas variaciones con la finalidad de atacar a tiempo y mantener el control del sistema, las cuales se mencionan a continuación:

Lo primero a considerar es que la formación de diacetilo no es una variable directa del proceso de maceración, sino que está relacionada directamente con las condiciones de la levadura, es por esto que se debe verificar los números de ciclo, contenido de azúcares fermentables en el medio, temperatura y presión de los Tanques Cilindro Cónicos (TCC), composición del mosto en el medio, pH de entrada al TCC.

#### **Pérdida de vitalidad de la levadura.**

Los mostos deficientes en proteínas y a su vez en Aminoácidos (Valina y Leucina principalmente), tienden a provocar elevados niveles de diacetilo, dado que la inadecuada cantidad de esos aminoácidos estimula la formación de este último, resultando invariablemente en un exceso del mismo, de ahí la importancia en disponer de mostos sin altas concentraciones de adjuntos en la receta ya que infaliblemente determinarán niveles de FAN (aminoácidos nitrogenados libres) bajos. Sin tener en cuenta la concentración de valina o FAN en el mosto, siempre se produce diacetilo durante la fermentación, pero las levaduras lo reducen en acetoína y 2,3 butanodiol, compuestos de menor relevancia a nivel sensorial. El grado de floculación

de las levaduras también tiene influencia en los niveles de diacetilo. Esta es la razón por la cual, muchas cervecerías prefieren cepas de levaduras con baja precipitación, para que permanezcan mayor tiempo en suspensión, de modo de completar la fermentación y la reducción del diacetilo y luego provocan a través del frío la floculación de las mismas. De lo dicho entendemos que la viabilidad de las levaduras, es fundamental, así como también el pH y la temperatura.

Tanto la temperatura como el pH, afectan las condiciones para el buen desenvolvimiento de las levaduras, siendo por ello un tema clave el control de los mismos, para evitar la presencia posterior de diacetilo. Las bajas temperaturas tienden a aletargar a las levaduras.

La infección bacteriana es la 2° causa en importancia en la producción de diacetilo. Las principales bacterias responsables son los Lactobacilos y los Pediococos. Ambas bacterias producen ácido láctico, por eso cuando se percibe una nota mantecosa, con un carácter ácido, es casi seguro que la cerveza está contaminada.

Finalmente para limitar la producción de diacetilo se debe usar levaduras sanas, viables, con una tasa de inoculación adecuada, con una buena aireación u oxigenación después del enfriado. Asegurarse de una fermentación completa, controlar la temperatura de fermentación, controlar el pH del mosto frío, usar cebadas malteadas de calidad (alto contenido de nitrógeno, FAN). Rápido enfriamiento del mosto.

### **Composición del mosto.**

Una situación más difícil se presenta cuando hay una deficiencia de nutrientes en el mosto. Si fermentaciones lentas o incompletas son un problema constante, las deficiencias del mosto pueden ser la causa. En condiciones normales, el mosto tiene

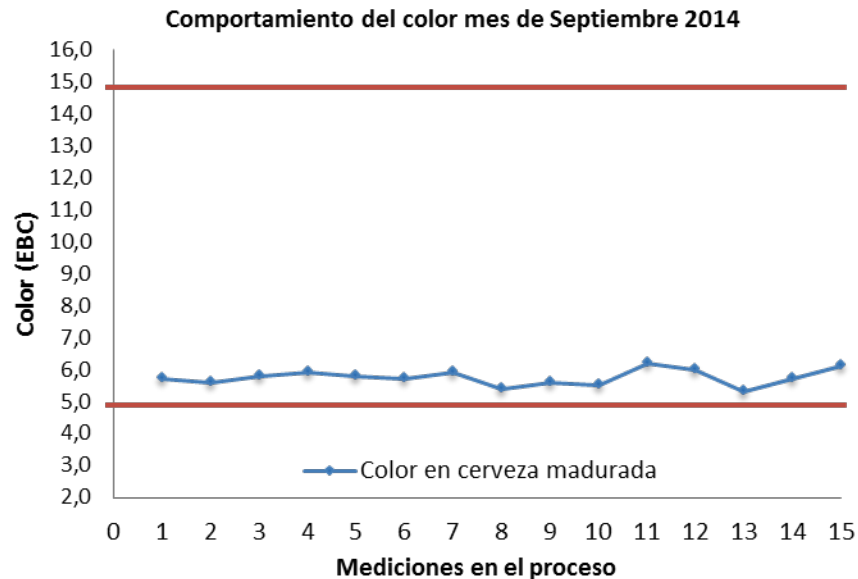
un superávit de nutrientes para el crecimiento de la levadura, pero ante un manejo inadecuado de ésta, puede aumentar la exigencia de un nutriente determinado, y el mosto puede no ser capaz de suministrarlo. Además, la composición del mosto puede verse afectada por cambios en la malta u otra materia prima y también por variaciones en algunos de los procesos elaboración del mosto, dando como resultado una deficiencia de nutrientes. Las más comunes de estas deficiencias son de oxígeno, zinc, biotina, ácidos grasos insaturados y esteroides. Como se sabe, la levadura requiere oxígeno, ácidos grasos y esteroides, requisitos que están relacionados entre sí. Por lo general, suficiente oxígeno reducirá la necesidad de ácidos grasos no saturados y de esteroides en el mosto y viceversa. La biotina es una vitamina obtenida de la malta durante la maceración y es un factor de crecimiento requerido por la mayoría de las levaduras cerveceras. Al usar altos porcentajes de adjuntos, otra posible deficiencia de nutrientes es un reducido contenido de nitrógeno en el mosto. Aminoácidos insuficientes dificultará el crecimiento adecuado de la levadura.

#### **Contenido de glucosa en el medio.**

En mostos con concentraciones altas de glucosa, en relación con los otros azúcares, se pueden dar fermentaciones incompletas consecuencia de lo que se denomina “represión de glucosa”. En este caso, la presencia de altas concentraciones de glucosa impide la levadura sintetizar la enzimas necesarias para asimilar los otros azúcares. Una afección similar puede surgir si hay una alta concentración de fructosa causando un "bloqueo de fructosa". Estas situaciones son más probables en mostos para cervezas de baja en calorías (baja en carbohidratos) porque el adjunto puede ser glucosa exclusivamente.

En la evaluación del color (figura 5) se observa que los valores estuvieron fuera de especificaciones, por encima del límite superior, y a lo largo de todo el proceso. El estudio de esta variable se hizo mediante el cálculo de variación de pendiente, su distribución normal y la correlación existente con el proceso. De los

valores obtenidos de la pendiente se toman aquellos que representan una influencia importante en la generación de acciones correctivas.



**Gráfico 5. Comportamiento del color**

Fuente: construido a partir de datos de seguimiento de una industria de fermentación alcohólica. Año 2014

En el gráfico 5 comportamiento del color, se observa que los valores estuvieron dentro de especificaciones, pero muy cercanos al límite inferior, durante de todo el proceso. El estudio de esta variable se hizo mediante el cálculo de variación de pendiente, su distribución normal y la correlación existente con el proceso. De los valores obtenidos de la pendiente se toman aquellos que representan una influencia importante en la generación de acciones correctivas.

El color se midió utilizando la técnica de espectrofotometría a 430 nm que es la longitud de onda de absorción de la cerveza y expresada en unidades de EBC (European Brewery Convention). Partiendo de la evaluación y estudio del gráfico, se estableció que con valores que presenten variaciones  $< 0,2$  EBC se despliega las

acciones preventivas, cuyos puntos asociados a la variación del color son los siguientes:

### **Inspección de la carga térmica en la elaboración de mosto.**

La maceración puede realizarse en forma isotérmica (a una temperatura fija) o bien con escalonamiento de temperatura (normalmente se comienza a temperaturas más bajas para luego ir aumentándola hasta 75 °C). De este modo se procura mantener la mezcla a las temperaturas óptimas que ocurren las reacciones que se desea favorecer (degradación de almidón, proteínas, hemicelulosas). Los efectos de la carga térmica durante el hervor y clarificación del mosto generan algunos compuestos producto de las reacciones de Mailard, como lo son los aldehídos Strecker, que son relevantes en el proceso de envejecimiento de la cerveza, productos de oxidación de ácidos grasos no saturados y otros compuestos volátiles. Una reducción de la carga térmica reduce los niveles de aldehídos Strecker, 4-vinil guayacol y de 3-metil-2-butene-1-tiol. Esta reducción de la carga térmica también afecta la calidad de la cerveza, incluyendo el color y amargor, es por esto y en consideración a la calidad, es imprescindible determinar las condiciones óptimas del hervor y clarificación del mosto. La carga térmica viene expresada por el coeficiente de ácido tiobarbitúrico (TBZ), el cual aumenta con la duración de la cocción y continúa aun durante el reposo en el Rotapool, que es en donde se clarifica el mosto a través de movimientos de fuerzas centrifugas para separar los líquidos de los sedimentos y partículas insolubles. El TBZ representa una medida indirecta de la estabilidad de sabor de la cerveza, a mayor valor peor estabilidad (Osamu, 2006, pp. 121-126).

### **Composición proteolítica.**

La proteólisis favorece el desarrollo de color durante la posterior cocción y mejora además la utilización del lúpulo, dado que es más rápida a temperaturas menores de 65 °C, en algunas maceraciones se incuba inicialmente a baja temperatura. Las maceraciones con temperaturas bajas iniciales también favorecen la

degradación de los  $\beta$ -glucanos que dan turbidez a la cerveza. A medida que el almidón se calienta en agua comienza la gelatinización que favorece el ataque de las enzimas hidrolíticas. Si bien el almidón se puede degradar en ciertos casos por debajo de su temperatura de gelatinización, su hidrólisis ocurre más rápidamente después que los gránulos se han hinchado convenientemente. A 65 °C se maximiza la conversión del almidón en azúcares simples, pero el aumento excesivo de la temperatura de maceración aumenta la tasa de desnaturalización y precipitación de proteínas (incluyendo la inactivación de las enzimas). La maceración a temperaturas finales altas (80 °C) acelera los procesos de disolución, difusión y mezclado. Esto puede maximizar la recuperación de extracto aunque su fermentabilidad puede ser baja por inactivación de enzimas.

#### **Características del color de las materias primas.**

Dependiendo de la temperatura y del tiempo de secado se obtienen diferentes cebadas malteadas, las temperaturas de secado van de los 40 a 60 °C, lo que permite que las enzimas puedan reactivarse en la etapa de maceración. A temperaturas mayores favorecen las reacciones de caramelización y tostado, la formación de pigmentos llamados melanoidinas y la síntesis de sustancias aromáticas, que originan variaciones en el color.

Finalmente continuando con la justificación de la correlación de las variables, para esta investigación no se realizó estudio con el comportamiento del nitrógeno ya que se observó que fue un parámetro controlado debido a que la materia prima presenta un valor de proteína estable originando que el proceso se mantenga dentro de especificaciones, razón por la cual no se realizó gráfico ya que no se observaron variaciones importantes y significativas que requieran la atención de este punto en el proceso.

## **Metodología de Mínima Ocurrencia de Acciones Correctivas (MOAC)**

Esta metodología se basa en las acciones preventivas, la cual fue una actividad emprendida para eliminar las causas de no conformidades potenciales. Basándonos en la norma ISO 9001 ítem 8.5 Mejora, y específicamente el 8.5.2 Acción Preventiva, se construyó una metodología que sirvió para identificar las potenciales no conformidades y sus causas. En donde se evaluó qué se puede hacer para eliminar la causa de manera que la no conformidad no se verifique más. Partiendo de esto se implementó el catálogo de acciones y se efectuó el seguimiento para asegurarse de que la medida emprendida haya sido eficaz. Este diseño también apoyó el tema de la mejora continua que es fundamental en el SGC. Basados en esta justificación se generan los diagramas de la metodología de Mínima Ocurrencia de Acciones Correctivas (MOAC) que son expresados en las figuras 7, 8 y 9 respectivamente.

Para llevar a cabo el diseño de esta metodología MOAC se tuvieron en cuenta el cumplimiento de los objetivos generales y específicos planteados en la investigación y los resultados del diagnóstico realizado inicialmente, en donde se identificaron: la finalidad, roles y el alcance de la metodología implementada los cuales se detallan a continuación.

### **Finalidad.**

La finalidad de esta metodología fue establecer mecanismos de vigilancias que permitieran tomar acciones tempranas para evitar la ocurrencia de acciones correctivas en la etapa inicial de mosto e inicio de fermentación alcohólica.

### **Roles.**

- Cerveceros: debe velar por el cumplimiento de cada uno de los parámetros establecidos en el Plan de Inspección y Ensayos (PIE) en el proceso de elaboración de mosto e inicio de fermentación alcohólica.



- Supervisor de elaboración: cuidar cada uno de los puntos críticos de control (PCC) del proceso, stock y control de insumos así como el correcto y oportuno llenado de los reportes en SAP.
- Laboratorio de calidad: responsable de las mediciones y del seguimiento de las variables del proceso: pH, color y diacetilo. Dar las alertas preventivas a los supervisores si se observen variaciones en los valores ( $\Delta$ ) establecidos.

### **Alcance.**

Esta metodología ha sido diseñada para medir los deltas en la variación en las variables del proceso estudiado pH, color y diacetilo específicamente en la etapa de elaboración de mosto e inicio de fermentación alcohólica, con el fin de tomar acciones preventivas que eviten parámetros fuera de especificaciones así como la generación de acciones correctivas.

La metodología se basó en un procedimiento estructurado que incluye: catálogo de acciones preventivas, los roles de los responsables, y los pasos a seguir producto de estas acciones para generar la decisión de empleo. Además está conformado por las variables establecidas en esta investigación: pH, diacetilo y color. Las variaciones de cada una de ellas ( $\Delta$ ) se determinaron gráficamente y fueron explicadas en el estudio de la correlación de las variables del proceso con el Sistema de Gestión de Calidad. Fundamentándonos en la teoría y evaluación del proceso, se escogieron el conjunto de acciones que presentan la mejor alternativa para garantizar la calidad final del producto.

## *pH*

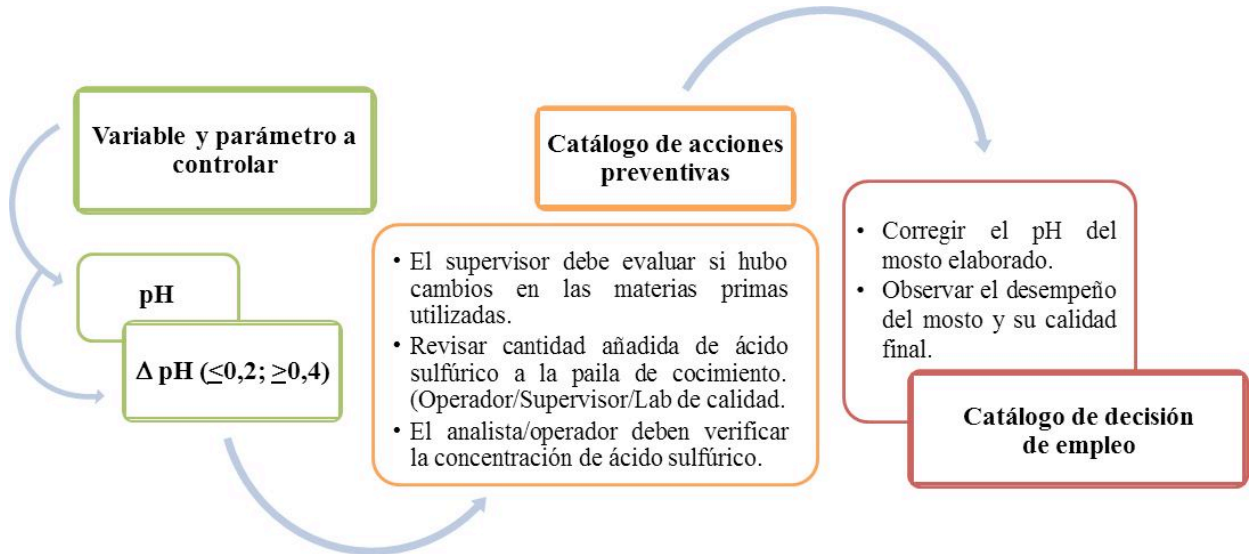


Figura 7. Catálogo de acciones para el pH

## *Diacetilo (mg/L)*

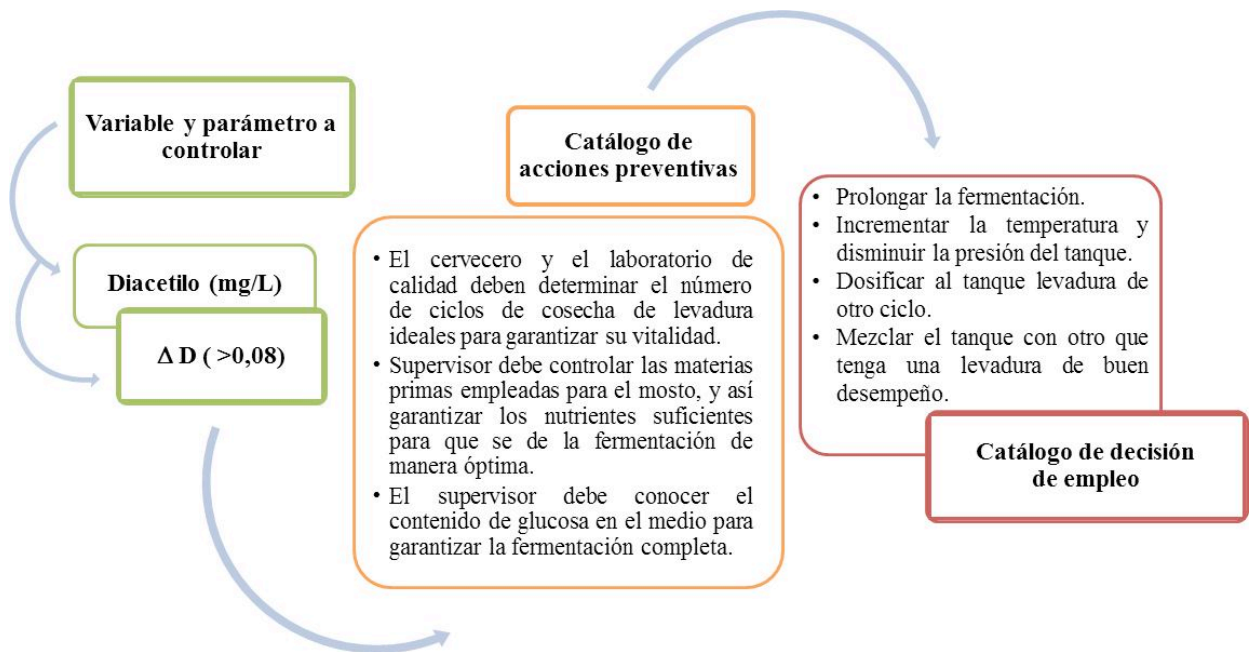


Figura 8. Catálogo de acciones para el diacetilo

### Color (EBC)

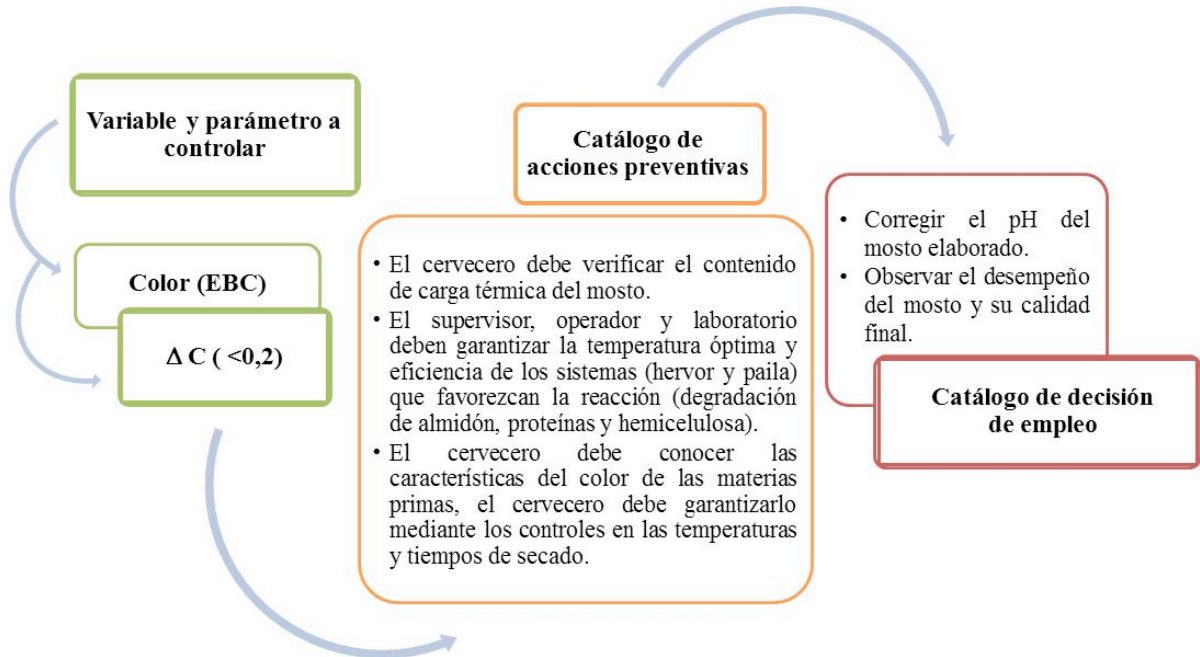


Figura 9. Catálogo de acciones para el Color

### Determinar la factibilidad de la implementación de la metodología

Después que se definió la problemática presente y establecieron las causas que ameritaron de un fortalecimiento del sistema de gestión de la calidad, se realizó un estudio de factibilidad para determinar la infraestructura tecnológica y la capacidad técnica que implicó la implantación de la metodología en cuestión, así como los costos, beneficios y el grado de aceptación. Este análisis permitió el diseño de la metodología y su puesta en marcha. Los aspectos que se tomaron en cuenta para esta investigación fueron divididos en tres áreas y se describen a continuación:

#### Factibilidad Técnica.

La factibilidad técnica consistió en realizar una evaluación de la tecnología existente en la organización, este estudio se enfocó en recolectar la información sobre

los equipos y plataforma tecnológica que posee la organización y el uso de los mismos en el desarrollo e implementación de la metodología.

De acuerdo a la tecnología existente para “Diseñar una metodología para el fortalecimiento de un sistema de gestión de la calidad basado en indicadores analíticos predictivos” se evaluó tomando en cuenta los reactivos necesarios y los equipos para los análisis.

### ***Reactivos.***

Los reactivos necesarios para hacer los análisis fueron:

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>
100g	<b>Sulfato de Potasio- Selenio:</b> MERCK. Tabletas de Kjeldahl. Según Wieninger 5g/Tableta.
1L	<b>Ácido Sulfúrico 95-97%:</b> MERCK p.a. (max. 0.005 ppm Hg) EMSURE® ACS, ISO, Reag. Ph Eur
500mL	<b>Peróxido de Hidrógeno 30%:</b> MERCK (Perhydrol®) p.a. EMSURE® ISO
1 Ampolla	<b>Hidróxido de Sodio:</b> MERCK 1 mol/l (1 N) Titripur® Reag. Ph Eur, Reag. USP
500g	<b>Ácido Bórico:</b> MERCK p.a. EMSURE® ACS, ISO, Reag. Ph Eur
4mL	<b>1,3-Dicloropropano:</b> Chem Service p.a. Purity 99,5%
1g	<b>2,3- Butanodiona:</b> Chem Service p.a. Purity 98,3%
1g	<b>2,3- Pentanodiona:</b> Chem Service p.a. Purity 97,1%
1 cil	<b>Bombona de Hidrógeno:</b> Hidrogeno UAP. Cilindro de 6 m <sup>3</sup>
1 cil	<b>Bombona de Nitrógeno:</b> Nitrógeno UAP. Cilindro de 6 m <sup>3</sup>

**Tabla 2.** Reactivos para análisis

Evaluando los reactivos existentes, la organización no requirió realizar inversión inicial para la adquisición de los mismos, ya que estos fueron suficientes para satisfacer los requerimientos establecidos para el desarrollo y puesta en marcha de la metodología diseñada.

En el laboratorio de análisis se utilizaron reactivos de calidad analítica que se producen comercialmente con un alto grado de pureza. En las etiquetas de los frascos

se relacionan los límites máximos de impurezas permitidas por las especificaciones para la calidad del reactivo o los resultados del análisis para las distintas impurezas.

***Equipos de análisis.***

En cuanto a los equipos de análisis la organización contó con toda la tecnología necesaria para realizar el diseño de la metodología, por lo que no se requirió inversión alguna para la adquisición de los mismos. La tecnología empleada fue de las más actualizadas existentes en el mercado.

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>
1	Kjeldahl Büchi AutoKjeldahl Unit K-370.
1	Cromatógrafo de Gases Thermo Scientific. Trace GC ULTRA Tri PLUS.
1	Espectrofotómetro Agilent 8453, 845x UV Visible System.
1	pHmetro Thermo Electron Corporation. ORION 3 STAR.
1	Balanza analítica Sartorius CP324 S.

**Tabla 3.** Equipos para análisis

Con el resultado de este estudio técnico se determinó que la organización contó con la tecnología necesaria para el desarrollo de la metodología propuesta.

**Factibilidad económica.**

A continuación se presenta el estudio que dio como resultado la factibilidad económica de la metodología diseñada.

***Costos Generales.***

Los costos generales estuvieron relacionados directamente con los gastos necesarios en accesorios, mantenimiento de los equipos, material de laboratorio e inversión en reactivos químicos necesarios para llevar a cabo los análisis.

<b>Precios</b>	<b>Descripción</b>
10571,4Bs/1000 Tabletas	<b>Sulfato de Potasio- Selenio:</b> MERCK. Tabletas de Kjeldahl. Según Wieninger 5g/Tableta.

423,98Bs/L	<b>Ácido Sulfúrico 95-97%:</b> MERCK p.a. (max. 0.005 ppm Hg) EMSURE® ACS, ISO, Reag. Ph Eur
812,48 Bs/L	<b>Peróxido de Hidrógeno 30%:</b> MERCK (Perhydrol®) p.a. EMSURE® ISO
5253,11 Bs/kg	<b>Hidróxido de Sodio:</b> MERCK 1 mol/l (1 N) Titripur® Reag. Ph Eur, Reag. USP
579,99 Bs/kg	<b>Ácido Bórico:</b> MERCK p.a. EMSURE® ACS, ISO, Reag. Ph Eur
103268,0 Bs/kg	<b>1,3-Dicloropropano:</b> Chem Service p.a. Purity 99,5%
104587,5 Bs/5mL	<b>2,3- Butanodiona:</b> Chem Service p.a. Purity 98,3%
101520,0 Bs/5mL	<b>2,3- Pentanodiona:</b> Chem Service p.a. Purity 97,1%
6000 BS/Cilindro	<b>Bombona de Hidrógeno:</b> Hidrogeno UAP. Cilindro de 6 m <sup>3</sup>
5610 Bs/Cilindro	<b>Bombona de Nitrógeno:</b> Nitrógeno UAP. Cilindro de 6 m <sup>3</sup>
572,4 Bs/L	<b>Buffer pH 7</b> Merck
579,47 Bs/L	<b>Buffer pH 4</b> Merck
9,62 Bs/df	Discos de filtración
150US\$/hora	Mantenimiento del Cromatógrafo de Gases Thermo

**Tabla 4.** Costos generales para análisis y mantenimiento de equipos

***Costos por análisis.***

Los costos por análisis estuvieron relacionados con la inversión para cada análisis. En las tablas 5, 6, 7 y 8 se presentan los detalles de las inversiones por conceptos de análisis de pH, color, diacetilo y nitrógeno. Su estimación está determinada en base a las horas hombres (h/h) invertidas en los estudios.

***pH.***

pH		
Cantidad	Bs	h/h invertidas (min)
25 mL Buffer pH7	14,310	10
25 mL Buffer pH4	14,487	
<b>Total de costo</b>	28,797	

**Tabla 5.** Costos para análisis de pH

***Nitrógeno.***

<b>Nitrógeno</b>		
<b>Cantidad</b>	<b>Bs</b>	<b>h/h invertidas (min)</b>
1 pastilla K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> -Se	10,571	30
10 mL H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Conc	4,240	
10 mL H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	8,125	
50 mL Ácido Bórico	0,609	
50 mL NaOH	86,676	
15 mL H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,1N	0,068	
<b>Total de costo</b>	110,289	

**Tabla 6.** Costos para análisis de Nitrógeno

***Color.***

<b>Color</b>		
<b>Cantidad</b>	<b>Bs</b>	<b>h/h invertidas (min)</b>
1 Disco	9,620	10
<b>Total de costo</b>	9,620	

**Tabla 7.** Costos para análisis de Color

***Diacetilo.***

<b>Diacetilo</b>		
<b>Cantidad</b>	<b>Bs</b>	<b>h/h invertidas (min)</b>
100 mL 1,3-Dicloropropano	0,103268	30
100 mL 2,3- Butanodiona	0,1045875	
100 mL 2,3- Pentanodiona	40811,04	
<b>Total de costo</b>	40811,25	

**Tabla 8.** Costos para análisis de Diacetilo

### **Factibilidad operacional.**

Desde el punto de vista operativo, el impacto de esta nueva metodología de fortalecimiento del sistema de gestión de la calidad basado en indicadores analíticos predictivos del deterioro de productos del proceso de elaboración de mosto e inicio de fermentación alcohólica fue positivo y sin grandes trabas debido a los siguientes aspectos:

En primera instancia, la idea surge de una necesidad detectada en el proceso. Por lo que, éste sistema se enfoca a resolver un problema específico partiendo de mejoras y ajustes sin modificaciones en el proceso. Adicionalmente se cuenta con el respaldo e interés de la organización en darle uso con la finalidad de reducir la problemática planteada disminución de acciones correctivas.

Por otro lado, la implementación de la metodología (MOAC) no representa un cambio radical en los análisis, y frecuencias de los mismos, que se llevan a cabo durante la producción de la bebida. La metodología presentó parámetros bien definidos, roles y alcance en donde sólo se requirió de la divulgación entre los involucrados del proceso para realizar los nuevos ajustes. Es importante destacar que estos son conceptos con los que los trabajadores del área están familiarizados debido a las funciones que realizan diariamente.



## CAPÍTULO V

### Conclusiones y Recomendaciones

#### Conclusiones

Se diagnosticaron las variables del proceso de “elaboración de mosto e inicio de fermentación alcohólica” y se explicaron cada una de las fases y la interrelación que existe entre ellas, y su influencia proceso.

Se realizó la correlación de las variables del proceso que generaban las acciones correctivas y las posibles causas. Estas se representaron gráficamente y se establecieron los valores en los cuales el sistema presentaba desviaciones, con el fin de obtener las acciones preventivas a considerar.

El estudio de las variables se hizo mediante el cálculo de variación de pendiente, su distribución normal y la correlación existente con el proceso. De los valores obtenidos de la pendiente se tomaron aquellos que representaban una influencia importante en la generación de acciones correctivas:

- pH una variación  $\leq 0,2$  y  $\geq 0,4$  origina que los valores estén fuera de especificaciones.
- Diacetilo con valores  $\geq 0,08$  originan desviaciones de resultados.
- Color con variaciones  $< 0,2$  EBC origina despliega las acciones preventivas.

El nitrógeno fue un parámetro controlado, que no requirió de estudio ya que debido a la estabilidad en sus valores de proteínas origina que el proceso se mantenga dentro de especificaciones.

Se hizo el estudio de la factibilidad de implementación de la metodología y se determinó que la organización no requirió realizar inversión inicial para la adquisición de equipos y material de laboratorio, ya que fueron suficientes para

satisfacer los requerimientos establecidos para el desarrollo y puesta en marcha de la metodología diseñada.

En cuanto a los equipos de análisis la organización contó con la tecnología más actualizada del mercado y necesaria para el desarrollo de la metodología propuesta.

Los costos generales estuvieron relacionados directamente con los gastos necesarios en accesorios, mantenimiento de los equipos, material de laboratorio e inversión en reactivos químicos necesarios para llevar a cabo los análisis. Los mismos fueron presupuestados en agosto de 2015, es importante destacar que estos pueden variar según inflación.

Se estableció la Metodología de Mínima Ocurrencia de Acciones Correctivas (MOAC) teniendo en cuenta el cumplimiento de los objetivos generales y específicos planteados en la investigación y los resultados del diagnóstico realizado inicialmente identificando la finalidad, roles y el alcance de la metodología implementada.

Se creó el catálogo de acciones preventivas y catálogo de decisión de empleo para cada uno de los parámetros estudiados en esta investigación excepto para el nitrógeno que no fue necesario debido a su estabilidad en el proceso.

### **Recomendaciones**

Se diseñó la metodología de Mínima Ocurrencias de Acciones Correctivas (MOAC), se recomienda hacer pruebas de verificación de este diseño y seguimiento de cada uno de los parámetros para evitar la generación de acciones correctivas.

Se comprobó que el diseño de la metodología es factible a nivel técnico, económico y operacional, se recomienda a la Gerencia de Elaboración llevarlo a discusión con los Gerentes Corporativos y Maestros Cerveceros para la aprobación del mismo, para que se pueda llevar a cabo la ejecución del proyecto.

## Referencias

- Acree, T. (1993a). Bioassays for flavor. *Flavor Science Sensible principles and techniques*. ACS Professional Reference Book, American Chemical Society, Washington DC, pp 1-20.
- Acree, T. (1993b). Gas Chromatography-Olfactometry, en Flavor Measurement. *IFT Basic Symposium Series*. Institute of Food Technologist, Marcel Dekker, INC, New York, pp 77-94.
- Arias, F. (2006). *El proyecto de Investigación: Introducción a la Metodología Científica* (5ta Edición). Caracas: Episteme.
- Arismendy, C., Fernow E., Roccasalva R. (2002). *Formulación de un plan de fortalecimiento de la función de aseguramiento de calidad en una industria cervecera*. (Trabajo de Grado no publicado). Universidad Simón Bolívar. Caracas, Venezuela.
- Atkinson, B. (1991). Biochemical Engineering and Biotechnology Handbook. *Chemical & Industry*, pp 304-307.
- Back, W., Forster, C., Krottenhaller, M., Sacher, B., Lehmann, J., Thom, B. (1998). *Nuevos conocimientos sobre el mejoramiento de la estabilidad del sabor*. Brauwelt en español. Informes técnicos. 92-104.
- Balestrini, M. (2006). *Cómo se elabora el proyecto de investigación* (7ª ed.). Caracas: Consultores Asociados OBL.
- Belitz, H.; Grosch, W. (1986). *Food Chemistry*. Berlín: Springer-Verlag. Pp. 276-301, 824-829.
- Beltrán, J. (2008). *Indicadores de Gestión* (3era Edición). Bogotá: 3R Editores.
- Blank, I. (1997). Gas Chromatography- Olfactometry in food aroma analysis. *Techniques for analyzing food aroma*. Marcel Dekker. pp. 293-330.
- Briggs, D., Hough, J., Stevens, R., Young, T. (1981). *Malting and Brewing Sciences*. London. Chapman & Hall, pp 1-14.
- Broderick, H. (1977). *The Practical Brewer. A Manual for the Brewing Industry*, Master Brewers Association of the Americas, Madison, Wisconsin, pp 326.

- Canelón, L. (2011). *Sistema en línea de indicadores de calidad y evaluación fisicoquímica de la cebada malteada para la elaboración de la cerveza. Caso Cervecería Polar, C.A.* (Trabajo de Grado no publicado), Universidad de Nueva Esparta. Caracas, Venezuela.
- Dalgliesh, C. E. (1977). *Proc. Eur. Brew. Conv.* Amsterdam, pp 623-658.
- De Clerck, J. (1957). *A textbook of Brewing*. London: Vols. 1 y 2. Chapman & Hall, pp 143.
- Hardwick, W. (1995) *Handbook of Brewing*. Marcel Dekker Inc. New York. Capítulo 12, pp 224.
- Hashimoto, N., Koike, K. (1971). Mechanism of browning during brewing. *Rept. Res. Lab. Kirin Brewery Co., Ltd.* 14, pp 1-12.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2007). *Metodología de la Investigación*. México: McGraw Hill Interamericana, pp 705.
- Hough, J.S. (1991). *The biotechnology of malting and brewing*. Cambridge University press London: Capítulo 1, pp 1-10.
- Hurtado, E. (2012). *Reingeniería del sistema de limpieza y agitación de las cubas de fermentación de una planta de fabricación de bebidas alcohólicas*. (Trabajo de Grado no publicado). Universidad Católica Andrés Bello. Caracas, Venezuela.
- Hurtado de Barrera, J. (2008). *El proyecto de investigación*. (6a. e.). Caracas: pp 47.
- Instructivo llenadora de botellas (2012). Empresas Polar C.A, Venezuela.
- Kaneda, H., Kobayashi, N., Furusho, S., Sahara, H., Koshino, S. (1995). Reducing activity and flavour stability of beer. *MBBA Technical Quarterly*. Vol. 32, pp 76-80.
- Kunze, W. (1996). *Technology brewing and malting*. Séptima Edición. Editorial VLB Berlín, Verlagsabteilung. Germany. 726 p.
- Lermusieau, G., Bulens, M., Collin, S. (2001). Use of GC-Olfactometry to identify the hop aromatic compounds in beer. *J. Agric. Food Chem.*, 49 (8), 3867-3874.
- Meilgaard, M. (1982). Prediction of differences between Beers from their chemical composition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 30:1009-1017.

- Meilgaard, M. (1991) The flavour of Beer. *M.B.A.A. Tech. Quart.* 28: 132-141.
- Miedl, M., Rogers, P., Geoff, L., Clarke, F., Graham, S. (2011). The Peroxide Challenge Test: A Novel Method for Holistic Near-Real Time Measurement of Beer Flavour Stability. *J. Inst. Brew.* 117(2), 166 –175.
- Mikyška, A., Hrabák, M., Hašková, D., Šrogl, J. (2002). The Role of Malt and Hop Polyphenols in Beer Quality, Flavour and Haze. *J. Inst. Brew.* 108(1): 78–85.
- Moir, M. (1992). The desideratum for flavour control. *Journal of the Inst. of Brew.* 98:215-220.
- Narziss, L., Miedaner, H., Graf, H., Eischhorn, P., Lustig, S. (1993). Technological approach to improve flavour stability. *M.B.A.A. Techn. Quart.* 30:48-53.
- Osamu, O., Takeo, I., Yukata, O., Motoo, O., (2006). Influence of Wort Boiling and Wort Clarification Conditions on Aging-Relevant Carbonyl Compounds in Beer. *M.B.A.A. Techn. Quart.* 43:121-126.
- Oshita, K., Kubota, M., Uchida, M., Ono, M. (1995). Clarification of the relationship between fusel alcohol formation and aminoacid assimilation by yeast using <sup>13</sup>C-labeled aminoacid. *Proc. Eur. Brew. Congr.* 387-394.
- Pájaro J. (2012). *Mejoramiento de la metodología de preparación de muestras homogéneas y estables para estudios interlaboratorios del método de medición de oxígeno en cerveza.* (Trabajo de Grado no publicado), Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.
- Sánchez, N., Lederer, C., Nickerson, G., Libbey, L., McDaniel, M. (1992). *Sensory and analytical evaluation of beers brewed with three varieties of hops and unhopped beer.* Food Science and human nutrition. Amsterdam: Elsevier Publisher, pp 403-426.
- Tamayo, M. (2005). Metodología Formal de la Investigación científica. D.F, México: Limusa S.A, pp 45-50.
- Turín, L. (1996). A spectroscopic mechanism for primary olfactory reception. *Chemical Senses.* 21: 773-791.
- Tressl, R., Bahri, D., Kossa, M. (1980). Formation of Off Flavor in Beer. *The Analysis and Control of Less Desirable Flavors in Food and Beverages.* Academic Press, pp 293-318.

- Universidad Pedagógica Experimental Libertador (2006). Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales. (4a. e.). Caracas: FEDEUPEL, pp 11-12.
- Vanderhaegen, B., Neven, H., Verachert, H. (2005). The chemistry of beer aging – a critical review. *Centre for Malting and Brewing Science, Katholieke Universiteit Leuven*. Heverlee, Belgium Kasteelpark Arenberg 22, B-3001.
- Van Toller, S. (1993). The psychology and neuropsychology of flavor. *Flavor Measurement*. IFT Basic Symposium Series, Institute of Food Technologist, Marcel Dekker, INC, New York, pp 199-218.
- Viro, M. (1983). Volatile N-heterocyclic aroma compounds from wort. *Proc. Eur. Brew. Conv. Congr.* Pp. 565-569.

## **Anexos**

## Anexo "A"

Valores de pH y cálculo de distribución normal

Cerveza Madurada	pH	Valores absolutos de la pendiente de la curva (x)	Distribución Normal (Z)
1	4,030	0,020	0,396
2	4,050	0,000	0,613
3	4,050	0,020	0,396
4	4,070	0,000	0,613
5	4,070	0,000	0,613
6	4,070	0,050	0,070
7	4,020	0,040	0,178
8	4,060	0,030	0,287
9	4,030	0,020	0,396
10	4,010	0,280	2,429
11	4,290	0,000	0,613
12	4,290	0,260	2,212
13	4,030	0,040	0,178
14	4,070	0,030	0,287
15	4,040		

<b>Promedio (X)</b>	0,056
<b>DESVEST (S)</b>	0,0920
<b>Límite inferior de pH</b>	4,10
<b>Límite superior de pH</b>	4,60

$$Z = \frac{x - X}{S}$$

La variación que originaron valores de pH fuera de especificaciones fueron  $\leq 0,2$  y  $\geq 0,4$ .



## Anexo “B”

Valores de diacetilo y cálculo de distribución normal

Cerveza Madurada	Diacetilo (mg/L)	Valores absolutos de la pediente de la curva (x)	Distribución Normal (Z)
1	0,1600	0,170	1,02
2	0,3300	0,060	0,41
3	0,2700	0,060	0,41
4	0,3300	0,060	0,41
5	0,3900	0,150	0,76
6	0,2400	0,110	0,24
7	0,1300	0,050	0,54
8	0,1800	0,000	1,19
9	0,1800	0,060	0,41
10	0,1200	0,240	1,93
11	0,3600	0,020	0,93
12	0,3800	0,230	1,80
13	0,1500	0,020	0,93
14	0,1700	0,050	0,54
15	0,1200		

<b>Promedio (X)</b>	0,091
<b>DESVEST (S)</b>	0,0770

<b>Límite inferior de pH</b>	0,00
<b>Límite superior de pH</b>	0,12

$$Z = \frac{x - X}{S}$$

Valores  $\geq 0,08$  mg/L originan desviaciones de resultados.

## Anexo “C”

### Valores de color y cálculo de distribución normal

Cerveza Madurada	Color (EBC)	Valores absolutos de la pediente de la curva (x)	Distribución Normal (Z)
1	5,7	0,100	0,85
2	5,6	0,200	0,39
3	5,8	0,100	0,85
4	5,9	0,100	0,85
5	5,8	0,100	0,85
6	5,7	0,200	0,39
7	5,9	0,500	0,98
8	5,4	0,200	0,39
9	5,6	0,100	0,85
10	5,5	0,700	1,90
11	6,2	0,200	0,39
12	6,0	0,700	1,90
13	5,3	0,400	0,52
14	5,7	0,400	0,52
15	6,1		

<b>Promedio (X)</b>	0,286
<b>DESVEST (S)</b>	0,2179

<b>Límite inferior de pH</b>	5
<b>Límite superior de pH</b>	15

$$Z = \frac{x - X}{S}$$

Valores que presenten variaciones < 0,2 EBC originan desviaciones de resultados.