



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**IMPLANTACIÓN DEL CICLO DE MEJORA CONTINUA Y USO DE  
HERRAMIENTAS DE GESTIÓN PARA EL ANÁLISIS DE VARIABLES EN EL  
PROCESO DE ELABORACIÓN DE CERVEZA. ENFOQUE EN EL CONTROL  
DE LOS NIVELES DE AMARGOR COMO CASO DE ESTUDIO**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

**INGENIERA QUÍMICA**

**PRESENTA**

**MARIANA VARGAS GUERRA**

**DIRECTOR DE TESIS**

**DR. JOSÉ MARIANO GARCÍA GARIBAY**



**Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2017**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **JURADO ASIGNADO:**

**PRESIDENTE:**           **Profesor: JOSÉ MARIANO GARCÍA GARIBAY**

**VOCAL:**               **Profesor: JOSÉ LANDEROS VALDEPEÑA**

**SECRETARIO:**       **Profesor: RAFAEL CARLOS MARFIL RIVERA**

**1er. SUPLENTE:**      **Profesor: ARTURO ENRÍQUEZ PEÑA**

**2° SUPLENTE:**       **Profesor: CARLOS ALBERTO ALMANZA RODRÍGUEZ**

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA: GRUPO MODELO, S. DE R.L. DE C.V.**

**11520, LAGO ALBERTO 156, GRANADA,  
CIUDAD DE MÉXICO**

**ASESOR DEL TEMA:**

**DR. JOSÉ MARIANO GARCÍA GARIBAY**

**SUPERVISOR TÉCNICO:**

**ING. NICOLÁS MIRÓN GONZÁLEZ**

**SUSTENTANTE:**

**MARIANA VARGAS GUERRA**

# ÍNDICE

<b>ÍNDICE TABLAS .....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE FIGURAS .....</b>	<b>7</b>
<b>ÍNDICE GRÁFICOS .....</b>	<b>8</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>10</b>
<b>IMPORTANCIA DE LA INDUSTRIA CERVECERA Y CALIDAD EN EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE CERVEZA .....</b>	<b>10</b>
COMPONENTES DEL CONTROL DE CALIDAD .....	11
APLICACIÓN DEL CICLO DE MEJORA CONTINUA: .....	12
<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>14</b>
<b>HIPÓTESIS DEL TRABAJO .....</b>	<b>14</b>
<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>16</b>
<b>CERVEZA Y SU PROCESO DE ELABORACIÓN .....</b>	<b>16</b>
MATERIAS PRIMAS .....	16
PROCESO DE ELABORACIÓN .....	24
TIPOS DE CERVEZA.....	41
<b>CALIDAD Y MEJORA CONTINUA APLICADOS AL PROCESO DE ELABORACIÓN DE CERVEZA .....</b>	<b>43</b>
EL CICLO DE DEMING Y SU APLICACIÓN COMO PARTE DEL SISTEMA DE MEJORA CONTINUA.....	46
<b>EL INDICADOR FISCOQUÍMICO COMO UN PILAR DEL CONTROL DE CALIDAD EN EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE CERVEZA. ....</b>	<b>49</b>
ESTUDIO Y ANÁLISIS.....	49
<b>PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL .....</b>	<b>65</b>
<b>PASO “PLAN” DEL CICLO PDCA .....</b>	<b>66</b>
IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA .....	66

OBSERVACIÓN .....	70
PROCESO DE ANÁLISIS .....	91
PLAN DE ACCIÓN .....	125
<b>PASO “DO” DEL CICLO PDCA.....</b>	<b>131</b>
HACER.....	131
<b><u>RESULTADOS .....</u></b>	<b><u>144</u></b>
<b>PASO “CHECK” DEL CICLO PDCA.....</b>	<b>144</b>
VERIFICAR .....	144
ANÁLISIS DE DESVIACIÓN.....	161
PRUEBA DE HIPÓTESIS COMO COMPLEMENTO AL PASO “CHECK” DEL CICLO PDCA.....	163
<b><u>DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</u></b>	<b><u>169</u></b>
<b>PASO “ACT” DEL CICLO PDCA.....</b>	<b>169</b>
ESTANDARIZACIÓN .....	169
CONCLUSIONES .....	172
<b><u>BIBLIOGRAFÍA .....</u></b>	<b><u>176</u></b>
<b><u>APÉNDICE.....</u></b>	<b><u>179</u></b>
<b>APÉNDICE A. EL LÚPULO, COMPONENTES, CUIDADOS Y PRODUCTOS DERIVADOS.....</b>	<b>179</b>
COMPONENTES PRINCIPALES .....	179
<b>APÉNDICE B. CARACTERÍSTICAS DE LAS LEVADURAS DE FERMENTACIÓN ALE Y LAGER .....</b>	<b>187</b>
CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS.....	187
CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS .....	187
CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DURANTE LA FERMENTACIÓN .....	189
<b>APÉNDICE C. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA FERMENTACIÓN .....</b>	<b>190</b>
<b><u>GLOSARIO DE ABREVIATURAS .....</u></b>	<b><u>192</u></b>

## Índice Tablas

<i>Tabla 1. Rangos para las variables del sub-indicador fisicoquímico en el área de elaboración.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 2. Resultados objetivo del indicador fisicoquímico y sus sub-indicadores... </i>	<i>64</i>
<i>Tabla 3. Resultados del indicador fisicoquímico de enero a junio de 2015. ....</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 4. Promedio acumulado del indicador fisicoquímico de enero a junio de 2015 .....</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 5. Cantidad de datos fuera de rango en las diferentes etapas del área de elaboración en enero 2015.....</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 6. Etapas ordenadas por número descendente de mediciones fuera de rango, frecuencias relativas y frecuencia acumulada en el mes de enero de 2015.....</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 7. Análisis de casos fuera de rango de las variables en filtración, enero 2015 .....</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 8. Análisis de las variables en filtración, febrero 2015.....</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 9. Análisis de las variables en filtración, marzo 2015 .....</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 10. Análisis de las variables en filtración, abril 2015 .....</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 11. Análisis de las variables en filtración, mayo 2015 .....</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 12. Análisis de las variables en filtración, junio 2015 .....</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 13. Análisis de las variables en fermentación, enero 2015.....</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 14. Análisis de las variables en fermentación, febrero 2015 .....</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 15. Análisis de las variables en fermentación, marzo 2015.....</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 16. Análisis de las variables en fermentación, abril 2015.....</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 17. Análisis de las variables en fermentación, mayo 2015.....</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 18. Análisis de las variables en fermentación, junio 2015.....</i>	<i>90</i>
<i>Tabla 19. Resumen de los resultados mensuales de las unidades de amargor enero-junio 2015 .....</i>	<i>94</i>
<i>Tabla 20. Criterios para priorización de las causas raíz.....</i>	<i>119</i>

<i>Tabla 21. Priorización de las causas raíz en fermentación .....</i>	<i>120</i>
<i>Tabla 22. Priorización de las causas raíz en gobierno .....</i>	<i>123</i>
<i>Tabla 23. Plan de acción para las condiciones y métodos de operación .....</i>	<i>127</i>
<i>Tabla 24. Plan de acción para los remanentes de IBU en ollas .....</i>	<i>127</i>
<i>Tabla 25. Plan de acción para Cuartos Fríos .....</i>	<i>130</i>
<i>Tabla 26. Revisión de las condiciones y métodos de operación de lúpulo y unidades de amargor .....</i>	<i>134</i>
<i>Tabla 27. Plan de acción emergente para el monitoreo de recuperación de cerveza .....</i>	<i>136</i>
<i>Tabla 28. Análisis de la cantidad de cerveza recuperada de fermentación a reposo .....</i>	<i>137</i>
<i>Tabla 29. Avance del plan de acción de las condiciones y métodos de operación .....</i>	<i>139</i>
<i>Tabla 30. Pruebas de residuos de IBU en condensados de ollas .....</i>	<i>140</i>
<i>Tabla 31. Avance del plan de acción en reposo, filtración y gobierno.....</i>	<i>141</i>
<i>Tabla 32. Resumen de los resultados mensuales de las unidades de amargor enero-diciembre 2015 .....</i>	<i>152</i>
<i>Tabla 33. Análisis de casos fuera de rango de las variables en filtración, julio 2015 .....</i>	<i>155</i>
<i>Tabla 34. Análisis de casos fuera de rango de las variables en filtración, agosto 2015.....</i>	<i>156</i>
<i>Tabla 35. Análisis de casos fuera de rango de las variables en filtración, septiembre 2015 .....</i>	<i>157</i>
<i>Tabla 36. Análisis de casos fuera de rango de las variables en filtración, octubre 2015.....</i>	<i>158</i>
<i>Tabla 37. Análisis de casos fuera de rango de las variables en filtración, noviembre 2015.....</i>	<i>159</i>
<i>Tabla 38. Análisis de casos fuera de rango de las variables en filtración, diciembre 2015.....</i>	<i>160</i>
<i>Tabla 39. Resultados del indicador fisicoquímico de julio a Diciembre 2015 .....</i>	<i>161</i>

<i>Tabla 40. Promedio acumulado del indicador fisicoquímico de julio a diciembre 2015.....</i>	<i>162</i>
<i>Tabla 41. Proporción de mediciones no aceptables en gobierno.....</i>	<i>164</i>
<i>Tabla 42. Variables muestrales de las mediciones en fermentación.....</i>	<i>166</i>

## **Índice Figuras**

<i>Figura 1. Resumen de las etapas del proceso de elaboración de cerveza .....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 2. Actividades de la Etapa 1. Casa de cocimientos.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 3. Pasos del Ciclo PDCA.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 4. Ejemplo del Diagrama de Ishikawa .....</i>	<i>105</i>
<i>Figura 5. Diagrama de Ishikawa para las unidades de amargor fuera de rango en fermentación .....</i>	<i>109</i>
<i>Figura 6. Diagrama de Ishikawa para las unidades de amargor fuera de rango en tanques de cerveza antes de envasar .....</i>	<i>115</i>

## Índice Gráficos

Gráfico 1. Resultados del indicador fisicoquímico de enero a junio de 2015. ....	68
Gráfico 2. Promedio acumulado del indicador fisicoquímico de enero a junio de 2015. ....	69
Gráfico 3. Diagrama de Pareto para las etapas de elaboración, enero 2015.....	74
Gráfico 4. Análisis de casos fuera de rango de las variables en filtración, enero 2015.....	76
Gráfico 5. Diagrama de Pareto – filtración, febrero 2015.....	77
Gráfico 6. Diagrama de Pareto - filtración, marzo 2015.....	78
Gráfico 7. Diagrama de Pareto - filtración, abril 2015.....	79
Gráfico 8. Diagrama de Pareto - filtración, mayo 2015.....	80
Gráfico 9. Diagrama de Pareto - filtración, junio 2015.....	81
Gráfico 10. Diagrama de Pareto – fermentación, enero 2015.....	85
Gráfico 11. Diagrama de Pareto - fermentación, febrero 2015.....	86
Gráfico 12. Diagrama de Pareto - fermentación, marzo 2015.....	87
Gráfico 13. Diagrama de Pareto - fermentación, abril 2015.....	88
Gráfico 14. Diagrama de Pareto - fermentación, mayo 2015.....	89
Gráfico 15. Diagrama de Pareto - fermentación, junio 2015.....	90
Gráfico 16. Fracción de mediciones de IBU no aceptables en gobierno.....	96
Gráfico 17. Historial IBU en fermentación enero-junio 2015.....	98
Gráfico 18. Medidas individuales de IBU en fermentación.....	101
Gráfico 19. Rangos móviles de IBU en fermentación.....	101
Gráfico 20. Análisis de adiciones de cerveza en reposo.....	138
Gráfico 21. Avance del plan de acción de las condiciones y métodos de operación.....	139
Gráfico 22. Avance del plan de acción en Cuartos Fríos.....	141

Gráfico 23. Seguimiento de los niveles de amargor .....	145
Gráfico 24. Historial IBU en fermentación julio-octubre 2015.....	147
Gráfico 25. Medidas individuales de IBU de enero a octubre 2015.....	148
Gráfico 26. Rangos móviles de IBU enero a octubre 2015 .....	149
Gráfico 27. Porcentaje de mediciones de IBU no aceptables durante el 2015....	153
Gráfico 28. Análisis de casos fuera de rango de las variables de filtración, julio 2015.....	155
Gráfico 29. Análisis de casos fuera de rango de las variables en filtración, agosto 2015.....	156
Gráfico 30. Análisis de casos fuera de rango de las variables en filtración, septiembre 2015 .....	157
Gráfico 31. Análisis de casos fuera de rango de las variables en filtración, octubre 2015.....	158
Gráfico 32. Análisis de casos fuera de rango de las variables en filtración, noviembre 2015 .....	159
Gráfico 33. Análisis de casos fuera de rango de las variables en filtración, diciembre 2015.....	160
Gráfico 34. Resultados del indicador fisicoquímico en 2015.....	161
Gráfico 35. Promedio acumulado del indicador fisicoquímico en 2015 .....	162

# INTRODUCCIÓN

## Importancia de la industria cervecera y calidad en el proceso de elaboración de cerveza

Actualmente, las marcas de cerveza mexicana son las que mayor crecimiento tienen en el mercado internacional. México es de los principales exportadores de cerveza en el mundo, con presencia en más de 180 países, y ocupa el 6to lugar en producción; además, a nivel nacional, la industria genera más de 55 mil empleos directos y 2.5 millones de empleos indirectos.<sup>1</sup>

Debido a esto, es necesario para las compañías cerveceras nacionales aumentar y mantener su competitividad frente a otras en el mercado. Para lograrlo, se deben aplicar y estandarizar diferentes elementos clave de aumento y mejora del control de calidad que existe en los procesos involucrados, y no sólo en el producto mismo.

El proceso de elaboración de cerveza es una de las partes más importantes del negocio, y debe perfeccionarse en cada uno de sus niveles para alcanzar la máxima eficiencia operativa. Por esto, el presente caso de estudio se enfoca en el proceso, desde el cocimiento de la malta y los adjuntos, hasta la obtención de cerveza lista para envasar.

---

<sup>1</sup> Consejo de Investigación sobre Salud y Cerveza de México, A.C.

<http://saludycerveza.com/la-cerveza-en-mexico/elkjhgbkeirgori/>

(septiembre 30, 2017)

La calidad en el proceso de elaboración de cerveza no se define únicamente con la obtención de producto que cumpla con los estándares establecidos y con las expectativas del consumidor, también se determina a partir del cumplimiento de diferentes estándares aplicables a las condiciones fisicoquímicas de los productos intermedios, a la cantidad de agentes patógenos presentes y a las características sensoriales correspondientes a cada tipo de cerveza, con el fin de que el lote pueda proceder al envasado. El control de dichos estándares es primordial.

### Componentes del control de calidad

Como parte del control de calidad necesario en la producción de cerveza, existen diferentes indicadores de desempeño que permiten medir, monitorear y evaluar la ejecución del proceso y sus resultados. Éstos se conocen también como indicadores de calidad o indicadores de gestión, y su seguimiento facilita la reducción de la variabilidad de los productos con respecto a las características deseadas.

El valor numérico mensual que resulta de estos indicadores puede interpretarse de diferentes formas dependiendo del rango de resultados que se busque para cada uno, y de su respectiva naturaleza; de ésta dependen la estructura y la forma en que se calculan.

Los indicadores relativos a la elaboración de cerveza permiten evaluar las variables relacionadas con las características fisicoquímicas de los productos intermedios y con los aspectos microbiológicos respectivos, por mencionar algunos ejemplos.

Gracias al seguimiento periódico de los indicadores, se pueden detectar de forma oportuna variables que no estén siendo favorecidas, así como variables que están dentro de rango y que podrían presentar mejoras en el futuro.

El identificar estas variables es el primer paso para lograr una mejora general en el control de calidad y en las condiciones del proceso y de la producción. Posteriormente se deben puntualizar las situaciones o causas raíz que no son favorables con relación a estas variables, y realizar las modificaciones necesarias para obtener los resultados deseados.

#### Aplicación del Ciclo de Mejora Continua:

Existen metodologías que simplifican la identificación y solución de problemas a través del seguimiento ordenado de actividades en las cuales se hace uso de diferentes herramientas. Algunas de estas herramientas son de tipo estadístico, y son conocidas como herramientas de control de calidad o herramientas de gestión.

(Goetsch & Davis, 1997)

La aplicación de estas metodologías en las empresas manufactureras forma parte de una filosofía conocida como la Mejora Continua, la cual tiene su base principal en las ideas de W. Edwards Deming, y se utiliza como una forma de gestión en donde se busca optimizar y aumentar la calidad de un proceso o servicio a través del análisis y mejora de todos los elementos involucrados en su ejecución.

(Montgomery, 2013)

Entre las metodologías asociadas a la Mejora Continua, podemos encontrar una en particular que funciona como un modelo base, conocida como el “Ciclo de Shewhart”, el “Ciclo de Deming” o el “Ciclo de Mejora Continua”.

En este caso de estudio, se explicará la estructura de esta metodología de forma más detallada al mismo tiempo que se llevarán a cabo las actividades que se indican, para analizar una variable fisicoquímica del proceso de elaboración de cerveza.

Esta variable está relacionada con el nivel de ácidos alfa aportados por el lúpulo y la cantidad que se mantiene de los mismos a lo largo del proceso; se hará referencia a ella como “niveles de amargor” o “amargor” para fines prácticos del ejercicio, y forma parte de las variables del indicador fisicoquímico relativo al proceso.

Se decidió enfocar el estudio en el amargor debido a que es una variable que no sólo tiene una relación importante sobre los resultados fisicoquímicos durante el proceso de elaboración, sino que también tiene un gran impacto en las características del producto final. Además, tiene una relación directa con el uso que se le da al lúpulo, que es una de las materias primas necesarias más importantes y más caras para la elaboración de cerveza.

## Objetivos

Bajo el esquema de trabajo de mejora continua que la empresa está implementando, los objetivos principales de este caso de estudio son los siguientes:

- Aumentar el resultado mensual del indicador de calidad fisicoquímico en el proceso de elaboración de cerveza. Esto se logrará a través del seguimiento de los niveles de amargor y del aumento de su control, utilizando como guía el Ciclo de Deming.
- Tener medidas efectivas que garanticen resultados adecuados para los niveles de amargor en los productos intermedios del proceso y en la cerveza lista para envasar, una vez finalizado el ejercicio.
- Estandarizar el uso correcto del Ciclo de Mejora Continua para futuras situaciones que puedan presentarse en la cervecería, permitiendo una aplicación más eficiente y un mayor aprovechamiento de su estructura.

## Hipótesis del trabajo

Se espera que la aplicación del Ciclo de Mejora Continua, siguiendo la estructura de actividades que establece, permita aumentar el nivel de control sobre los niveles de amargor a lo largo del proceso.

Puede que se compruebe la efectividad del Ciclo, y al mismo tiempo que se identifiquen oportunidades de mejora en su estructura misma.

En cuanto al proceso, las medidas de operación y manejo de materias primas que se lleguen a aplicar para obtener los resultados deseados en relación con los niveles de amargor, podrían favorecer a su vez otras variables fisicoquímicas; además,

podrían disminuir del costo que representa la obtención, cuidado, almacenamiento y dosificación de lúpulo.

La mejora en el control de los niveles de amargor se verá reflejada en el aumento de la eficiencia del proceso de elaboración, en la disminución de los costos de operación y en una producción de cerveza, dentro de los estándares establecidos, mayor de la que ya se tenía al comenzar el ejercicio.

El estudio del indicador y el seguimiento de las diferentes actividades que marca el Ciclo de Deming para mejorarlo, fueron actividades generadas a partir de la necesidad de buscar el fortalecimiento de la empresa ante la competencia, y de mejorar su posicionamiento como líder de la industria cervecera a nivel nacional.

## MARCO TEÓRICO

En esta sección se describirán las materias primas para la elaboración de cerveza y se explicará el proceso acotado según el caso de estudio. Posteriormente se definirán el concepto de calidad y el control del mismo en el proceso; se puntualizará el origen del Ciclo de Mejora Continua y se justificará su aplicación, explicando los pasos a seguir y las herramientas que lo conforman. También se describirá el indicador fisicoquímico, que es el indicador objetivo del ejercicio propuesto.

### Cerveza y su proceso de elaboración

La cerveza es una bebida alcohólica no destilada, carbonatada, elaborada por la fermentación de uno o varios cereales, cuyo aroma y sabor son definidos principalmente por el lúpulo adicionado durante su elaboración.

La evidencia más antigua de fabricación de cerveza data del año 6000 A.C. en la antigua Babilonia, y tanto su producción como su exportación comenzaron en esta civilización, así como en la egipcia y la asiria. Todas estas civilizaciones fueron reconocidas por su desarrollo en la agricultura hace 7000 años.

(Hardwick, 2. History and Antecedents of Brewing, 1995)

### Materias primas

Para la fabricación de cerveza se requieren las siguientes materias primas: malta, adjuntos, lúpulo, agua y levadura.

La composición de estas materias primas tiene una influencia decisiva sobre el sabor del producto terminado. El conocimiento de las propiedades de las materias

primas, y de su influencia sobre el proceso y el producto final, proporciona el fundamento para su tratamiento.

## Malta

La malta utilizada para la producción de cerveza se obtiene a partir de la germinación incipiente y controlada de la cebada. La malta provee color, sabor, funcionalidad en el proceso y nutrientes esenciales para el metabolismo de la levadura.

(Kramer, 2006)

La cebada es la fuente principal del almidón que después será transformado en extracto fermentable durante su cocción. Por otro lado, la cáscara de la cebada malteada funciona como capa filtrante durante la filtración del mosto.

Existen dos tipos de cebada, *Hordeum distichon* y *Hordeum vulgare*, conocidos como “2 carreras” y “6 carreras”, respectivamente. El rendimiento, la resistencia a enfermedades y la calidad para el malteo dependen de cada variedad.

El malteo de la cebada es un paso previo al procesamiento en la fábrica de cerveza. Consiste en procesar el grano de cebada a través de su remojo, germinación y horneado, puesto que al ser cosechado posee un nivel bajo de enzimas. Su función es la producción de enzimas que faciliten la hidrólisis del almidón durante la maceración.

(Power, 1987)

El malteo favorece la generación de enzimas amilolíticas para hidrolizar el almidón de la malta y los adjuntos, lo cual se refleja posteriormente en la generación de azúcares y dextrinas, i.e. el poder diastásico. También se producen otras enzimas importantes para la elaboración de cerveza como las proteasas,  $\beta$ -glucanasas y pentosanasas.

Por otro lado, el malteo permite que la cebada desarrolle las características que impactarán en el sabor y en el color de la cerveza; dependiendo de la temperatura del horneado, se pueden definir el color de la malta, la actividad enzimática y la cantidad de proteínas solubles.

(Kunze, Materias Primas, 2004)

(Priest & Stewart, 2006)

## Adjuntos

El potencial enzimático de la malta es suficiente para degradar almidón adicional. Por eso, se substituye en algunos procesos una parte de la malta, por cereal sin maltear. A este último se le denomina adjunto, y considera principalmente cereales que son cultivados en gran volumen, como maíz, arroz y sorgo, así como cebada sin maltear.

Por definición, los adjuntos son cualquier fuente de carbohidratos, aparte de la malta de cebada, que puede contribuir a la cantidad de azúcares fermentables en el mosto. Éstos pueden clasificarse en tres grupos:

- Materias primas sólidas sin maltear que son procesados en la cervecería.
- Adjuntos líquidos que generalmente se agregan al cocedor, como jarabes de glucosa y de azúcar de caña, para aumentar la cantidad de carbohidratos.

- Malta de otros cereales, como avena, centeno, o sorgo.

Generalmente no contribuyen a la actividad enzimática, son menos costosos que la malta, y algunos de ellos pueden contribuir al sabor del producto final. Incluso hay algunos, como el trigo y la avena, que pueden mejorar la retención de la espuma.

En Estados Unidos se utilizan adjuntos en un 38% del total de los materiales empleados para la elaboración de cerveza, sin tomar en cuenta el lúpulo.

(Priest & Stewart, 2006)

(Kunze, Materias Primas, 2004)

## Lúpulo

El lúpulo es considerado como una materia prima necesaria y legalmente requerida para la elaboración de cerveza. Contribuye al sabor y al aroma de forma importante, ayuda a conservar la cerveza gracias a que sus resinas inhiben el crecimiento de la mayoría de las bacterias que afectan al producto, y actúa como estabilizante de la espuma. También ayuda a clarificar el mosto en las ollas, al coagular algunas de las proteínas menos solubles en agua.

(Sidor, 2006)

La planta del lúpulo (*Humulus lupulus* Linneo) es una planta trepadora perenne que puede ser masculina o femenina. Pertenece a la familia cannabaceae, y se cultiva en zonas frías como Alemania, EE. UU., República Checa y, durante los últimos años, en China.

(Kunze, Materias Primas, 2004)

El lúpulo utilizado en la elaboración de cerveza proviene de los conos secos de la planta femenina, conocidos como estróbilos, y contienen orgánulos llamados “glándulas” en las cuales se encuentran las resinas del lúpulo.

Los componentes primarios que contienen dichas glándulas son los ácidos alfa, los ácidos beta y los aceites esenciales. A los dos primeros se les conoce como resinas suaves (por ser no polares y solubles en hexano); son las que aportan amargor, propiedades antibacterianas, y son estabilizantes de la espuma. Por otro lado, los aceites esenciales proporcionan el aroma característico.

También existen las resinas duras (son polares e insolubles en hexano, sólo solubles en éter etílico o metanol), las cuales no tienen valor cervecero.

(O'Rourke, 2003)

Los conos de lúpulo comerciales muestran la siguiente composición:

Humedad	8 - 11%
Ácidos alfa	2 - 18%
Ácidos beta	2 – 10%
Aceites esenciales	0.4 – 2.5%
Taninos	2 - 5%
Pectinas	2%
Cenizas	8 – 10%
Proteínas	15%
Celulosa	40 - 50%

Como se mencionó anteriormente, las resinas suaves son las de mayor importancia para el proceso. Los taninos también son de utilidad ya que permiten la clarificación del mosto, además de que algunos pueden aportar astringencia y cuerpo a la cerveza, teniendo también propiedades antioxidativas.

El resto del cono está compuesto por celulosa y otras sustancias, como las proteínas, que no son de relevantes para el producto.

(Sidor, 2006)

En el Apéndice A. *El lúpulo, componentes, cuidados y productos derivados*, se hace una descripción más extensa de los componentes, variedades y productos que pueden derivarse de esta materia prima de elevada importancia para el producto final y para el objetivo del presente ejercicio.

## Agua

El agua es la materia prima principal para la elaboración de cerveza, pues constituye el producto final en más de un 90%. Sus componentes, sales, pequeñas cantidades de gases y compuestos orgánicos disueltos en ella, tendrán una gran influencia en la calidad del producto terminado y en el sabor.

No sólo es importante cuidar de la calidad del agua utilizada para la producción del mosto, también la utilizada para otros propósitos del proceso, como limpieza y enjuagues, influye en el producto final, por lo tanto, debe tratarse adecuadamente.

Solamente una parte del agua requerida para la producción de cerveza es utilizada directamente en el producto, la otra parte se requiere para otros propósitos. Se puede hacer la siguiente clasificación de las funciones del agua en el proceso:

- *Agua para producción:* es la utilizada en la producción del mosto y para estandarizar el contenido de alcohol objetivo. Ésta debe tratarse con el fin de tener la composición adecuada para la cerveza.
- *Agua de proceso:* es la necesaria para lavar y esterilizar recipientes, tuberías, y para limpieza y enjuague de contenedores. También suele utilizarse para la pasteurización y la refrigeración.  
Debe ser potable y tener un bajo contenido de minerales.
- *Agua de uso general o de uso doméstico:* es el agua de lavado común, higiene de las áreas y uso en la oficina. Ésta no necesita un mayor tratamiento.
- *Agua de servicio:* es agua para la generación de vapor en la caldera. Ésta debe ser, en lo posible, completamente desmineralizada.

El uso sustentable de agua es importante no sólo por el costo que implica el utilizarla y posteriormente tratarla, sino por las regulaciones ambientales aplicables a su uso. Es por esto que se busca, en promedio, utilizar 6 hl de agua por 1 hl de cerveza producida; de éstos, las proporciones de consumo típicamente son las siguientes:

- *Agua para producción:* 2.7 hl
- *Agua de proceso:* 2.1 hl
- *Agua de uso general o doméstico:* 1.0 hl
- *Agua de servicio:* 0.2 hl

Por otro lado, de los 6.0 hl de agua utilizados, se estima que aproximadamente 0.92 hl contribuyen a la cerveza final, mientras que el resto se pierde durante la evaporación, con los subproductos como la cascarilla de la malta y la levadura de desecho, y el resto como efluente, incluyendo el agua de desecho de uso doméstico. Sin mencionar que se puede perder hasta 1 hl en el tratamiento de éstos efluentes.

El suministro principal de agua potable proviene de fuentes en la superficie y corrientes de agua subterráneas dentro de pozos y perforaciones en el suelo. Ambas fuentes pueden diferir de forma significativa en su calidad debido a las rutas que siguen en el medio ambiente. Los proveedores municipales pueden mezclar el agua de ambas fuentes, mezclarla en depósitos, tratarla para que sea potable y esterilizarla para los consumidores y para la industria.

(Priest & Stewart, 2006)

### Levadura

La levadura pertenece a la división de los Ascomicetos o *Ascomycota*, y al género *Saccharomyces*, miembros más simples de los hongos y los mohos. Son microorganismos unicelulares heterótrofos que necesitan recibir de algún medio externo los carbohidratos y vitaminas del complejo B necesarios para su desarrollo.

Su tamaño puede variar de 5 a 10  $\mu\text{m}$  y su reproducción se realizará principalmente por gemación.

Diferentes cepas de levadura son utilizadas en la elaboración de cerveza y de pan, en la producción del vino y otras bebidas alcohólicas. Éstos sacaromicetos son capaces de cubrir su demanda de energía en presencia de oxígeno (aerobios) donde, por medio de la respiración, producen  $\text{CO}_2$  y agua; y en ausencia de oxígeno (anaerobios) cuando producen principalmente etanol y  $\text{CO}_2$  por medio de la fermentación.

(Knudsen, 2002)

(Priest & Stewart, 2006)

La levadura se encarga de fermentar los azúcares presentes en el mosto; incluyendo la maltosa y otros azúcares como la glucosa, fructosa, sacarosa, y maltotriosa, en alcohol, gas carbónico y otros productos secundarios que en su conjunto dan las características de sabor a cada tipo de cerveza.

(Meilgaard, 2002)

(Kunze, Materias Primas, 2004)

Entre las levaduras de fermentación *ale*, *Sacharomyces cerevisiae*, y las de fermentación *lager*, *Sacharomyces pastorianus* (también conocidas como *Saccharomyces uvarum* o *carlsbergensis*) existen diferencias morfológicas, fisiológicas y tecnológicas que se resumen en el Apéndice B. *Características de las levaduras de fermentación ale y lager*.

(Kunze, La Cerveza Terminada, 2004)

## Proceso de elaboración

La fabricación de la cerveza está ligada a una sucesión de tres procesos bioquímicos: la formación de enzimas en el grano de cereal germinante, (malta de cebada con o sin la adición de adjuntos), la degradación de almidón a azúcares fermentables por parte de esas enzimas, gracias a la mezcla de los cereales con agua, y la fermentación de los azúcares que componen el mosto en alcohol y CO<sub>2</sub>.

(Kunze, Cerveza- La bebida popular más antigua, 2004)

A continuación, se describirá el proceso de elaboración de cerveza dividido en las 4 etapas que conforman el área de elaboración de la planta donde se realizó el ejercicio:

- Casa de cocimientos
- Fermentación
- Maduración o Reposo
- Filtración y Gobierno

Anterior al área de elaboración, se identificará a la molienda de la malta y adjuntos; posterior al área, se identificará al envasado, ambas serán actividades fuera del alcance del estudio. (Figura 1).

**Figura 1. Resumen de las etapas del proceso de elaboración de cerveza**



El caso iniciará con la cocción de los adjuntos y la maceración de los mismos junto con la malta (inicio de la etapa conocida como “casa de cocimientos”), hasta la obtención de la cerveza lista para envasar, que es el fin último de la etapa “filtración y gobierno”.

### Molienda de la malta y adjuntos

La malta y los adjuntos son almacenados en la cervecería dentro de silos, donde se controla la humedad y se toman las medidas necesarias para el control de insectos y roedores.

Antes de usarse, la malta se tritura para poder extraer los compuestos contenidos en su interior. Esto facilita la penetración del agua y el ataque de las enzimas a las pequeñas partículas de almidón que se forman.

Se cuida que la cascarilla quede lo más entera posible para evitar extraer sustancias indeseables para el proceso, por lo cual se utilizan molinos especiales, conformados por rodillos, que optimizan la extracción de almidón y a la vez favorecen el tiempo de filtrado, que depende del grueso de la cascarilla al final de la molienda y de las condiciones del filtro.

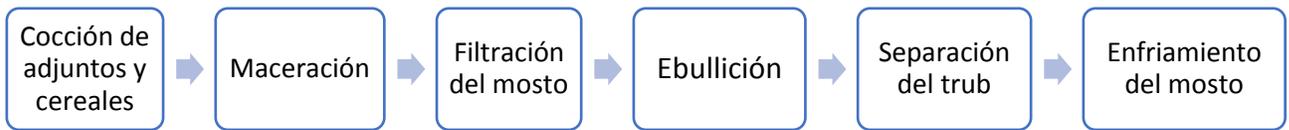
### Etapa 1. Casa de cocimientos

La malta y los cereales utilizados en el proceso no son solubles en agua. Gracias a la maceración, que es parte de esta etapa, 75% del peso de los cereales se vuelve soluble, y es más sencillo separar la cascarilla a través de la filtración. El líquido que se separará de la cascarilla es el mosto, el cual, después de agregarle lúpulo durante su ebullición, y de su posterior enfriamiento, está listo para ser fermentado por la levadura para convertirse en cerveza.

(U.S. Brewers' Academy, 1987)

A continuación, se describirán las actividades de la casa de cocimientos, cuyo fin es la obtención y preparación del mosto para la fermentación. Las actividades se muestran en la Figura 2:

**Figura 2. Actividades de la Etapa 1. Casa de cocimientos**



### *Cocción de los adjuntos y cereales sin maltear*

La forma en que se encuentra el almidón en los adjuntos y cereales, dentro de una matriz con proteínas y otras sustancias, no permite la degradación enzimática. Es por esto que, durante la cocción, son calentados en agua, con agitación constante y a un tiempo y ciclos de temperatura específicos, con el fin de obtener una mezcla pastosa en la que el agua penetre en cada partícula de almidón. A esto se le conoce como gelatinización.

En algunos casos se agrega un 10% en peso de malta al inicio de la cocción, ya que contiene enzimas que evitan la remanencia de grandes cadenas de glucosa, lo que permite utilizar menos agua y facilita el manejo de la mezcla. En otros casos, se utilizan enzimas de otras fuentes, como bacterias u hongos, para los mismos fines.

(U.S. Brewers' Academy, 1987)

### *Maceración*

Consiste en disolver en agua la malta molida con la mezcla gelatinizada proveniente del cocedor, para que las enzimas presentes en la malta transformen los almidones en azúcares. Al finalizar se produce el mosto, que es el líquido dulce color ámbar, conformado por azúcares, proteínas, vitaminas y minerales, que resulta de esta etapa.

Se presentan los siguientes 3 efectos principales:

- las cadenas de almidón se dividen en cadenas más cortas
- la enzima alfa-amilasa rompe las moléculas de almidón para producir dextrinas.
- la enzima beta-amilasa produce maltosa a partir de las moléculas de almidón y dextrinas, lo que da el dulzor característico del mosto.

La proporción a usar de malta y de la mezcla de adjuntos y cereales dependerá del tipo de cerveza a producir, de la capacidad del macerador, del grado plato requerido, del grado de extracción que se pueda conseguir de ambas fuentes, y del rendimiento de los equipos.

Las secuencias de tiempos y temperatura de maceración dependerán del tipo de malta y de las características buscadas para el mosto. La composición se ajusta mediante la acción enzimática, manteniendo la temperatura en un rango entre 57°C - 67°C, que es cuando las enzimas alfa y beta amilasa tienen más actividad. En este rango se producen más azúcares fermentables, para cervezas con mayor contenido de alcohol, y se obtiene mosto con un contenido menor de sólidos.

De 68°C a 74°C, la formación de glucosa se hace más lenta, y las moléculas de almidón restantes se degradan rápidamente en dextrinas.

Para corroborar que todo el almidón ha sido hidrolizado, se hace una prueba con yodo al finalizar la maceración. En ella, se agregan unas gotas de yodo

a una muestra del mosto, si el color es claro o ámbar, se ha llegado a una buena conversión de los almidones en azúcares.

(Rehberger & Luther, 1995)

(U.S. Brewers' Academy, 1987)

### *Filtración del mosto*

Una vez obtenido el mosto en el macerador es necesario separarle la cascarilla. Esto se logra mediante filtros especialmente diseñados para esta operación, conocidos como “Filtros Lauter”. Éstos cuentan con un falso fondo que tiene pequeñas ranuras por donde pasa el mosto; también cuenta con cuchillas o palas que van removiendo la mezcla.

Al iniciar la filtración, el mosto se deja reposando en el filtro Lauter de 5 a 10 min. Después se abren las rejillas en el fondo para que el mosto comience a fluir. Éste es regresado a la parte superior del filtro Lauter para volverse a filtrar, hasta que se clarifique.

Cuando el mosto logra estar al nivel de los granos dentro del filtro, se procede a la lixiviación. Se rocía agua a 77°C, los cuchillos mueven lentamente la cama filtrante que forman los granos, y el agua que sale del filtro después del mosto final permite retirar una mayor cantidad de extracto soluble de los granos gastados.

Cuando esto se logra, el mosto junto con los lixiviados se dirigen a las ollas de ebullición, y los granos gastados son recolectados para su posterior venta como alimento para ganado.

El mosto de la maceración también puede filtrarse utilizando un “Filtro Prensa”. Es un filtro de placas cubiertas con polipropileno o paño de algodón, por el que se bombea el mosto, los granos gastados quedan en las capas filtrantes, y se utiliza agua de lixiviación en menor cantidad. Puede procesar 16 cocimientos por día con un buen grado de extracción, a comparación del filtro Lauter, cuyo máximo son 10.

(U.S. Brewers' Academy, 1987)

### *Ebullición del mosto*

La ebullición del mosto en la olla se logra mediante un sistema de calentamiento a base de vapor. Durante la ebullición se adiciona el lúpulo que impartirá el amargor característico a la cerveza.

La finalidad de esta etapa es la eliminación de enzimas, la esterilización del mosto, la desnaturalización de las proteínas y su precipitación como “trub”, el desarrollo del color por oscurecimiento no enzimático, la extracción del lúpulo y la isomerización de los ácidos alfa para dar el sabor amargo a la cerveza, y el aumento de la concentración al disminuir de 3% a 7% el volumen en la olla por la evaporación del agua.

La olla se va llenando poco a poco, según la velocidad con la que se obtiene el mosto filtrado (alrededor de 3 horas); y a partir de que el nivel del mosto sobrepasa las unidades calentadoras en la olla, se empieza el calentamiento.

Una vez llevado todo el mosto a la olla, éste se somete a ebullición, llegando a temperaturas cercanas a los 100°C. El mosto es calentado de una a dos horas, hasta llegar a la concentración deseada.

Durante este tiempo se observa la coagulación de proteínas, y se añade el lúpulo o productos derivados en tres o más porciones a lo largo del mismo para obtener las isohumulonas, dependiendo de la calidad del lúpulo y del sabor buscado. La cantidad de lúpulo utilizada dependerá del grado de amargor requerido y del contenido de ácidos alfa de los productos.

Cuando se ha logrado la concentración deseada, una buena formación de trub y una extracción adecuada del lúpulo, se detiene la ebullición.

(Rehberger & Luther, 1995)

(U.S. Brewers' Academy, 1987)

### *Separación del trub y de los restos de lúpulo*

Al terminar la ebullición del mosto es necesario separar el trub y, en su caso, los restos de lúpulo, a fin de evitar turbiedad y cambios de sabor en el producto final.

Esto puede realizarse haciendo pasar el mosto lupulado por un tanque con un falso fondo con ranuras a manera de filtro, o enviándolo a un tanque Whirlpool, cuyo diseño permite el llenado del tanque de forma tangencial, promoviendo el efecto “remolino” del mosto, y facilitando la sedimentación del trub en el fondo del tanque.

Este efecto físico se debe a las fuerzas que intervienen en el movimiento de líquido y las partículas (Ley de Stokes); el mosto una vez clarificado sale por los costados del tanque. El trub separado puede utilizarse como fertilizante o como alimento para ganado.

(Rehberger & Luther, 1995)

### *Enfriamiento del mosto*

Para agregar la levadura al mosto, airearlo y llevarlo a fermentación, es necesario disminuir su temperatura de forma considerable. También es importante este control de temperatura para evitar la extracción de sabores indeseables provenientes del trub, y reacciones de oscurecimiento.

Para lograr el enfriamiento se utilizan intercambiadores de calor de placas de acero inoxidable, y el periodo de tiempo no suele ser mayor a una hora. Suelen utilizarse agua, salmuera, soluciones de propilenglicol, o la expansión directa de amoníaco para el intercambio de calor.

El mosto entra a un rango de temperatura entre 96°C - 99°C, pasa a una etapa en un rango de 48°C - 40°C, donde se puede apreciar algo de turbiedad o *“cold break”*, y sale del intercambiador a 7°C - 11°C.

Desde que el mosto llega a los 48°C, es propenso a infecciones severas, es por esto que los intercambiadores, las líneas y las bombas por donde pasa el mosto frío deben estar diseñadas para su completa limpieza y sanitización.

(Rehberger & Luther, 1995)

(U.S. Brewers' Academy, 1987)

## Etapa 2. Fermentación

Esta etapa inicia con la inyección de levadura al mosto frío, regularmente en un 1.0% V/V, y aire estéril u oxígeno, en 8 ppm para saturarlo. Termina con la obtención de “cerveza verde” después de la fermentación.

(Rehberger & Luther, 1995)

Durante la fermentación, el efecto fundamental producido por la levadura es la conversión de los azúcares fermentables del mosto en etanol y dióxido de carbono. Las células de levadura también producen otras sustancias (congénicos) que cambian el sabor del mosto al sabor de la cerveza, como alcoholes superiores, aldehídos y cetonas (incluyendo dicetonas vecinales totales), ácidos orgánicos y ésteres.

(Priest & Stewart, 2006)

Los factores más importantes que intervienen en la fermentación son los siguientes:

### *Composición del mosto*

Como la fermentación incluye el desarrollo de nuevas células de levadura, los procesos de asimilación, digestión, crecimiento y regeneración son influenciados por los siguientes compuestos:

- Carbohidratos fermentables (glucosa, fructosa, sucrosa, maltosa y maltotriosa, en orden de consumo)

- Carbohidratos no fermentables (dextrinas)
- Péptidos, aminoácidos y nitrógeno no protéico
- Sales minerales
- Lípidos (Ergosterol y ácidos grasos insaturados)
- Compuestos de lúpulo
- Vitaminas
- Melanoides y Caramelo
- Agua

Del 90%-92% de los sólidos del mosto son carbohidratos, y sólo 60%-72% de éstos son azúcares fermentables.

### *La cepa de levadura*

Todas las cepas de levaduras *ale* y *lager* consumirán de forma total los azúcares fermentables más sencillos, siguiendo con el consumo de maltosa y maltotriosa de forma más lenta.

En el Apéndice B. *Características de las levaduras de fermentación ale y lager*, se describen en forma general las diferencias entre las especies de levadura utilizadas, y sus efectos en la fermentación.

Los factores que pueden afectar el comportamiento de la levadura son la concentración de azúcares, su estado fisiológico, la temperatura, el pH y los nutrientes en el medio. Su acción puede inhibirse por la presencia del etanol y la presión osmótica.

## *Temperatura*

La fermentación es una reacción exotérmica y requiere de una eliminación parcial o total del calor generado para mantener la temperatura adecuada, ya que ésta tiene un impacto directo en el tiempo de fermentación, y en la formación de congenéricos.

La fermentación *ale* se puede iniciar a 15°C - 17°C, y llegar a los 22°C. Por otro lado, suele airearse la cerveza al cambiarla de tanque en las primeras 36 horas. Ambos efectos de temperatura y aireación extra permiten que la fermentación esté completa en 3 días.

En el caso de la fermentación *lager*, puede iniciar a 6°C - 8°C, y elevarse hasta los 14°C. La fermentación puede durar de 8 a 20 días; puede disminuirse el tiempo a 7 días a temperaturas más altas.

(Priest & Stewart, 2006)

## *Condiciones del proceso*

Esto incluye el tipo de fermentación, los tiempos, las características del tanque, los procedimientos para llevar a cabo la aireación, la recolección de levadura al finalizar la fermentación, la adición de la misma a un nuevo tanque, etc.

Al final de la fermentación, puede observarse un aumento considerable en la cantidad de levadura, comúnmente se inyectan 10 millones de células por ml., que incrementan hasta 50 millones antes de que finalice la etapa más activa de crecimiento.

También puede observarse una disminución del pH en un 23% debido a la excreción de la levadura de iones hidrógeno y de ácidos orgánicos como ácido cítrico y ácido succínico, y a la eliminación de aminoácidos básicos como la arginina o la asparagina. Este efecto inhibe el deterioro bacteriano durante la fermentación.

(Priest & Stewart, 2006)

(Ryder, 1987)

Una vez consumidos los nutrientes contenidos en el mosto, las células de levadura se agrupan y sedimentan para posteriormente separarse de la cerveza. La pasta de levadura se lava con agua fría o ácidos diluidos y se recicla de 8 a 10 veces en fermentaciones sucesivas.

La cerveza obtenida se conoce como “cerveza verde”, y contiene aproximadamente 1% de extracto fermentable. Ésta se envía a los tanques de maduración para un segundo periodo de reposo que permita la maduración del sabor, la separación de la levadura y otros cambios que mejoran la calidad de la cerveza.

(Knudsen, 1977)

El comportamiento de los compuestos principales durante la fermentación puede apreciarse en el Apéndice C. *Representación gráfica de la fermentación.*

### Etapa 3. Maduración o Reposo

Esta etapa contempla el reposo de la cerveza como un paso posterior a la primera fermentación, de donde se obtiene “cerveza verde”.

Los objetivos principales del reposo son, por un lado, llevar a cabo una segunda fermentación, en la cual se reduzcan los niveles de dicetonas vecinales totales (VDK “*Vicinal Diketones*” por sus siglas en inglés) y sus precursores, así como otros compuestos (sulfuro de hidrógeno, sulfuro de dimetilo) que pueden dar sabores y aromas indeseables a la cerveza.

Esto se realiza mediante la adición en un 5% - 20% de *Kraüsen*, que es cerveza con levadura en su máximo punto de crecimiento. Para mejorar la reducción de VDK puede recircularse el tanque con purga de CO<sub>2</sub>.

Por otro lado, una vez que esto sucede, se propicia la sedimentación de la levadura inactiva por medio de enfriar el tanque de 0°C – 6°C, y se busca la maduración de los sabores deseados que ya están en la cerveza al dejarla en el tanque por más días, o semanas, hasta que adquiera los niveles de compuestos que cumplan con las especificaciones de cada marca, y que permitan llevarla a las últimas etapas del proceso.

(Priest & Stewart, 2006)

El comportamiento de las dicetonas puede apreciarse en el segundo gráfico del Apéndice C. *Representación gráfica de la fermentación.*

#### Etapa 4. Filtración y Gobierno

Esta etapa inicia con la filtración de la cerveza proveniente del Reposo, y termina con la “liberación” del tanque con cerveza lista para envasar, o tanque de cerveza brillante en Gobierno, como también se le conoce.

### *Filtración o clarificación*

Después del reposo, la filtración de la cerveza es necesaria para remover la levadura restante y las partículas suspendidas formadas durante el almacenamiento debido al pH ácido y a las bajas temperaturas.

Esta filtración, o clarificación, le dará a la cerveza la brillantez característica.

Existen diferentes formas de clarificación, la más común es la filtración mecánica con Tierras Diatomeas a través de diferentes capas, y en dos etapas, en donde quedan atrapadas las partículas.

La primera etapa de filtración remueve la masa de levadura y materiales suspendidos (compuestos de proteínas y polifenoles). La segunda etapa funciona como filtración final, aquí se remueve cualquier partícula adicional que haya quedado en la cerveza, y agentes estabilizantes que hayan sido agregados antes de la primera filtración.

Existen diferentes distribuciones del tamaño de partículas de las tierras diatomeas, con diferentes efectos en el flujo del filtro, la permeabilidad de la cama filtrante y el grado de filtración.

También se pueden usar otros tipos de filtro, como los de placas, “filtros de vela”, de hojas, de pulpa, entre otros.

### *Actividades previas a los tanques de gobierno*

Los siguientes pasos son necesarios antes de enviar la cerveza brillante a envasar.

- *Estabilización.* Se refiere a la protección de la cerveza contra efectos oxidativos post-ensado, y turbiedad provocada por la formación de compuestos y por crecimiento de bacterias o levadura.
- *Carbonatación.* Se refiere al ajuste de los niveles de CO<sub>2</sub> requeridos en el producto, ya sea por medio de la segunda fermentación, o por inyección del gas.
- *Estandarización.* Es el proceso de mezclar lotes de cerveza para lograr uniformidad en el sabor y en otras características (contenido de alcohol, gravedad específica, unidades de amargor o color).

Durante estas actividades, así como en la filtración, es necesario cuidar principalmente los niveles de oxígeno disuelto, ya que es difícil de eliminar de la cerveza una vez que se encuentra en los tanques de gobierno, y es un agente clave para la estabilidad del sabor.

Es por esto que se realizan purgas con CO<sub>2</sub> en la alimentación de los filtros, en el flujo de traslado de la cerveza, y en los tanques, donde también puede utilizarse agua carbonatada para su pre-llenado.

Otra medida para evitar el efecto oxidativo es la adición de antioxidantes (metabisulfito de potasio o ácido ascórbico) después de la fermentación.

(Priest & Stewart, 2006)

## Gobierno

Los tanques de cerveza brillante que se encuentran en esta sección almacenan la cerveza lista para envasar.

Previamente se llevaron a cabo las actividades necesarias para que ésta presentara la brillantez, gravedad específica, contenido de alcohol, color, unidades de amargor, oxígeno disuelto y CO<sub>2</sub>, entre otros compuestos, en los niveles requeridos para el consumo final.

En los tanques se confirman dichos niveles, y se almacena la cerveza para su transportación al área de envasado. La temperatura se mantiene entre 0°C-1°C, y no se almacena la cerveza por más de tres o cuatro días.

(DeYoung, 1999)

## Envasado

La cerveza después de ser filtrada y estabilizada se encuentra lista para ser envasada. Este proceso consta de los siguientes pasos:

- *Desempacado de botella.* Las botellas son sacadas de las cajas que previamente fueron retiradas de los pelets. Aquellas botellas rotas o cuyo cuello esté desportillado se eliminan.
- *Lavado de botella.* Las botellas ingresan a un transportador que consta de 5 o más compartimientos donde se controla la temperatura para que ésta llegue a 85°C, y se lavan las botellas con una solución de agua y sosa caustica. La lavadora también puede tener un dispositivo de extracción de

etiquetas. Posteriormente son lavadas con agua recirculada a alta presión y con agua fresca.

- *Llenado y coronado.* Cada botella pasa por la llenadora, que previamente fue limpiada y preparada para inyectar la cerveza a presión. Después cada una es coronada al pasar debajo de la tolva donde se almacenan las tapas.
- *Pasteurización.* Se calientan los recipientes a 60°C, después de que hayan pasado por zonas cronometradas de calentamiento y enfriamiento, durante un periodo de tiempo determinado, lo suficiente para inactivar los organismos que descompongan la cerveza.

Una vez listas las botellas, se procede a su etiquetado, empaçado, almacenado y embarque. Durante todos los pasos hay diferentes controles de calidad cuyo fin es asegurar el correcto llenado y etiquetado de las botellas, así como el nivel adecuado de CO<sub>2</sub>.

(Hardwick, 4. An Overview of the Beer Making, 1995)

(DeYoung, 1999)

## Tipos de cerveza

Según la levadura utilizada y el proceso de fermentación resultante de ello, las cervezas se pueden diferenciar en dos grandes grupos, las *lager* y las *ale*.

Fuera de esta clasificación, hay cervezas diferentes con base en otras características.

(Hardwick, van Oevelen, Novellie, & Yoshizawa, 1995)

## Cervezas *ale*

Las cervezas *ale* varían considerablemente en amargor, color, dulzor y dureza, algunos ejemplos son:

- *Pale ale*. Es de color claro, muy amarga y poco dulce.
- *Mild ale*. Moderadamente amarga, relativamente dulce y de color oscuro.
- *Las Brown ales*. Son generalmente oscuras, ligeras y dulces.

## Cervezas *lager*

Este tipo de cerveza es el que más se produce a nivel nacional. Algunos ejemplos de las cervezas *lager* son los siguientes:

- *Pilsner*. Es espumosa, ligera y con buena carbonatación, es de color claro, (dorado ámbar) y tiene un buen perfil de amargor.
- *Munich, Dunkel*. Oscura, sabor a malta, dulce, aromática y con mucho cuerpo
- *Viena*. Semioscura, ligera, sabor a malta y un poco dulce.

El color oscuro de las cervezas en general, proviene de la adición de malta tostada.

(Hardwick, van Oevelen, Novellie, & Yoshizawa, 1995)

## Calidad y Mejora Continua aplicados al proceso de elaboración de cerveza

La definición y alcance de *calidad* actualmente se define como un estado dinámico en el que no sólo es el artículo final entregado al cliente el que satisface o excede las expectativas, sino que los productos intermedios, los servicios necesarios para obtener dicho artículo, la preparación de la gente involucrada en todo el proceso, junto con el proceso mismo y el ambiente en que se elabora y entrega, también cumplen con características y requisitos que los hacen competentes ante otros similares en el mercado.

(Goetsch & Davis, 1997)

Con relación a la calidad surgieron, en su momento, conceptos y técnicas de solución de problemas que hacen uso de diferentes herramientas de gestión; todo con el objetivo controlar y mejorar la calidad de cada uno de los elementos del negocio. Las nociones más importantes de la calidad y de las estrategias de gestión fueron descritas por W.E. Deming, J.M. Juran y A.V. Feigenbaum.

Surgió con ellos la filosofía de la Mejora Continua, que tiene su base principal en las ideas de W. Edwards Deming, (las cuales empezó a divulgar desde 1946), y que se caracterizan, entre otros elementos, por el uso de una metodología conocida como el Ciclo de Shewhart o el Ciclo de Mejora Continua.

(Montgomery, 2013)

Dicha metodología plantea una estructura de acciones que, a través del uso de herramientas de gestión, permite identificar situaciones poco favorables, encontrar las causas raíz que las originan, establecer medidas de corrección y mejora, y estandarizar aquellas que eviten futuras variaciones en los resultados.

Al implantarla, es necesario hacer uso de diferentes herramientas de gestión o “herramientas de calidad total”, cuyo carácter intelectual permite a los empleados de cualquier rango recolectar información relativa a diferentes situaciones.

La ventaja de estas herramientas es que permiten presentar los datos recabados de una forma tal que el cerebro humano puede generar fácilmente ideas que, al aplicarse a los procesos físicos en cuestión, permitan obtener mejores resultados.

(Goetsch & Davis, 1997)

A la Mejora Continua se le podrá considerar como un sistema bien consolidado una vez que se establece, se conoce, y se utiliza de manera eficiente por todos los elementos que conforman la empresa donde se está aplicando. Su implementación busca, en resumen, evidenciar que los productos de buena calidad sólo pueden ser producidos por organizaciones de calidad.

(Goetsch & Davis, 1997)

Gracias a los beneficios que ofrece, esta filosofía se comenzó a implantar en la cervecería dos años antes de iniciar con el estudio.

El proceso de elaboración de cerveza es una parte fundamental de la industria cervecera, por lo tanto, debe funcionar de manera eficiente para que el resto de los elementos del negocio también tengan un buen desempeño.

Por un lado, el proceso es complejo y requiere atención y monitoreo constante para evitar variaciones tanto en las características de los productos intermedios como en las condiciones en que se llevan a cabo todas las etapas que conforman el proceso.

Por otro lado, la calidad del producto final puede interpretarse de forma diferente dependiendo de las preferencias de cada consumidor. Sin embargo, las cervezas en general deben cumplir con un determinado sabor y características sensoriales bien definidas dependiendo de su tipo, y la compañía cervecera que las produce debe llevar a cabo todas las medidas necesarias para que sus productos, y los elementos involucrados en su producción, no presenten variaciones.

(Hardwick, 1. Commercial and Economic Aspects, 1995)

Si al final podemos consumir una cerveza que nos parece de buena calidad gracias al sabor, el olor o el cuerpo de la misma, podemos decir que la cerveza satisface o supera nuestros estándares gracias a que el proceso de elaboración también fue satisfactorio en cuanto a sus respectivos requisitos.

Por lo mencionado anteriormente, existe la necesidad de llevar a cabo controles de calidad, e implementar las metodologías necesarias, en este caso, el Ciclo de Shewhart, para dar seguimiento a las condiciones del proceso, definir los resultados deseados en el futuro, e identificar qué es lo que se puede mejorar en el proceso de elaboración.

## El Ciclo de Deming y su aplicación como parte del Sistema de Mejora Continua

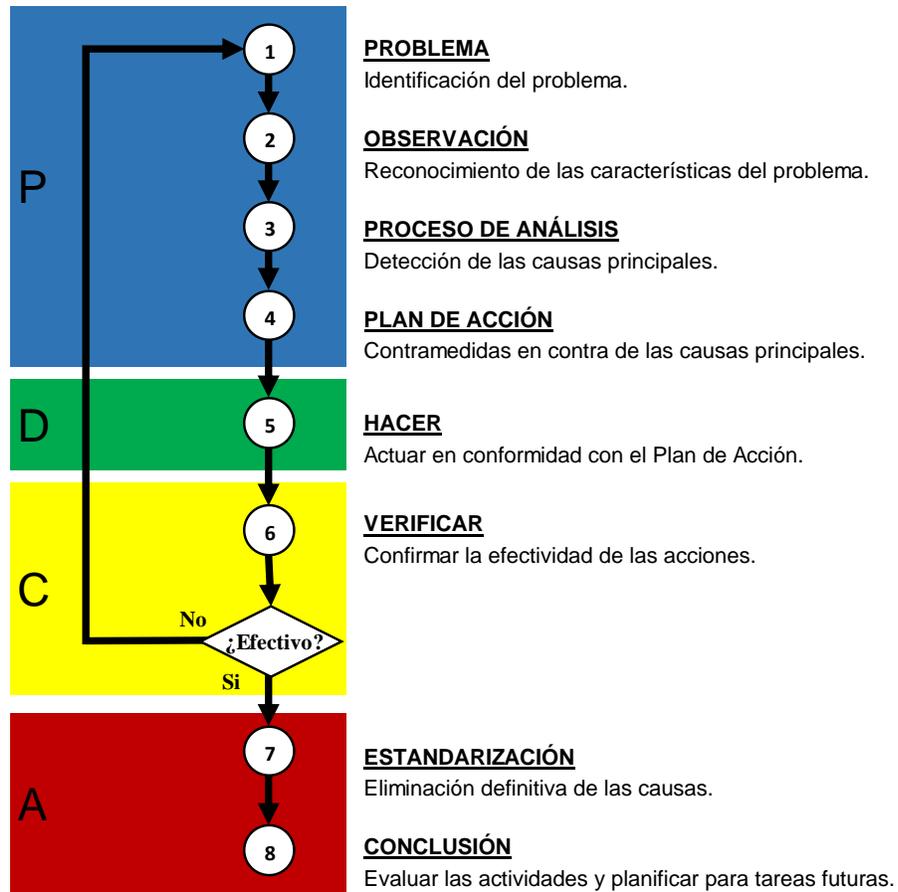
El Ciclo marca la pauta de las acciones que deben seguirse, (donde se hace uso de las herramientas de gestión, algunas de ellas estadísticas), para la solución de problemas y perfeccionamiento de resultados.

Al Ciclo de Deming también se le conoce como el “Ciclo PDCA” por el nombre en inglés de los 4 pasos que lo conforman:

- *Plan*: se propone o identifica un cambio en el sistema, dirigido a un caso de mejora;
- *Do*: se lleva a cabo el cambio a través de medidas propuestas;
- *Check*: se analizan los resultados derivados de la aplicación de las medidas;
- *Act*: Se adoptan y estandarizan las medidas con las que se obtuvieron los resultados buscados.

Como se muestra en la figura 3, los 4 pasos principales pueden desglosarse de la siguiente forma:

**Figura 3. Pasos del Ciclo PDCA**



La metodología funciona a través de la participación de todo el personal, al que se le da capacitación especial y constante para dar seguimiento a las acciones que indica la estructura del Ciclo, fomentando así la participación y búsqueda de mejora por parte de las personas que están directamente involucradas en el proceso, y no sólo de las que laboran a nivel administrativo.

A lo largo del estudio realizado para el indicador fisicoquímico, las herramientas de calidad total fueron utilizadas para definir la situación en que se encontraba, identificar

las causas raíz de los resultados poco satisfactorios, definir qué acciones tomar para corregir o “atacar” dichas causas, y, una vez llevadas a cabo dichas acciones, dar seguimiento de la efectividad de las mismas.

En el capítulo del Procedimiento Experimental se desarrollarán a detalle cada uno de estos pasos mientras se realizan las actividades indicadas en la estructura.

## **El indicador fisicoquímico como un pilar del control de calidad en el proceso de elaboración de cerveza.**

El control cualitativo de la cerveza tiene su base en la realización de controles de calidad que abarcan 3 temas diferentes que involucran varios aspectos a evaluar en relación con la calidad del producto final:

- La degustación de la cerveza, que se enfoca en el color, olor, sensación y sabor que percibe el consumidor final.
- El control microbiológico, relacionado al monitoreo de los microorganismos presentes en todo el proceso de elaboración.
- El control fisicoquímico, cuyo fin es identificar y mantener ciertas características en los productos intermedios y finales del proceso, desde el mosto hasta la cerveza envasada.

Dentro del alcance del proyecto, se estudiará y analizará el control fisicoquímico, que se traduce a números a través del respectivo indicador de calidad.

### **Estudio y análisis**

El indicador fisicoquímico es la representación del monitoreo de diferentes variables a lo largo del proceso de elaboración de cerveza, que tienen una relación directa con los requerimientos cualitativos del producto final y, por tanto, esenciales para el control de calidad.

El resultado mensual del indicador fisicoquímico se interpreta como un porcentaje del total del proceso que fue controlado y que cumple con los estándares de calidad que la cervecería desea mantener o alcanzar.

Dicho valor mensual se obtiene llevando a cabo el cálculo ponderado de los porcentajes de muestras dentro del rango de resultados establecido para cada una de las variables que forman parte del indicador.

En un principio, cuando se estructuró el indicador, se identificaron claramente las etapas que conforman el proceso de elaboración, y en cada una de ellas se determinaron las variables que se relacionan directamente con las características del producto final.

Se obtiene un valor mensual para cada variable al reportar el número de mediciones del total de muestras que cumplen con las expectativas de calidad.

Estas “expectativas” se entienden como los rangos aceptables para los resultados de las mediciones de cada variable. Éstos tienen diferentes valores de acuerdo del tipo de cerveza y fueron determinados con base en resultados de pruebas de laboratorio e historiales de producción, siguiendo, por supuesto, la normatividad vigente cuando es aplicable, como en el caso del contenido total de alcohol.

#### [Etapas del proceso y variables que contempla el indicador fisicoquímico](#)

El indicador fisicoquímico contempla el proceso de elaboración de cerveza y el proceso de envasado, los cuales se identifican dentro de la cervecería como dos áreas principales: la primera es conocida como “el área de elaboración”, y la segunda, como “el área de envasado”.

El área de elaboración, como se mencionó anteriormente, se divide en 4 etapas, conocidas como la casa de cocimientos, la fermentación, la maduración o el reposo, y la

filtración y gobierno; mientras que el área de envasado se considera como una sola etapa en la que se realizan las actividades del desempacado de la botella, el lavado, el llenado y coronado, la pasteurización, entre otras más.

Es importante volver a mencionar que el fin último del indicador fisicoquímico consiste en mantener un control de calidad en ambos procesos de elaboración y envasado a través del monitoreo de las variables en cada una de las etapas que hayan sido previamente detectadas como influyentes sobre el producto final o sobre los productos intermedios.

Por lo tanto, el analizar el indicador fisicoquímico implica llevar a cabo el estudio de las variables que conforman al indicador en cada área, esto es, las involucradas en las etapas de elaboración y las respectivas a las actividades del envasado.

Es por esto que las áreas de la elaboración de cerveza y de envasado poseen un “sub-indicador” fisicoquímico propio. Al tener los resultados de las mediciones y el cálculo del sub-indicador en cada área, se puede proceder a obtener el resultado del indicador fisicoquímico de manera completa, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\% \textit{indicador fisicoquímico} = \frac{(\% \textit{subindicador fisicoquímico en elaboración})(\% \textit{subindicador fisicoquímico en envasado})}{100}$$

Un ejemplo del cálculo, utilizando los resultados de los sub-indicadores en enero 2015, es el siguiente:

$$\% \textit{indicador fisicoquímico en enero 2015} = \frac{(86.11\%)(99.67\%)}{100} = 85.83\%$$

Como lo establece el alcance del proyecto, únicamente se realizó el análisis de datos para maximizar el valor del sub-indicador fisicoquímico en el área de elaboración; sin embargo, si se buscara la máxima mejoría del indicador fisicoquímico, hubiera sido preferible, aunque probablemente más tardado, haber analizado también el sub-indicador fisicoquímico en el área de envasado.

Enfocando entonces el análisis hacia el sub-indicador fisicoquímico en el área de elaboración, se describirán a continuación las etapas y variables que lo conforman, así como el método de cálculo para obtener su resultado al cierre de cada mes.

#### Etapas en el área de elaboración

Como ya se describió anteriormente para la fabricación de cerveza, el área de elaboración abarca cuatro etapas del proceso:

- Casa de cocimientos  
Etapas que va desde la maceración y cocimiento de malta y adjuntos, hasta la obtención de mosto frío.
- Fermentación  
Inicia con la adición de levadura y la aireación del mosto, hasta obtener la cerveza verde después de la fermentación.
- Maduración o reposo  
Contempla el proceso de reposo de la cerveza.
- Filtración y Gobierno -tanque de cerveza brillante  
Va desde la filtración de la cerveza en reposo hasta la liberación del tanque con cerveza lista para envasar, o de cerveza brillante, como también se le conoce.

Dentro de las cuatro etapas mencionadas se miden y monitorean varias variables. A continuación, se muestra en la tabla 1 cada etapa con sus respectivas variables, y el rango deseado para cada una. Posterior a la tabla, se enlistan y describen las variables con mayor detalle.

Es importante mencionar que el valor mínimo y máximo deseado de algunas variables depende del tipo de cerveza que se esté produciendo; es por esto que en la tabla 1 se anexan dos columnas de rangos correspondientes a dos diferentes tipos de cerveza producidas en la planta (cerveza tipo “A” y cerveza tipo “B”) a manera de ejemplo:

**Tabla 1. Rangos para las variables del sub-indicador fisicoquímico en el área de elaboración**

VARIABLES EN EL ÁREA DE ELABORACIÓN		RANGO POR TIPO DE CERVEZA	
Casa de cocimientos		Mosto A	Mosto B
Extracto de Mosto Original (EMO)	[°P]	17.20 - 17.80	17.20 - 17.80
pH del mosto	[upH]	5.00 - 5.40	5.00 - 5.40
<b>Fermentación</b>		<b>Cerveza Verde A</b>	<b>Cerveza Verde B</b>
Generación de levadura	[vueltas]	≤ 15	≤ 15
pH en fermentación	[upH]	3.85 - 4.25	3.85 - 4.25
Dicetonas vecinales totales	[ppb]	≤ 150.00	≤ 150.00
Grado real de fermentación	[%]	60.2 - 65.7	58.3 - 64.1
<b>Maduración (Reposo)</b>		<b>Cerveza A</b>	<b>Cerveza B</b>
OD Oxígeno Disuelto	[ppb]	≤ 28.0	≤ 28.0
<b>Filtración y Gobierno (Tanque de cerveza brillante)</b>		<b>Cerveza Brillante A</b>	<b>Cerveza Brillante B</b>
Contenido de alcohol, % vol	[% vol]	4.24 - 4.91	3.71 - 4.36
Extracto Aparente	[°P]	2.40 - 3.00	2.40 - 3.00
pH antes de envasar	[upH]	4.00 - 4.30	4.00 - 4.30
Color	[SRM]	2.50 - 3.50	8.00 - 10.00
Turbiedad	[NTU]	≤ 17	≤ 18
Oxígeno Disuelto	[ppb]	≤ 70.00	≤ 70.00
Amargor	[IBU]	16.0 - 20.0	16.20 - 20.0

## Descripción de las variables involucradas en el indicador fisicoquímico por etapa

### *Casa de cocimientos*

- *Extracto de Mosto Original (EMO)*

Es la gravedad específica inicial del mosto, y se define como una expresión de la cantidad de gramos de extracto seco, por cada 100 g de mosto. Se reporta en grados plato [°P]

Los grados plato se determinan utilizando un hidrómetro o sacarímetro para determinar la gravedad específica de la muestra del mosto tomada en el momento previo a la ebullición del mismo y a la adición del lúpulo; la lectura del hidrómetro es multiplicada por un factor de conversión para obtener los grados plato. También se tienen sacarímetros que incluyen la escala Plato.

- *pH del mosto*

Concentración de iones hidrógeno presentes en el mosto previo a la ebullición del mosto y a la adición del lúpulo. Se reporta en valores de la escala pH y se determina en el laboratorio de la cervecería, donde se utilizan potenciómetros digitales en la muestra de mosto.

### *Fermentación*

- *Generación de levadura*

Número de veces que se ha utilizado un mismo cultivo en los tanques de fermentación. Se reporta en número de vueltas, y se considera una vuelta desde que se agrega al mosto frío, hasta que regresa a la sala de inoculación después de haber sido separada de la cerveza verde.

- *pH en fermentación*

Concentración de iones hidrógeno presentes en la cerveza verde al finalizar la fermentación. Se reporta en valores de la escala pH y se determina en el laboratorio de la cervecería, donde se utilizan potenciómetros digitales en la muestra de cerveza verde.

- *Dicetonas vecinales totales*

(VDK, “Vicinal Diketones” por sus siglas en inglés)

Cantidad de Diacetilo o 2-3 butanodiona, y cantidad de 2,3 pentanodiona, presentes en el tanque de fermentación. Se reportan en partes por billón ( $\mu\text{g}$  por litro de solución) y se determinan mediante destilación y análisis espectrofotométrico de la muestra de cerveza verde.

Dan sabor a mantequilla, y para algunas marcas pueden ser componentes indeseables en grandes concentraciones, por lo que se busca su control durante la fermentación y el reposo.

(Priest & Stewart, 2006)

- *Grado real de fermentación*

(RDF, “Real Degree of Fermentation” por sus siglas en inglés)

Se define como el porcentaje de reducción entre la gravedad específica inicial y la gravedad específica final del mosto, causada por la transformación de azúcares en alcohol a lo largo de la fermentación. Se obtiene comparando la cantidad de extracto de mosto original con la de la muestra, la cual se determina en el

laboratorio, obteniendo el extracto real en °P una vez retirado el alcohol por destilación.<sup>2</sup>

El resultado se expresa como un porcentaje, y se determina con la ecuación:

$$RDF = \frac{206.65}{2.0665 + \frac{\text{Extracto Real}}{\% \text{ peso de alcohol (ABW)}}$$

### *Maduración (Reposo)*

- *Oxígeno disuelto en reposo*

Cantidad de oxígeno disuelto una vez terminado el periodo de reposo en los tanques de maduración. Se mide a través de un analizador de oxígeno disuelto, conocido antes como “*Analizador Hays*”, el cual consiste en dos electrodos, el ánodo hecho de una aleación de hierro y zinc, y el cátodo de plata, inmersos en el flujo de cerveza.

El flujo forma una celda galvánica que, al llevarse a cabo la reacción de óxido-reducción debido al oxígeno presente en la cerveza, hace pasar la corriente eléctrica producida por un circuito de carga externo. Esta corriente es proporcional a la cantidad de oxígeno disuelto en la cerveza, y se mide con un potenciómetro integrado en el sistema, ajustado para reportar el resultado en partes por billón.

---

<sup>2</sup> *Brewing & Distilling Analytical Services (BDAS) LLC, Empirically Measuring and Calculating Alcohol and Extract Content in Beer with a Reasonable Degree of Accuracy and Confidence*

El medidor es móvil y es utilizado por los operarios en las tomas de muestra de los tanques de reposo, una vez concluido el tiempo necesario de maduración.<sup>3</sup>

#### *Filtración y Gobierno (tanque de cerveza brillante)*

- *Contenido de alcohol %vol*

Se refiere a la cantidad de alcohol etílico en la cerveza antes de envasar, y puede obtenerse a partir de una ecuación que relaciona el porcentaje en peso de alcohol con la gravedad específica de la cerveza y la gravedad específica del alcohol etílico a 20 °C, de la siguiente forma<sup>2</sup>:

$$\text{Alcohol \% vol.} = \frac{\text{alcohol \% peso} \times \text{gravedad específica de la cerveza}}{\text{gravedad específica del alcohol etílico}}$$

- *Extracto Aparente*

Es la gravedad específica final de la cerveza lista para envasar, la cual es menor a la gravedad específica inicial del mosto debido a la transformación de azúcares en alcohol una vez terminada la fermentación y el reposo. Se interpreta como la cantidad de extracto original que ha permanecido en la cerveza hasta este punto, y se determina con un hidrómetro o sacarímetro en una muestra tomada del mismo tanque, conteniendo ésta agua y alcohol. El resultado se reporta en °P.

---

<sup>2</sup> *Brewing & Distilling Analytical Services (BDAS) LLC, Empirically Measuring and Calculating Alcohol and Extract Content in Beer with a Reasonable Degree of Accuracy and Confidence*

<sup>3</sup> *The control of Oxygen in Beer Processing, by Henning Nielsen*

- *pH en cerveza antes de envasar*

Concentración de iones hidrógeno presentes en el taque de cerveza lista para envasar. Se reporta en valores de la escala pH y se determina en el laboratorio de la cervecería, donde se utilizan potenciómetros digitales en la muestra de cerveza brillante.

- *Color*

La intensidad del color en la cerveza se determina utilizando el espectrofotómetro en la región del espectro de la luz visible ( $\lambda=430$  nm), después de haber descarbonatado la muestra de cerveza brillante en el laboratorio.

Posteriormente, la medición del espectrofotómetro se multiplica por 10, para que la absorbancia resultante pueda considerarse dentro de la escala de color conocida como la Medición de Referencia Estándar (*Standard Reference Measurement* o *SRM* por sus siglas en inglés)<sup>4</sup>. La medición de color de las muestras se reportan en unidades SRM.

Esta escala fue adoptada por la American Society of Brewing Chemists desde 1952, y clasifica a las cervezas más claras, como la Pilsner, en un rango de valores del 2-7, el cual va aumentando conforme más oscura sea la cerveza. Por tanto, se entiende que las Stout estén en el rango máximo de color, clasificadas entre valores de 30 hasta 40 dentro de la escala.<sup>5</sup>

---

<sup>4</sup> “*Designing Great Beers. The Ultimate Guide to Brewing Classic Beer Styles*” by Ray Daniels

<sup>5</sup> “*Measuring the color of beer – SRM and EBC methods*” by Jenway, Cole-Parmer

- *Turbiedad*

Se entiende como la aglomeración de proteínas y de materiales fenólicos presentes en la cerveza lista para envasar. Esta se mide a través de un nefelómetro, que mide la intensidad de la luz dispersa con respecto a la radiación incidente en las muestras de los tanques de cerveza brillante, que son desgasificadas antes de la medición para evitar resultados sesgados.

El resultado se reporta en Unidades Nefelométricas de Turbiedad (NTU por sus siglas en inglés).<sup>6</sup>

- *Oxígeno Disuelto en la cerveza brillante*

Cantidad de oxígeno disuelto en la cerveza lista para envasar.

Se mide a través de un analizador de oxígeno disuelto, conocido antes como “*Analizador Hays*”, (del cual se hizo, previamente, una explicación breve de su funcionamiento). El medidor es móvil y es utilizado por los operarios en las tomas de muestra de los tanques de reposo, una vez llenado el tanque de cerveza brillante.

El resultado también se reporta en partes por billón.

- *Amargor*

La determinación del amargor se realiza de forma espectrofotométrica, y se reporta en unidades internacionales de amargor, (*International Bitterness Unit* o IBU por sus siglas en inglés).

---

<sup>6</sup> “*Turbidity measurement*” by World Health Organization. *Water sanitation, fact sheet 2.33*

Las muestras de los tanques de cerveza brillante son desgasificadas y acidificadas, posteriormente se someten a una extracción con iso-octanol y se determina la absorbancia ( $\lambda=275\text{nm}$ ) que está relacionada con la concentración de iso- $\alpha$ -ácidos. Posteriormente, la absorbancia resultante multiplicada por un factor, equivaldrá a la cantidad de IBU presente en la muestra.

$$(IBU = A_{275} \times 50)$$

Las variables antes descritas son incluidas dentro del estudio del sub-indicador fisicoquímico en elaboración, y son monitoreadas en diferentes etapas del proceso.

Los resultados semanales de las mediciones de estas variables son registrados por el laboratorio de la cervecería para el posterior cálculo del indicador fisicoquímico, (que incluye también el resultado del sub-indicador fisicoquímico en envasado) al final de cada mes.

#### Cálculo mensual del sub-indicador fisicoquímico en elaboración

Para obtener el resultado mensual del sub-indicador fisicoquímico en elaboración, todas las variables involucradas son medidas un "X" número aleatorio de veces a la semana; de éste total de muestras se reporta al final del mes el número total de las mediciones que estuvieron dentro de rango establecido, y el número de las que no. Los resultados incluyen muestras de todos los tipos de cerveza.

Con los resultados de las muestras de cada variable se obtiene un porcentaje de muestras que fueron aceptadas, en relación con el total de muestras. Este porcentaje aporta, posteriormente, un puntaje al cálculo del sub-indicador.

En la siguiente ecuación, el número total de muestras tomadas para cada variable “X” se nombra “Total”, y el número de muestras dentro de rango se nombra “Ok”:

$$\text{Porcentaje de muestras dentro de rango}_X = Ok_X \times \frac{100}{Total_X}$$

Por otro lado, las variables relacionadas al extracto aparente, el color y el amargor, reciben únicamente el 50% del impacto causado por las muestras que no estuvieron dentro de rango, siguiendo la siguiente ecuación para reportar su resultado:

$$\text{Porcentaje de muestras dentro de rango}_X = \left( Ok_X + \frac{Total_X - Ok_X}{2} \right) \times \frac{100}{Total_X}$$

El uso de la ecuación anterior para el caso especial de las variables mencionadas se debe a que, según historiales de los resultados de años pasados, son las variables que han tenido mayor tendencia a presentar mediciones fuera de rango, y se les disminuye el efecto para que el cálculo final del indicador fisicoquímico no presente grandes variaciones.

Una vez que se tiene el porcentaje de muestras dentro de rango de todas las variables, se realiza el cálculo del mismo porcentaje por etapa, al cual llamaremos *índice de la etapa “Y” (%)*.

El cálculo del índice de cada etapa incluye el porcentaje de muestras dentro de rango de sus respectivas variables. De igual manera, se llamará a cada uno de estos porcentajes, como *Variable “X” (%)*.

El índice se calcula dependiendo el número “n” total de variables por etapa, de acuerdo a la siguiente ecuación general:

$$\text{Índice de la etapa } Y(\%) = \frac{\text{Variable } X_1 (\%) \times \text{Variable } X_2 (\%) \times \dots \times \text{Variable } X_n (\%)}{100^{n-1}}$$

Siguiendo el cálculo, se muestran las ecuaciones respectivas a las 4 etapas del área de elaboración:

**Índice de la Casa de cocimientos(%)**

$$= \frac{\text{Extracto de Mosto Original}(\%) \times \text{pH del mosto} (\%)}{100}$$

**Índice de Fermentación(%) =**

$$\frac{\text{Generación de levadura}(\%) \times \text{pH en fermentación}(\%) \times \text{Dicetonas vecinales}(\%) \times \text{Grado real de fermentación}(\%)}{100^3}$$

**Índice de Maduración(%) = Oxígeno Disuelto(%)**

**Índice de Filtración y Gobierno(%) =**

$$\frac{\text{Contenido alcohol}(\%) \times \text{Extracto Aparente}(\%) \times \text{pH antes de envasar}(\%) \times \text{Color}(\%) \times \text{Turbiedad}(\%) \times \text{Oxígeno Disuelto}(\%) \times \text{Amargor}(\%)}{100^6}$$

Una vez calculados los índices por etapa se procede al cálculo ponderado del sub-indicador fisicoquímico en el área de elaboración, de acuerdo al porcentaje que representan los índices de las etapas en relación con el total de las 14 variables que conforman el sub-indicador:

**Subindicador fisicoquímico en elaboración(%) =**

$$\begin{aligned} & \text{Índice Casa de Cocimientos}(\%) \left(\frac{2}{14}\right) \times \text{Índice Fermentación}(\%) \left(\frac{4}{14}\right) \times \\ & \text{Índice Maduración}(\%) \left(\frac{1}{14}\right) \times \text{Índice Filtración y Gobierno}(\%) \left(\frac{7}{14}\right) \end{aligned}$$

### Resultados objetivo del indicador fisicoquímico

Como parte de la aplicación del Ciclo de Mejora Continua al proceso de elaboración de cerveza, la gerencia estableció, como meta objetivo, tener al cierre del año 2015 un indicador fisicoquímico promedio igual al 85%. Esto requiere haber reportado en todos los meses un indicador fisicoquímico mínimo de 85% para poder alcanzar el valor objetivo final.

Recordando la estructura del indicador, para que en un mes podamos obtener dicho resultado, es necesario haber presentado en ambas áreas, de elaboración y de envasado, un control de calidad sobre el proceso equivalente al 85% en cada una.

Para poder lograr esto en el área de elaboración, todas las variables involucradas en el cálculo tienen que presentar los mejores resultados posibles para que el índice por etapa sea el máximo, y éste, a su vez, maximice su valor ponderado dentro del cálculo del subindicador fisicoquímico en elaboración. Esto requiere que al menos el 95% del total de muestras de cada variable esté dentro del rango establecido, según lo requerido por la gerencia de la planta.

De acuerdo a los estándares de calidad de la cervecería, cuando el porcentaje de muestras dentro de rango de una variable “X” está arriba del 95%, se considera a la variable “X” como aceptable o estable, así que sólo se procede a su registro semanal y

a la inclusión del resultado en el cálculo del sub-indicador fisicoquímico en elaboración sin señalización alguna.

Sin embargo, cuando dicho porcentaje está por debajo del 95%, la variable “X” se considera en un estado no aceptable, debido a que el resultado de este porcentaje no favorece el aumento del resultado final del sub-indicador.

Por tanto, cuando el porcentaje de una variable “X” no es aceptable, ésta se convierte en un foco de atención para la etapa del proceso a la que corresponde, esto compromete a los encargados de la etapa en cuestión a tomar medidas correctivas de acuerdo a la naturaleza de la variable y a la gravedad de la situación que puedan estar representando los resultados.

A continuación se presenta en la tabla 2 un resumen de los objetivos a alcanzar en la cervecería, referentes al indicador de calidad fisicoquímico:

**Tabla 2. Resultados objetivo del indicador fisicoquímico y sus sub-indicadores**

<b>Concepto</b>	<b>Periodo</b>	<b>Resultados objetivo (%)</b>
Indicador fisicoquímico	Mensual	85
	Anual	
Sub-indicador en elaboración	Mensual	85
Sub-indicador en envasado	Mensual	85
Porcentaje de muestras dentro de rango para cada variable “X” del sub-indicador en elaboración	Mensual	95

## PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Para poder llevar a cabo la aplicación del Ciclo de Mejora Continua, fue necesario estudiar el indicador fisicoquímico: su importancia como indicador clave de la eficiencia de la planta, su función en el control de calidad, cómo se calcula y reporta, las etapas del proceso que abarca, y las diferentes variables que involucra.

Una vez caracterizado el indicador fisicoquímico, se dio inicio al seguimiento del Ciclo de Deming, identificando, como primer paso, las variables que representaban una oportunidad de mejora sustancial para los resultados futuros.

Entre las variables, se confirmó al amargor como una con oportunidades de mejora sustanciales, lo que llevó a continuar con las actividades que indica la metodología del Ciclo para asegurar el control de los niveles de amargor en el futuro.

La descripción del indicador fisicoquímico y de las variables que lo conforman, fueron desarrolladas previamente en el marco teórico de este trabajo.

A continuación, se explicará a detalle el seguimiento del Ciclo de Deming, enfocado al análisis de los niveles de amargor en el proceso, y desglosando los 4 pasos principales, *Plan, Do, Check, Act* en las 8 actividades que los conforman. (*Figura 3. Pasos del Ciclo PDCA*)

El Ciclo se enfocará en el análisis de todos los tipos de cerveza producidos, sin embargo, se observará un enfoque especial en los resultados de la cerveza tipo “A” para ciertos seguimientos. Esto se debe a que es el tipo de cerveza de mayor producción, lo que

permite usar el comportamiento de sus mediciones como referencia para el resto de los tipos de cerveza elaborados.

## **Paso “PLAN” del Ciclo PDCA**

### Identificación del problema

Para poder solucionar un problema, es necesario describirlo de forma precisa, esto es, detallar la situación actual y a dónde queremos llegar al haberlo solucionado. Lo anterior requiere definir lo siguiente:

- Qué es lo que sucede.
- Momento y lugar.
- Los resultados actuales y los deseables.
- Qué factor medible nos permitirá dar seguimiento a la solución del problema
- La frecuencia de medición de dicho factor para identificar que se ha alcanzado el resultado deseado.
- Cantidad de tiempo en que queremos alcanzar el resultado objetivo.
- Unidad de medida del factor.
- Valores de referencia que deban ser conseguidos en un mediano y largo plazo.
- Si se busca el aumento o disminución del factor a medir.
- Responsable(s) de la solución del problema.

En el caso de la identificación del problema del indicador fisicoquímico, se observó en el primer semestre de 2015 un decremento del resultado mensual con respecto al resultado deseado, provocado por el aumento de mediciones fuera de rango de varias de sus variables.

El indicador o factor medible relacionado al problema continuó siendo el mismo porcentaje mensual del indicador fisicoquímico, el cual, al momento del análisis (junio 2015), reportaba un valor promedio equivalente al 81.58%.

El objetivo inicial fue aumentar el resultado mensual para así obtener, al cierre del 2015, un resultado de 85% como promedio de los 12 meses.

Este objetivo hubiera requerido tener durante el segundo semestre, un resultado mensual de 88.5%, lo que sobrepasa el objetivo establecido para cada mes (*Ver tabla 2*). Es por esto que se decidió buscar un mínimo mensual a partir de julio equivalente al 85%; con ello aumentaría el resultado del indicador y el nivel de control de calidad en el proceso de elaboración al cierre del año.

Como responsables del procedimiento fueron considerados el jefe del área elaboración y los representantes encargados de las etapas de cocimientos y fermentación, y de maduración y filtración, respectivamente.

### **Análisis histórico**

Posterior a la identificación del problema, se procedió a realizar el análisis histórico del indicador fisicoquímico.

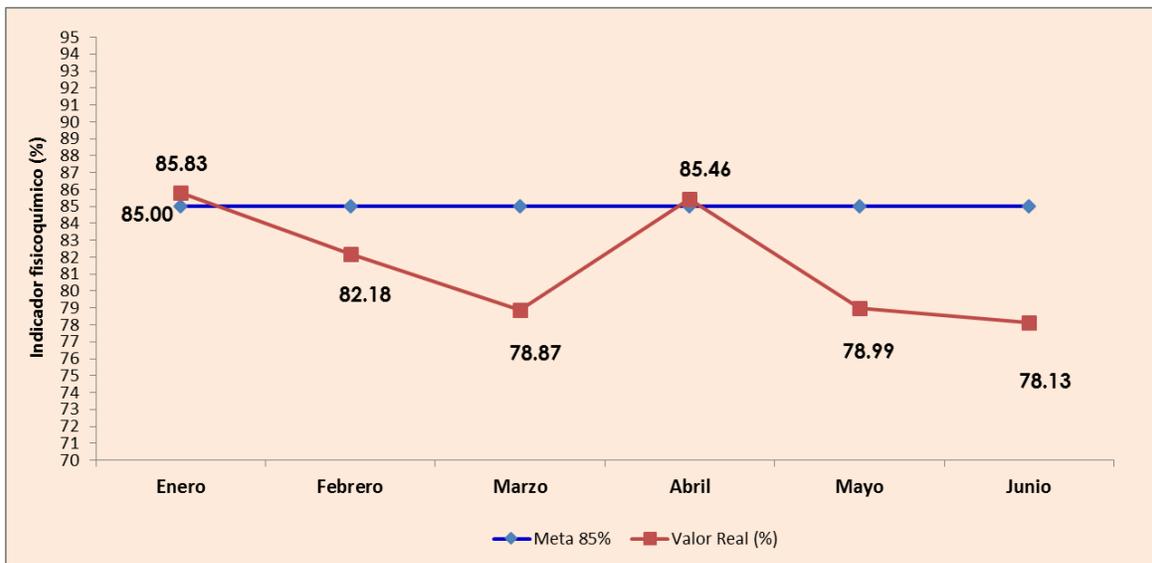
En la tabla 3 se muestran los resultados mensuales del indicador fisicoquímico; en la tabla posterior (*Tabla 4. Promedio acumulado del indicador fisicoquímico de enero a junio de 2015*) se muestra el resultado del promedio acumulado conforme fue avanzando el primer semestre del año. Se debe recordar que estos valores incluyen los resultados de

los procesos de elaboración y envasado, debido a que el objetivo del análisis histórico es obtener un panorama general de la situación. Los resultados pertenecen a todos los tipos de cerveza elaborados en la cervecería, entre los cuales se incluyen las cervezas tipo “A” y tipo “B”.

**Tabla 3. Resultados del indicador fisicoquímico de enero a junio de 2015.**

Comparación mensual	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Meta (%)	85.00	85.00	85.00	85.00	85.00	85.00
Valor Real (%)	85.83	82.18	78.87	85.46	78.99	78.13

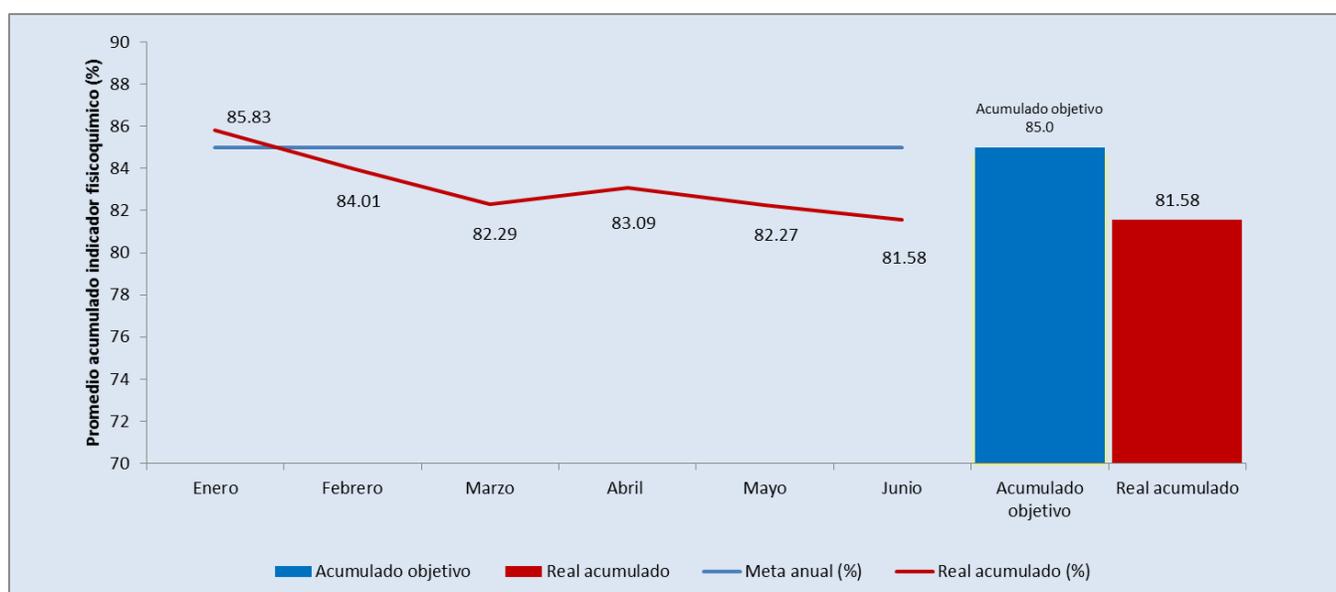
**Gráfico 1. Resultados del indicador fisicoquímico de enero a junio de 2015.**



**Tabla 4. Promedio acumulado del indicador fisicoquímico de enero a junio de 2015**

Comparación avance 1er semestre 2015	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Meta anual (%)	85.00	85.00	85.00	85.00	85.00	85.00
Real acumulado (%)	85.83	84.01	82.29	83.09	82.27	81.58

**Gráfico 2. Promedio acumulado del indicador fisicoquímico de enero a junio de 2015.**



Si se observan los resultados mensuales de la tabla 3, pueden calificarse los resultados de enero y abril (85.83% y 85.46% respectivamente) como satisfactorios, sin embargo, esto no fue suficiente para mejorar en su totalidad el resultado acumulado de la tabla 4, que decreció con respecto al objetivo establecido al iniciar el año.

Puede pensarse que la meta mensual de 85% para el indicador se encontraba fuera del alcance de la cervecería, debido a numerosos factores; pudiera ser por falta de personal o por condición limitada de las instalaciones o de los equipos de medición.

Sin embargo, esta meta mensual se consideró razonable por dos motivos; el valor promedio acumulado del 2014 fue 83%, lo que es bastante cercano al objetivo del 2015; por otro lado, los meses de enero y abril del primer semestre rebasaron esta meta, lo que indica que es posible tener ese nivel de control en las variables del proceso.

Una vez analizados los resultados de la primer parte del año, fue necesario recopilar información de las variables del indicador fisicoquímico, con el fin de encontrar la causa de que no se estuviera logrando la meta mensual establecida después de 6 meses de operación.

### Observación

La observación tiene como objetivo conocer el problema más a fondo a través de la recolección y estratificación de los datos involucrados, ya sea con histogramas, o series de tiempo, entre otras herramientas.

Se observó que el indicador fisicoquímico presentaba, hasta la fecha del análisis, resultados por debajo del objetivo; esto nos lleva a la conclusión de que alguna o varias de las variables involucradas en su cálculo no estaban presentando resultados aceptables.

Recordando el alcance del trabajo, se analizaron únicamente las variables del sub-indicador fisicoquímico en elaboración, con la intención de encontrar las que más presentaran resultados fuera de rango durante el periodo de enero a junio del 2015. Para lograrlo, se tuvieron que identificar también las partes del proceso que presentaban más mediciones fuera de rango relacionadas a dichas variables.

## Observación de los datos a través del Diagrama de Pareto

Se utilizó una herramienta conocida como el Diagrama de Pareto, cuyo fin es encontrar las variables que tengan una relación mayor con la situación que estemos estudiando, a partir de la presentación estratificada de los datos.

El Diagrama de Pareto parte del principio de administrar de forma eficiente los recursos que se tienen a la mano (tiempo, dinero y energía) para eliminar las fuentes principales de los problemas, y de la teoría de que dichas fuentes principales representan, en la mayoría de las situaciones, sólo un 20% de todas las fuentes existentes. Este 20% de las fuentes genera el 80% de los problemas que se presenten, según lo expuesto por Vilfredo Pareto al proponer el diagrama que lleva su nombre, el cual fue adoptado por Joseph M. Juran para su aplicación en la administración.

(Goetsch & Davis, 1997)

Primero se utilizó el diagrama para identificar qué etapa del área de elaboración presentaba la mayor cantidad de mediciones fuera de rango, o mediciones “No Ok”, en sus respectivas variables; en las mediciones se toman en cuenta los resultados de todos los tipos de cerveza producidos en cada mes. Los pasos para elaborar el diagrama se irán explicando a continuación.

El diagrama parte de la recopilación del número total de casos fuera de rango, o fuera de norma, en cada etapa, se obtuvo el resultado mensual, y se organizó como se muestra en las siguientes tablas ejemplo del mes de enero (tablas 5 y 6):

**Tabla 5. Cantidad de datos fuera de rango en las diferentes etapas del área de elaboración en enero 2015**

Etapa	Número de mediciones fuera de norma
CASA DE COCIMIENTOS	9
FERMENTACIÓN	97
MADURACIÓN	0
FILTRACIÓN Y GOBIERNO	321
<b>Total mediciones fuera de rango</b>	<b>427</b>

Las etapas fueron organizadas de mayor a menor número de mediciones fuera de rango registradas; posteriormente se calculó la frecuencia relativa, que es el porcentaje que las mediciones fuera de rango en cada etapa representaban con respecto al total de mediciones fuera de rango del área.

Además, se calculó la frecuencia acumulada como la suma de la frecuencia relativa de las etapas ya ordenadas, hasta llegar al 100% con la suma de la frecuencia relativa de la etapa que presentó menos mediciones de este tipo:

**Tabla 6. Etapas ordenadas por número descendente de mediciones fuera de rango, frecuencias relativas y frecuencia acumulada en el mes de enero de 2015**

Etapa	Casos No Ok	Frecuencia relativa	Frecuencia Acumulada
FILTRACIÓN Y GOBIERNO	321	75%	75%
FERMENTACIÓN	97	23%	98%
CASA DE COCIMIENTOS	9	2%	100%
MADURACIÓN	0	0%	100%
Total mediciones fuera de rango	427		

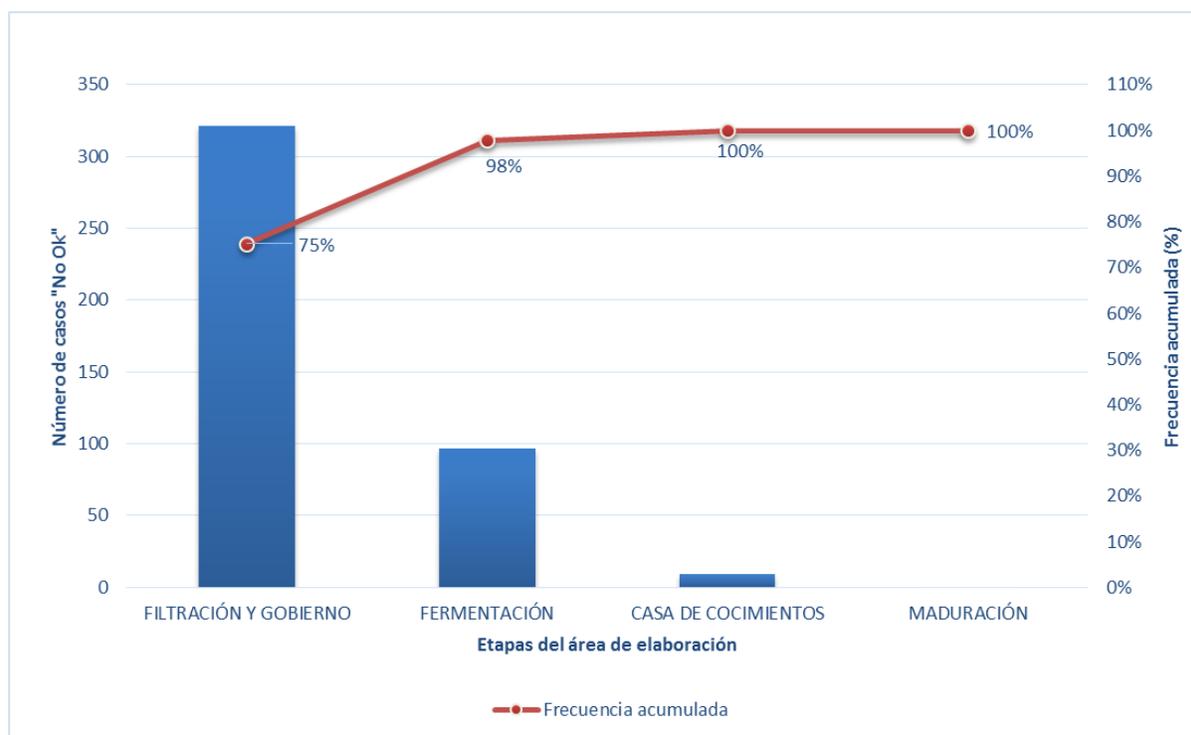
Se identificaron en amarillo las etapas que, con sus respectivas frecuencias relativas, logran sumar el 80% de frecuencia acumulada. Esto las identifica como las etapas donde más se presentan mediciones poco satisfactorias.

Las etapas coloreadas en gris representan al resto que, con su frecuencia relativa, completan el 100% de la frecuencia acumulada; su influencia es mínima sobre la situación analizada.

Estos datos son utilizados para elaborar el Diagrama de Pareto, que consiste en la unión de un gráfico de barras, que representa la contribución al número de casos “No Ok” de cada etapa, junto con un gráfico lineal que representa la frecuencia acumulada.

La contribución a los casos “No Ok” de cada área queda representada en el eje vertical izquierdo con el número total de casos por área, y en el eje derecho como un porcentaje acumulado, que se interpreta como la aportación acumulada de cada área al número de casos fuera de rango a lo largo del proceso de elaboración. El resultado del gráfico se muestra a continuación:

**Gráfico 3. Diagrama de Pareto para las etapas de elaboración, enero 2015**



Así como se realizó el Diagrama de Pareto para analizar las etapas en elaboración en el mes de enero, se elaboró el mismo para el resto de los meses hasta junio del 2015.

En todos ellos se identificó que la etapa donde había variables con más mediciones fuera de rango era la etapa de filtración ( o “filtración y gobierno” ) , lo cual era de esperarse debido a que ésta es la etapa en que se miden más variables (un total de 7). Por lo tanto, se volvió a realizar el análisis con el Diagrama de Pareto únicamente para esta etapa, utilizando la cantidad de mediciones fuera de rango por variable.

El total de mediciones llevadas a cabo para cada variable, y el total de las que resultan dentro de rango, se localizan fácilmente en el reporte mensual del indicador

fisicoquímico. La resta de ambos permite obtener el total de mediciones fuera de rango, lo que es suficiente para elaborar el diagrama nuevamente.

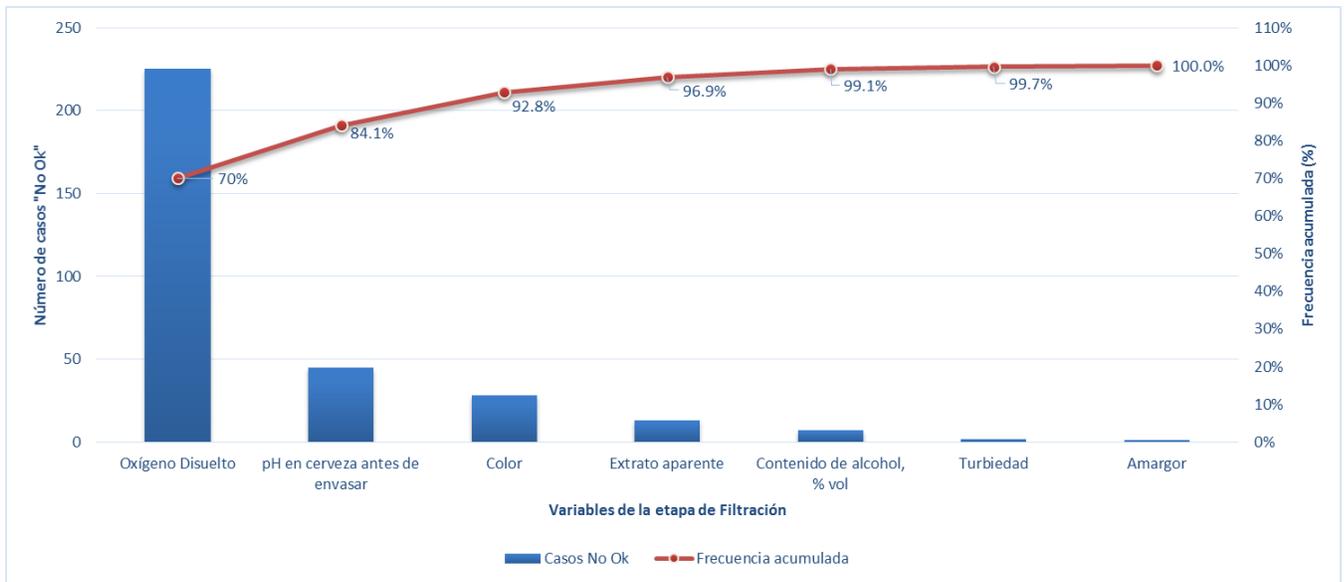
Se calculó el total de mediciones fuera de rango para cada variable, para cada mes transcurrido, se ordenaron las variables de mayor a menor número de mediciones y, una vez ordenadas las variables, se obtuvo la frecuencia relativa de cada una.

Fue gracias a la frecuencia acumulada que se pudo graficar y visualizar en el diagrama aquellas variables que tuvieron mayor número de mediciones fuera de norma, correspondientes a la etapa de filtración, como se muestra en la tabla 7:

**Tabla 7. Análisis de casos fuera de rango de las variables en filtración, enero 2015**

Filtración (Tanque de cerveza brillante)	Casos No Ok	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada
Oxígeno Disuelto	225	70.1%	70%
pH en cerveza antes de envasar	45	14.0%	84.1%
Color	28	8.7%	92.8%
Extrato aparente	13	4.0%	96.9%
Contenido de alcohol, % vol	7	2.2%	99.1%
Turbiedad	2	0.6%	99.7%
Amargor	1	0.3%	100.0%
Total	321		

**Gráfico 4. Análisis de casos fuera de rango de las variables en filtración, enero 2015**



Puede observarse que las variables se grafican de izquierda a derecha conforme va disminuyendo la cantidad de mediciones fuera de rango, quedando a la izquierda aquellas variables que más incidieron y que conforman el 80% de mediciones fuera de rango para la etapa de filtración, y a la derecha aquellas variables que conforman el 20% del total de estas mediciones no satisfactorias, según se puede ver en la frecuencia acumulada dentro de la gráfica.

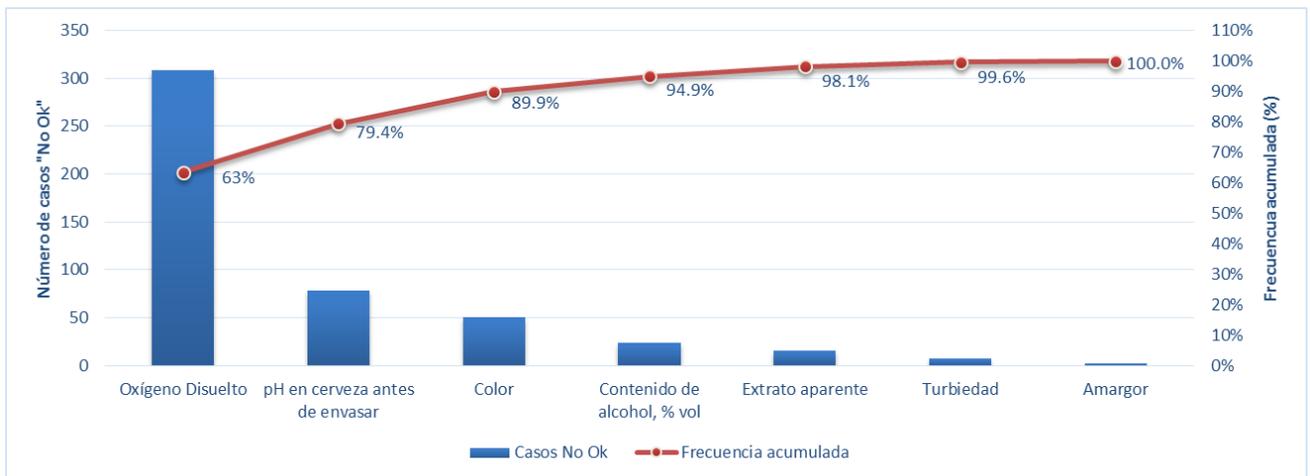
Las variables que fueron formando parte del 80% en la etapa de filtración variaron en el primer semestre de 2015, como se muestra en las siguientes tablas que contienen las variables ordenadas por número de mediciones fuera de rango, frecuencias relativas y frecuencia acumulada en cada mes; y en los diagramas de Pareto respectivos.

Variables fuera de rango en la etapa de filtración, primer semestre 2015

**Tabla 8. Análisis de las variables en filtración, febrero 2015**

Filtración (Tanque de cerveza brillante)	Casos No Ok	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada
Oxígeno Disuelto	308	63.4%	63%
pH en cerveza antes de envasar	78	16.0%	79.4%
Color	51	10.5%	89.9%
Contenido de alcohol, % vol	24	4.9%	94.9%
Extrato aparente	16	3.3%	98.1%
Turbiedad	7	1.4%	99.6%
Amargor	2	0.4%	100.0%
Total	486		

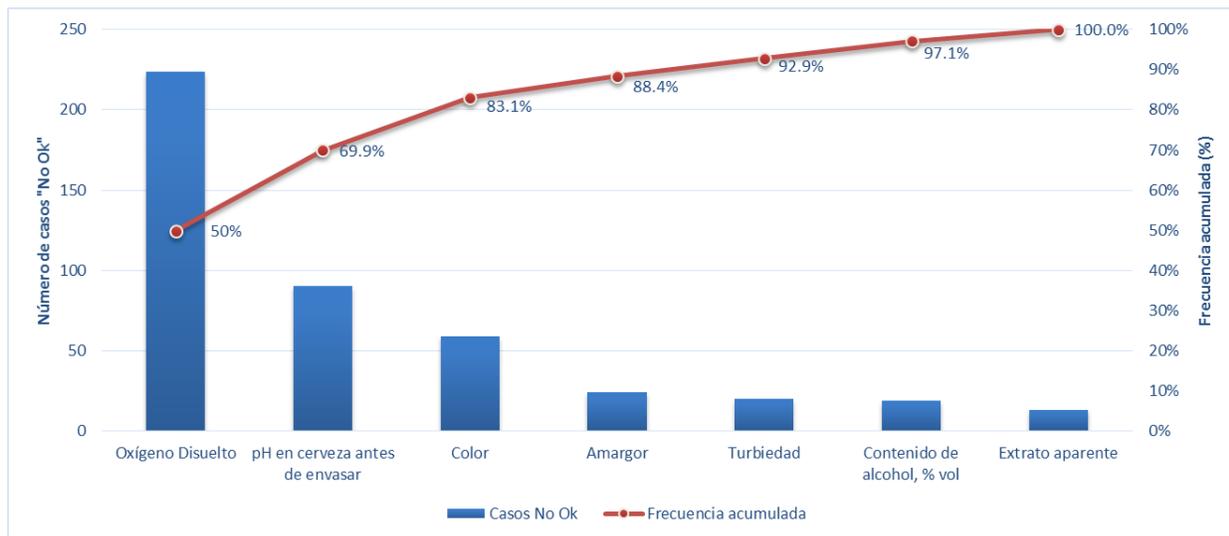
**Gráfico 5. Diagrama de Pareto – filtración, febrero 2015**



**Tabla 9. Análisis de las variables en filtración, marzo 2015**

Filtración (Tanque de cerveza brillante)	Casos No Ok	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada
Oxígeno Disuelto	224	49.9%	50%
pH en cerveza antes de envasar	90	20.0%	69.9%
Color	59	13.1%	83.1%
Amargor	24	5.3%	88.4%
Turbiedad	20	4.5%	92.9%
Contenido de alcohol, % vol	19	4.2%	97.1%
Extrato aparente	13	2.9%	100.0%
Total	449		

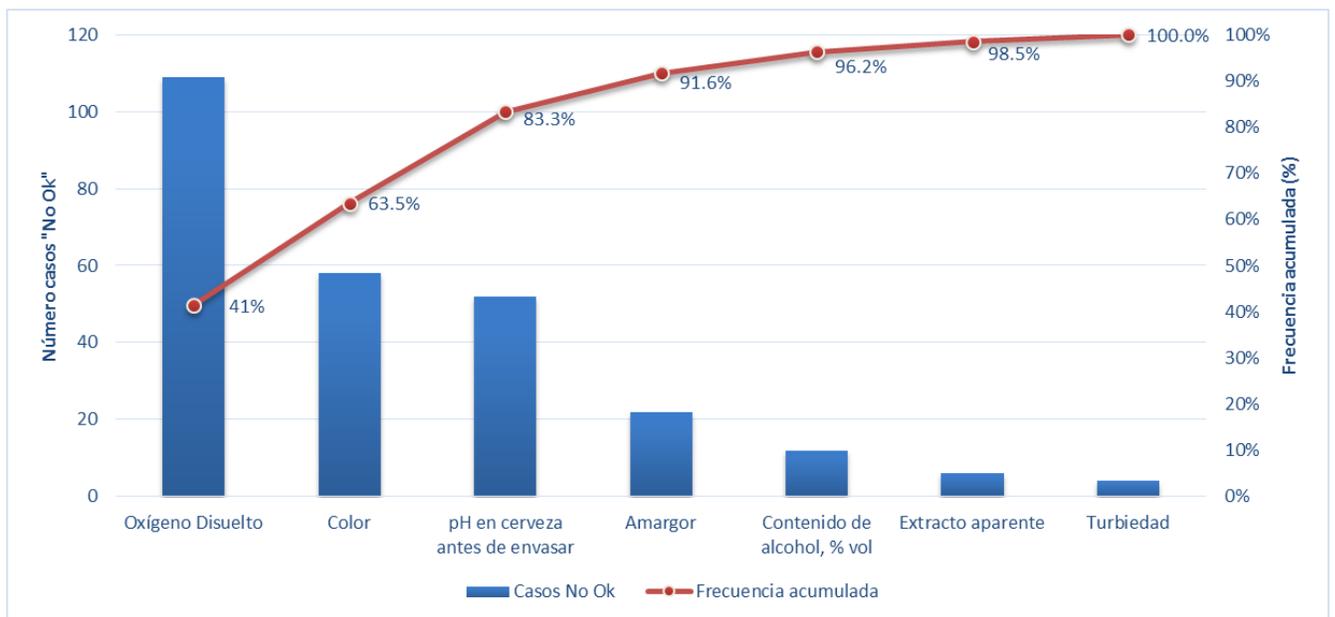
**Gráfico 6. Diagrama de Pareto - filtración, marzo 2015**



**Tabla 10. Análisis de las variables en filtración, abril 2015**

Filtración (Tanque de cerveza brillante)	Casos No Ok	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada
Oxígeno Disuelto	109	41.4%	41%
Color	58	22.1%	63.5%
pH en cerveza antes de envasar	52	19.8%	83.3%
Amargor	22	8.4%	91.6%
Contenido de alcohol, % vol	12	4.6%	96.2%
Extracto aparente	6	2.3%	98.5%
Turbiedad	4	1.5%	100.0%
Total	263		

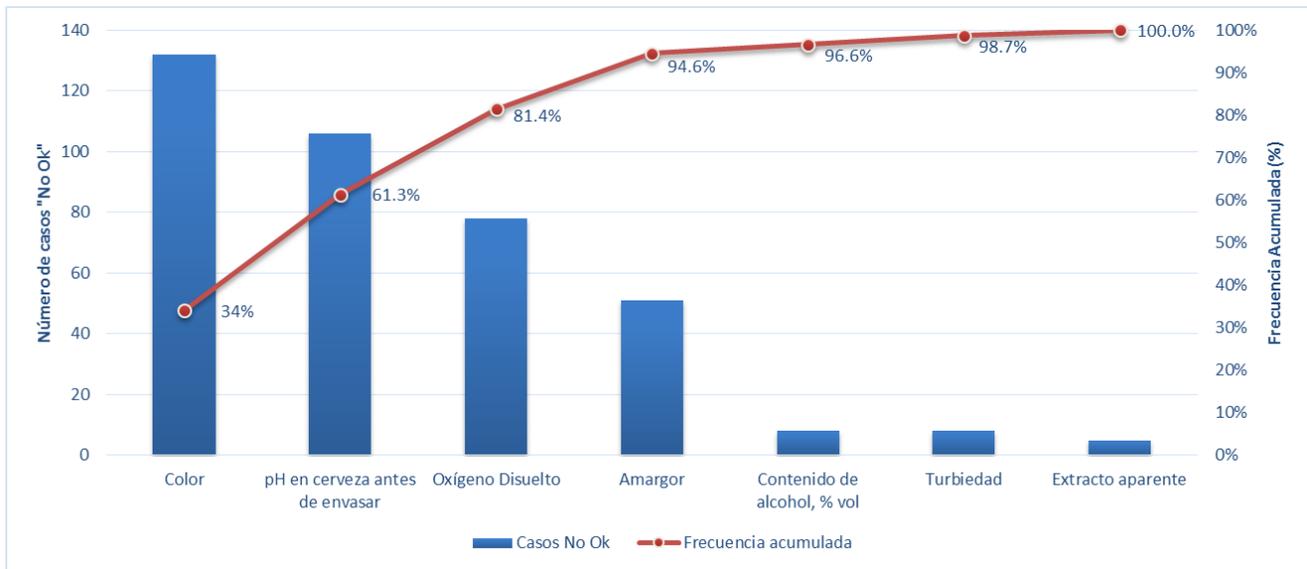
**Gráfico 7. Diagrama de Pareto - filtración, abril 2015.**



**Tabla 11. Análisis de las variables en filtración, mayo 2015**

Filtración (Tanque de cerveza brillante)	Casos No Ok	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada
Color	132	34.0%	34%
pH en cerveza antes de envasar	106	27.3%	61.3%
Oxígeno Disuelto	78	20.1%	81.4%
Amargor	51	13.1%	94.6%
Contenido de alcohol, % vol	8	2.1%	96.6%
Turbiedad	8	2.1%	98.7%
Extracto aparente	5	1.3%	100.0%
Total	388		

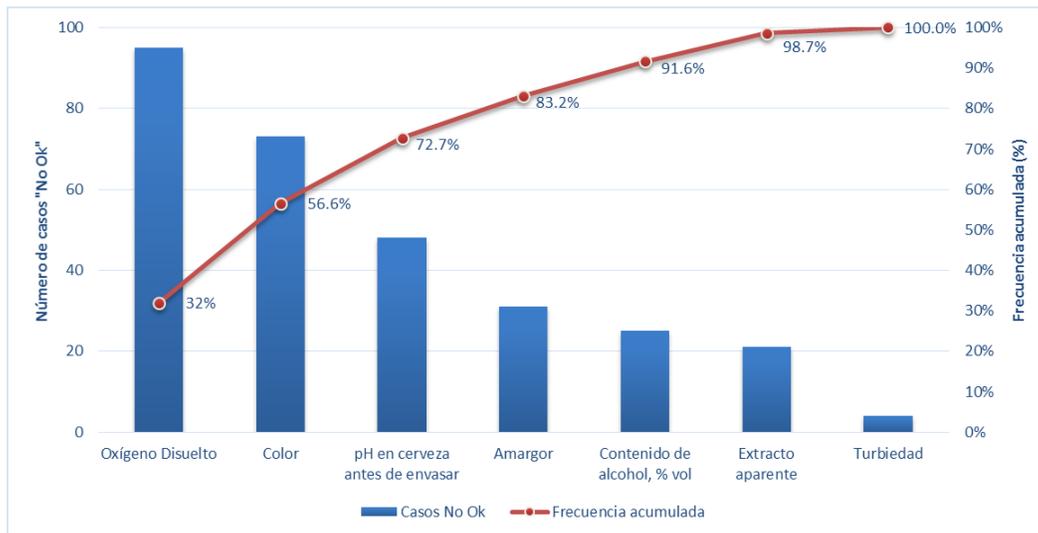
**Gráfico 8. Diagrama de Pareto - filtración, mayo 2015**



**Tabla 12. Análisis de las variables en filtración, junio 2015**

Filtración (Tanque de cerveza brillante)	Casos No Ok	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada
Oxígeno Disuelto	95	32.0%	32%
Color	73	24.6%	56.6%
pH en cerveza antes de envasar	48	16.2%	72.7%
Amargor	31	10.4%	83.2%
Contenido de alcohol, % vol	25	8.4%	91.6%
Extracto aparente	21	7.1%	98.7%
Turbiedad	4	1.3%	100.0%
Total	297		

**Gráfico 9. Diagrama de Pareto - filtración, junio 2015**



En cada mes pueden visualizarse fácilmente todas las variables involucradas en la mayoría de mediciones fuera de rango, o sea, las que forman parte del 80% de la frecuencia acumulada.

Las variables incidentes principales al cierre del primer semestre 2015 fueron el oxígeno disuelto, el color, el pH de la cerveza antes de envasar, y el amargor.

Lo primero que resalta en todos los meses es el oxígeno disuelto; éste se descartó como variable a analizar debido a que un grupo conformado por personal de análisis de Cuartos Fríos (sección del proceso que abarca las etapas de maduración o reposo, y filtración y gobierno) ya estaba realizando un tratamiento similar al que se quiere exponer a continuación para esa variable.

Dicho estudio surgió a raíz de resultados no satisfactorios del oxígeno disuelto desde finales del 2014, y donde, como hipótesis, se adjudicó la cantidad de mediciones fuera de rango a la falta de medidores en la cervecería, y al no tan buen funcionamiento de los existentes, además de variaciones en el procedimiento del llenado de tanques en gobierno.

Analizando los resultados del color, puede observarse el aumento de los datos poco satisfactorios desde el mes de febrero, así como su punto de incidencia más alto en el mes de mayo.

Los resultados con respecto a esta variable ya se habían relacionado con la falta de personal en el laboratorio para realizar adecuadamente las mediciones de color al haberse solicitado, por parte de Cuartos Fríos, un aumento de mediciones de oxígeno disuelto directamente en los tanques previos al envasado. Este requerimiento surgió del análisis previamente comentado, iniciado al cierre de 2014.

El departamento de elaboración consideró no tratar la variable del color a mayor profundidad por la facilidad de corregir los niveles del mismo en la cerveza antes de mandarla a envasar.

Por otro lado, el comportamiento del amargor fue similar el del color; representaba un 0.3% del total de mediciones fuera de rango en el mes de enero, y fue aumentando su incidencia hasta formar parte de las variables que influían en un 80% los datos poco satisfactorios del mes de junio.

Otra variable incidente importante fue el pH en la cerveza antes de envasar, la cual se mantuvo en un nivel fuera de rango importante desde inicios del año. Sin embargo, los encargados del área de elaboración consideraron pertinente realizar el análisis enfocado al amargor; ya que la falta de IBU (unidades de amargor en la cerveza) en Cuartos Fríos, es difícil de corregir, y por tanto, una situación prioritaria.

También se prefirió tratar la variable antes que realizar el análisis del pH en los tanques previos al envasado. Esto se debió a que, según la secuencia que tiene el proceso, la adición del lúpulo sucede antes que el primer cambio importante del pH, que es en los tanques de fermentación y, por supuesto, antes de los cambios finales que se reflejan en el pH de la cerveza antes de envasar.

La adición del lúpulo es un primer paso a observar detenidamente para el tratamiento de las unidades de amargor; por lo anterior, se decidió llevar a cabo el análisis de esta variable continuando con las actividades indicadas por el Ciclo *PDCA*.

Una vez definido lo anterior, se regresó al análisis de todas las etapas de elaboración, (*Gráfico 3 Diagrama de Pareto para las etapas de elaboración, enero 2015*). En él se puede observar que la segunda etapa del proceso con más mediciones fuera de rango era la fermentación, siendo también parte del 80% de las etapas incidentes.

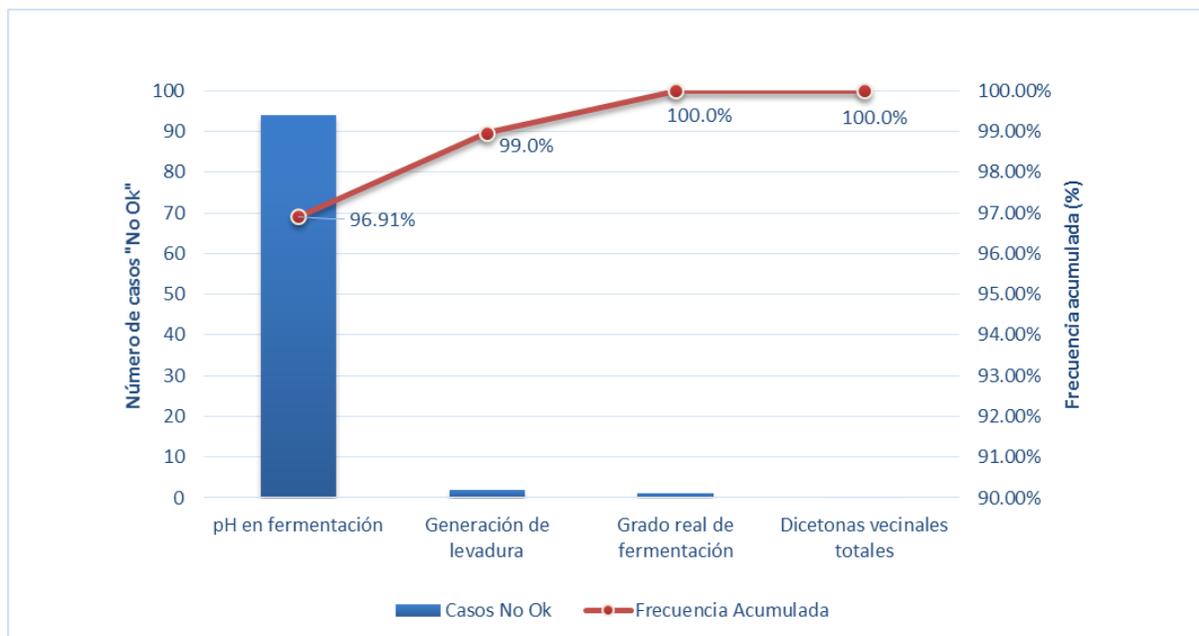
Es por esto que se elaboraron, para cada mes de enero a junio, Diagramas de Pareto que analizaran únicamente esta etapa, de la cual los resultados pueden apreciarse en las tablas y gráficos de la siguiente sección.

*Variables fuera de rango en la etapa de fermentación, primer semestre 2015*

**Tabla 13. Análisis de las variables en fermentación, enero 2015**

Fermentación	Casos No Ok	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada
pH en fermentación	94	96.91%	96.91%
Generación de levadura	2	2.1%	99.0%
Grado real de fermentación	1	1.0%	100.0%
Dicetonas vecinales totales	0	0.0%	100.0%
Total	97		

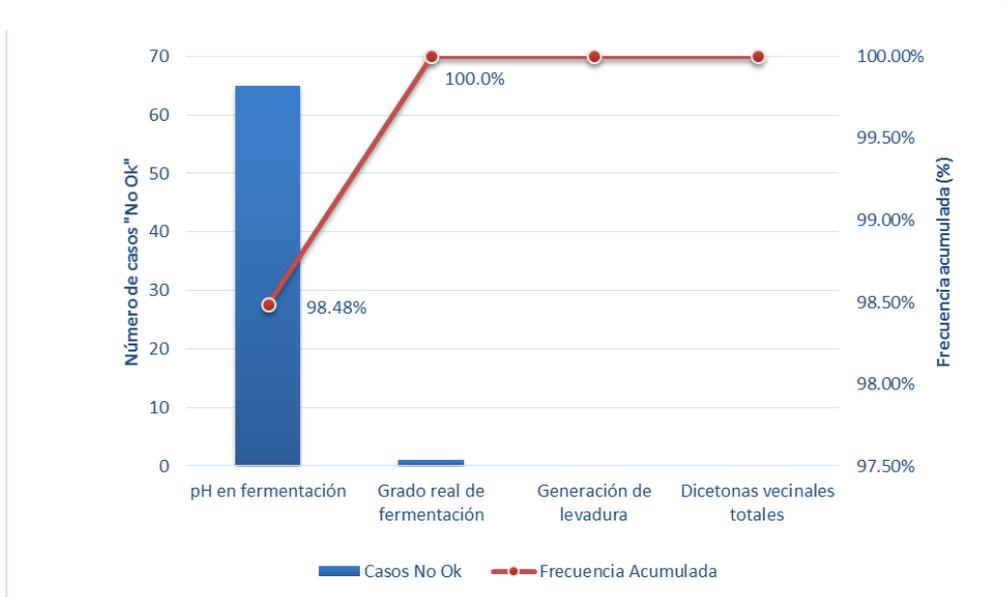
**Gráfico 10. Diagrama de Pareto – fermentación, enero 2015**



**Tabla 14. Análisis de las variables en fermentación, febrero 2015**

Fermentación	Casos No Ok	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada
pH en fermentación	65	98.48%	98.48%
Grado real de fermentación	1	1.5%	100.0%
Generación de levadura	0	0.0%	100.0%
Dicetonas vecinales totales	0	0.0%	100.0%
Total	66		

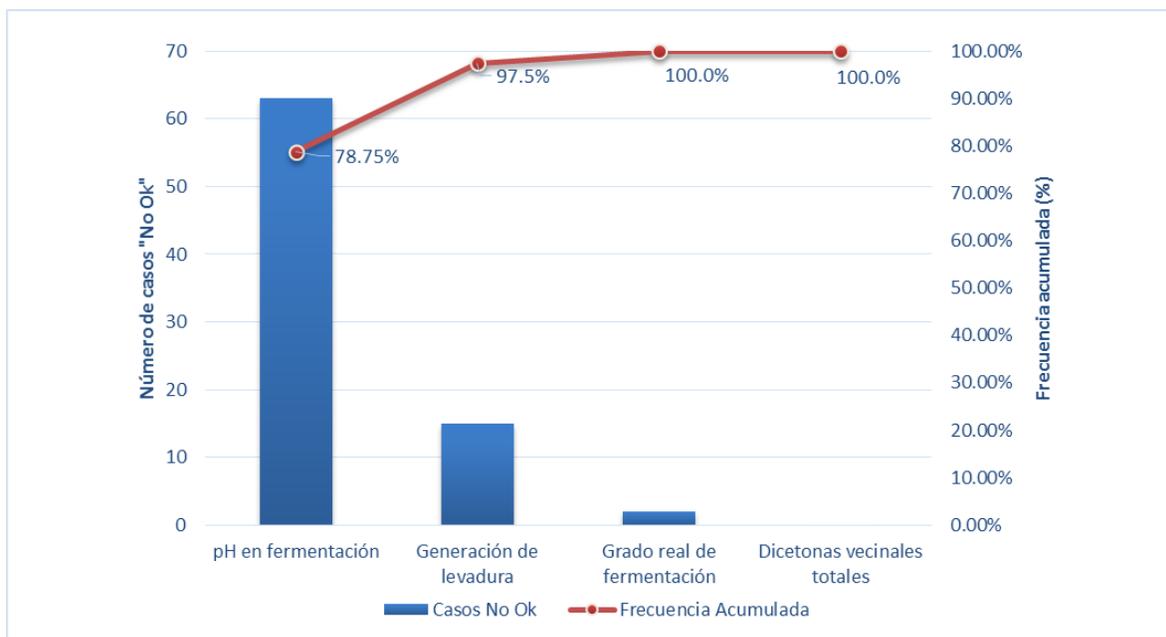
**Gráfico 11. Diagrama de Pareto - fermentación, febrero 2015**



**Tabla 15. Análisis de las variables en fermentación, marzo 2015**

Fermentación	Casos No Ok	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada
pH en fermentación	63	78.75%	78.75%
Generación de levadura	15	18.8%	97.5%
Grado real de fermentación	2	2.5%	100.0%
Dicetonas vecinales totales	0	0.0%	100.0%
Total	80		

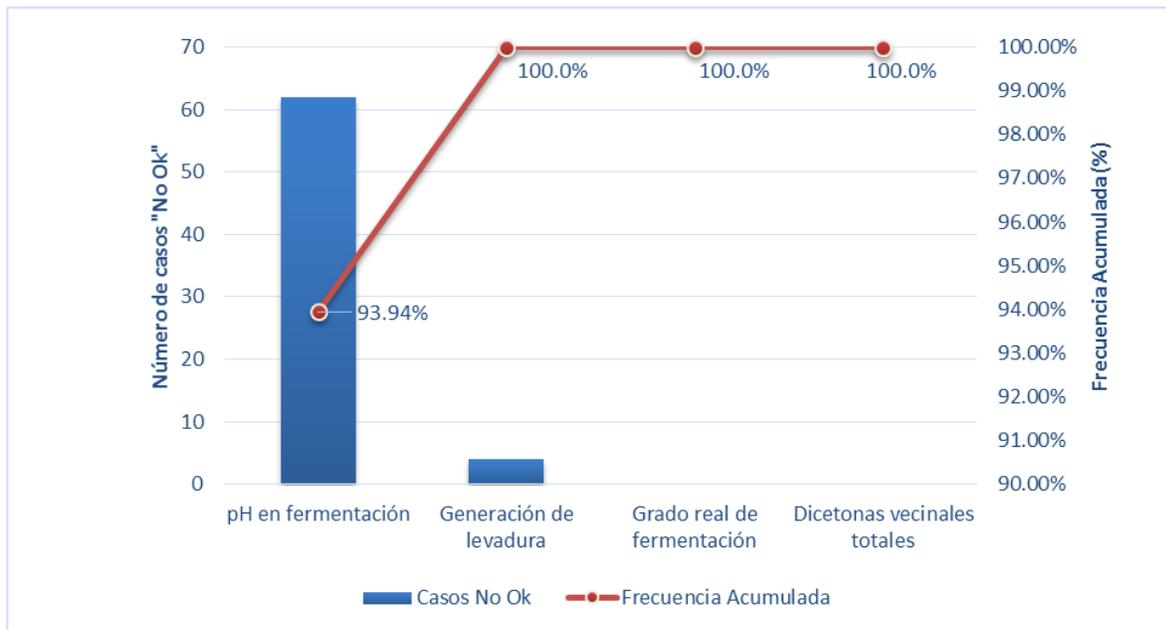
**Gráfico 12. Diagrama de Pareto - fermentación, marzo 2015**



**Tabla 16. Análisis de las variables en fermentación, abril 2015**

Fermentación	Casos No Ok	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada
pH en fermentación	62	93.94%	93.94%
Generación de levadura	4	6.1%	100.0%
Grado real de fermentación	0	0.0%	100.0%
Dicetonas vecinales totales	0	0.0%	100.0%
Total	66		

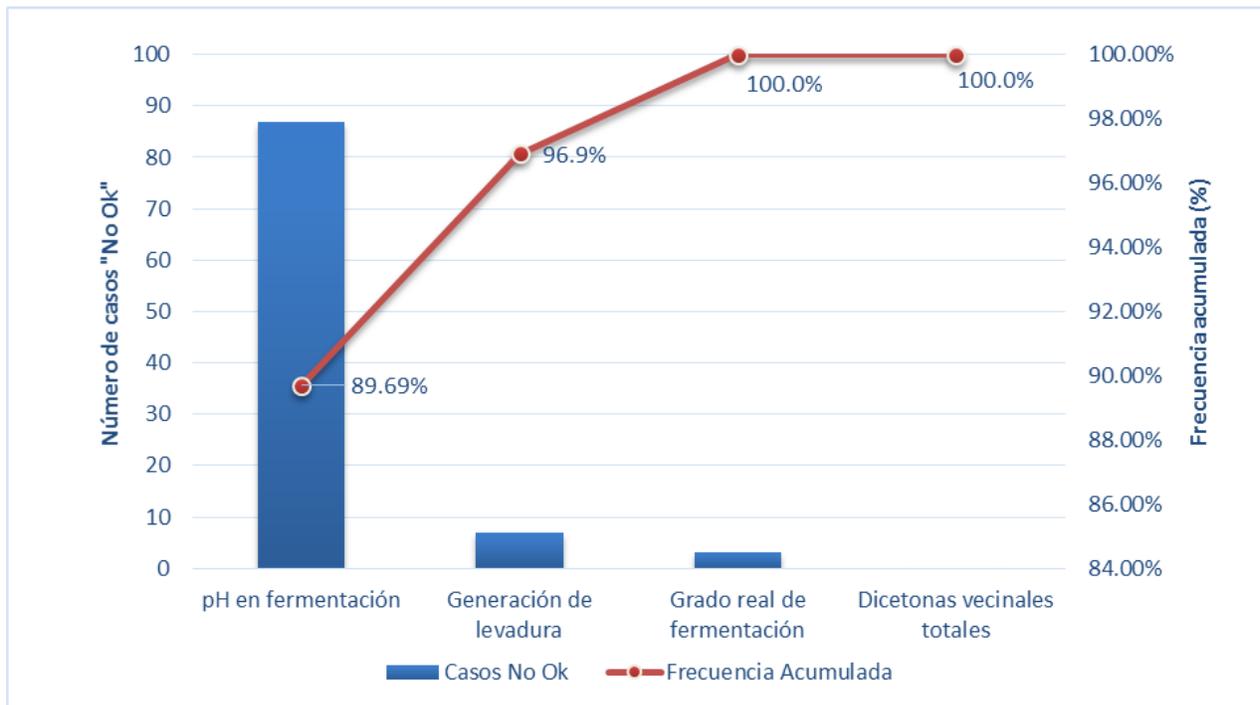
**Gráfico 13. Diagrama de Pareto - fermentación, abril 2015**



**Tabla 17. Análisis de las variables en fermentación, mayo 2015**

Fermentación	Casos No Ok	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada
pH en fermentación	87	89.69%	89.69%
Generación de levadura	7	7.2%	96.9%
Grado real de fermentación	3	3.1%	100.0%
Dicetonas vecinales totales	0	0.0%	100.0%
Total	97		

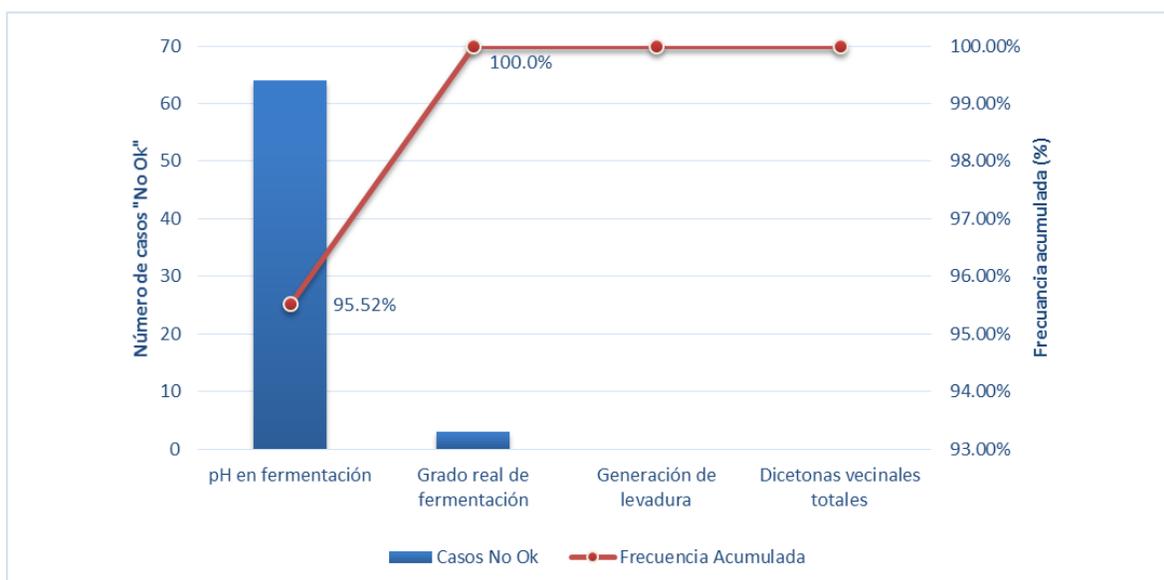
**Gráfico 14. Diagrama de Pareto - fermentación, mayo 2015**



**Tabla 18. Análisis de las variables en fermentación, junio 2015**

Fermentación	Casos No Ok	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada
pH en fermentación	64	95.52%	95.52%
Grado real de fermentación	3	4.5%	100.0%
Generación de levadura	0	0.0%	100.0%
Dicetonas vecinales totales	0	0.0%	100.0%
Total	67		

**Gráfico 15. Diagrama de Pareto - fermentación, junio 2015**



En el caso de esta etapa, puede observarse que la variable con mayor número de mediciones no satisfactorias en todos los meses fue el pH al final de la fermentación.

Se hizo la observación de la falta de medición de las unidades de amargor en esta etapa del proceso; esto hubiera sido un buen marco histórico para la variable y para la etapa

en particular, y hubiera permitido corroborar si las unidades de amargor en el mosto presentaban también datos fuera de norma.

Se concluyó que al finalizar el tratamiento de las unidades de amargor se realizaría el debido proceso para analizar el pH en toda el área de elaboración.

## Proceso de análisis

### Tratamiento de las unidades de amargor

Según lo observado en los paretos elaborados anteriormente para la etapa de filtración, los reportes mensuales del indicador fisicoquímico tenían registrados valores no aceptables para el amargor en los meses de marzo, abril, mayo y junio.

Para encontrar el porqué del aumento de las mediciones fuera de rango de unidades de amargor conforme iba avanzando el semestre, se procedió a realizar un análisis estadístico de los valores mensuales de IBU reportados en la cervecería.

El fin último de este tratamiento de datos fue el de disminuir en los meses posteriores el número de muestras fuera de rango, hasta que los resultados de IBU se consideraran como aceptables (lo equivalente a un porcentaje de muestras dentro de rango por arriba del 95%), y el de aplicar medidas para que esto se mantuviera el resto del año. En otras palabras, se buscó asegurar que el valor de la variable en todas las muestras estuviera dentro del estándar, sin importar el tipo de cerveza.

Logrando esto, el resultado mensual del indicador fisicoquímico no se vería disminuido por el porcentaje de mediciones fuera de rango relacionadas al amargor, y se alcanzaría con mayor facilidad un porcentaje aceptable, cerca del 85%, al cierre del año.

#### Antecedentes. Análisis estadístico del control del proceso

Para comenzar con el análisis estadístico, se recolectaron todos los datos disponibles en la cervecería con respecto al amargor a lo largo del 2015, posteriormente se tabularon para analizar la respectiva tendencia y los puntos de variabilidad en un formato conocido como gráfico de control.

Finalizando el primer semestre, se obtuvieron dos historiales: el principal, que correspondía a los resultados del número de mediciones de IBU aceptables en los reportes del indicador fisicoquímico de enero a junio, de todos los tipos de cerveza; y el secundario, que consistió en datos de IBU recolectados aleatoriamente del tipo de cerveza “A”, a partir de muestras en los tanques de fermentación, también de enero a junio del mismo año.

Posteriormente, se analizaron los historiales a través de gráficos de control, los cuales forman parte de las herramientas de calidad total básicas para la mejora continua. Su uso no se indica explícitamente dentro de la metodología del Ciclo PDCA utilizado en la cervecería, sin embargo, se elaboraron con el fin de complementar el análisis.

El gráfico de control fue diseñado por Walter Andrew Shewhart en 1920, y actualmente se utiliza con el fin de reducir la variabilidad en el proceso, puesto que identifica comportamientos o eventualidades que son provocadas por causas específicas en el tiempo, y no por la variabilidad natural del proceso analizado.

A su vez, los gráficos de control permiten estimar parámetros del proceso como el promedio de los resultados y la desviación estándar, definiendo así la capacidad del proceso de generar unidades aceptables. Los gráficos pueden representar variables continuas, como lo son los resultados de las unidades de amargor; también se pueden utilizar con “atributos”, como las cualidades de una medición, esto es, cuando se califica como aceptable o no. De esto se puede observar el comportamiento de la fracción de mediciones no aceptables, o de unidades defectuosas, producidas a lo largo del tiempo.

(Goetsch & Davis, 1997)

(Montgomery, 2013)

A continuación se desarrollarán los gráficos de control correspondientes a la información de los historiales iniciales de las unidades de amargor.

### *Historial principal*

En relación con el historial principal, se debe recordar que las mediciones de las unidades de amargor en la cerveza sólo se realizan a partir de muestras en la parte de gobierno, en los tanques de cerveza lista para envasar. Éstos son los datos que se utilizan para el reporte del indicador fisicoquímico en la cervecería mes a mes, e incluyen los resultados de todos los tipos de cerveza producidos en la planta.

En la siguiente tabla puede verse un resumen mensual, de la primera mitad del 2015, del número total de muestras para la medición del amargor en gobierno de

todos los tipos de cerveza, del cual se reporta la cantidad de muestras que estuvieron dentro del rango y también la cantidad de las que no, junto con el porcentaje de muestras aceptables y el estado reportado de la variable en cada mes:

**Tabla 19. Resumen de los resultados mensuales de las unidades de amargor enero-junio 2015**

<b>2015</b>	<b>Total muestras</b>	<b>No. muestras dentro de rango</b>	<b>No. muestras fuera de rango</b>	<b>Porcentaje de muestras dentro de rango</b>	<b>Estado</b>
ENERO	77	76	1	99.351	Aceptable
FEBRERO	88	86	2	98.864	Aceptable
MARZO	97	73	24	87.629	No Aceptable
ABRIL	112	90	22	90.179	No Aceptable
MAYO	135	84	51	81.111	No Aceptable
JUNIO	63	32	31	75.397	No Aceptable

Del resumen anterior puede observarse que las muestras para medición de unidades de amargor en los meses de marzo, abril, mayo y junio presentaron resultados no aceptables, lo que coincide con lo observado en los paretos.

Para analizar de forma más completa los datos anteriores, se realizó un gráfico de control de atributos tipo  $p$ , que refleja el comportamiento de la fracción de las muestras calificadas como no aceptables de forma mensual.

En este tipo de gráfico, y para el presente caso de estudio,  $p$  es la fracción de muestras de IBU fuera de rango propia de los tanques de gobierno, esto es, propia del proceso; dicho valor no se había determinado aún.

Para obtener un estimado de  $p$ , se calculó  $\hat{p}_i$ , que es la fracción de mediciones fuera de rango con respecto al número total de mediciones realizado en cada mes  $i$ . Con estas fracciones  $\hat{p}_i$ , y con  $m$  igual al número de puntos o meses graficados, se obtuvo el estadístico  $\bar{p}$ :

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^m p_i}{m} = \frac{1.35}{6} = 0.22$$

Este valor será la referencia o línea central del gráfico de control.

Para calcular el Límite Superior de Control de  $p$  ( $LSC_p$ ), y el Límite Inferior de Control de  $p$  ( $LIC_p$ ), se definió también  $n$ , que es el número de mediciones realizadas en cada mes. En el caso de estudio, el promedio de mediciones por mes fue de 95.33. Posteriormente, se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$LSC_p = \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1 - \bar{p})}{n}} = 0.23 + 3 \sqrt{\frac{0.23(1 - 0.23)}{95.33}} = 0.36$$

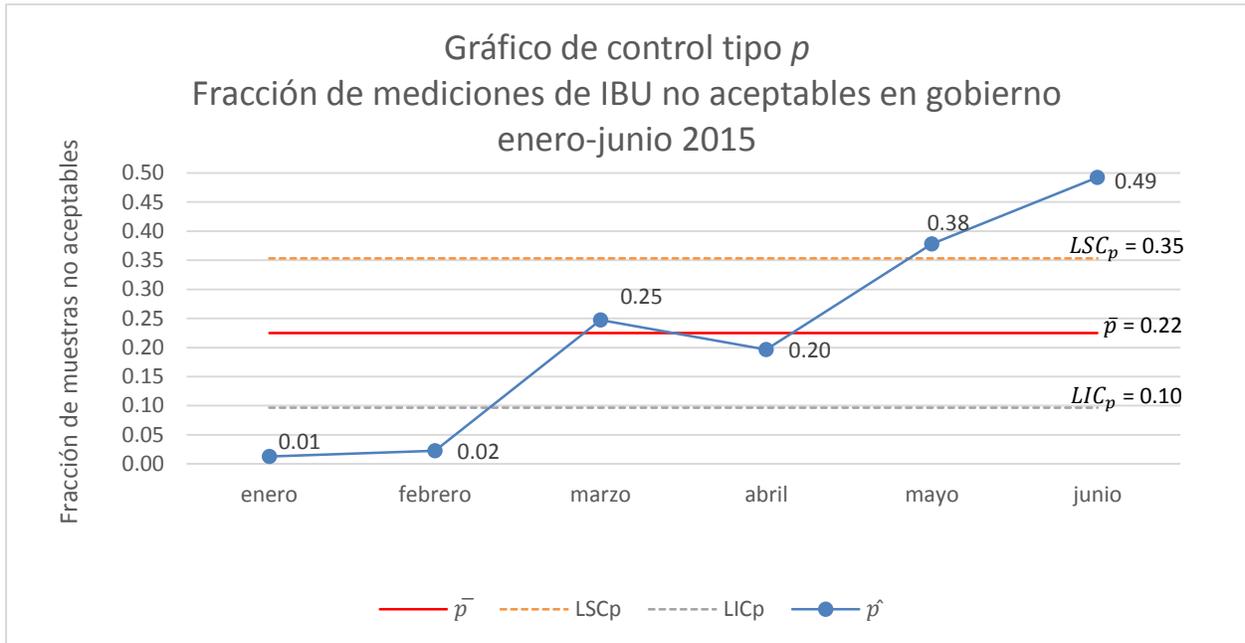
$$LIC_p = \bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1 - \bar{p})}{n}} = 0.23 - 3 \sqrt{\frac{0.23(1 - 0.23)}{95.33}} = 0.10$$

(Montgomery, 2013)

(Goetsch & Davis, 1997)

La gráfica resultante se muestra a continuación:

**Gráfico 16. Fracción de mediciones de IBU no aceptables en gobierno**



En esta gráfica puede observarse que la fracción de muestras no aceptables en gobierno aumentó conforme fue avanzando el primer semestre del 2015, con respecto al valor objetivo  $\bar{p}$ . También se observan los datos de los meses de mayo y junio fuera del  $LSC_p$ ; por lo que se requiere analizar puntualmente las actividades en esta parte del proceso durante los meses señalados, ya que indican que se está operando fuera de control.

Cabe señalar que para elaborar el gráfico de control tipo  $p$ , se requieren de menos 20 o 25 puntos a graficar. En este caso de estudio, a pesar de haber graficado sólo 6 puntos, se puede observar la tendencia creciente de la fracción de muestras fuera de rango.

### *Historial secundario*

Por otro lado, el historial secundario recolectado para el análisis, sin ser reportado ni utilizado para el cálculo del resultado mensual del indicador, fue generado por el laboratorio a manera de monitoreo de la variable, con un “X” número aleatorio de muestras mes a mes, a solicitud del área de elaboración.

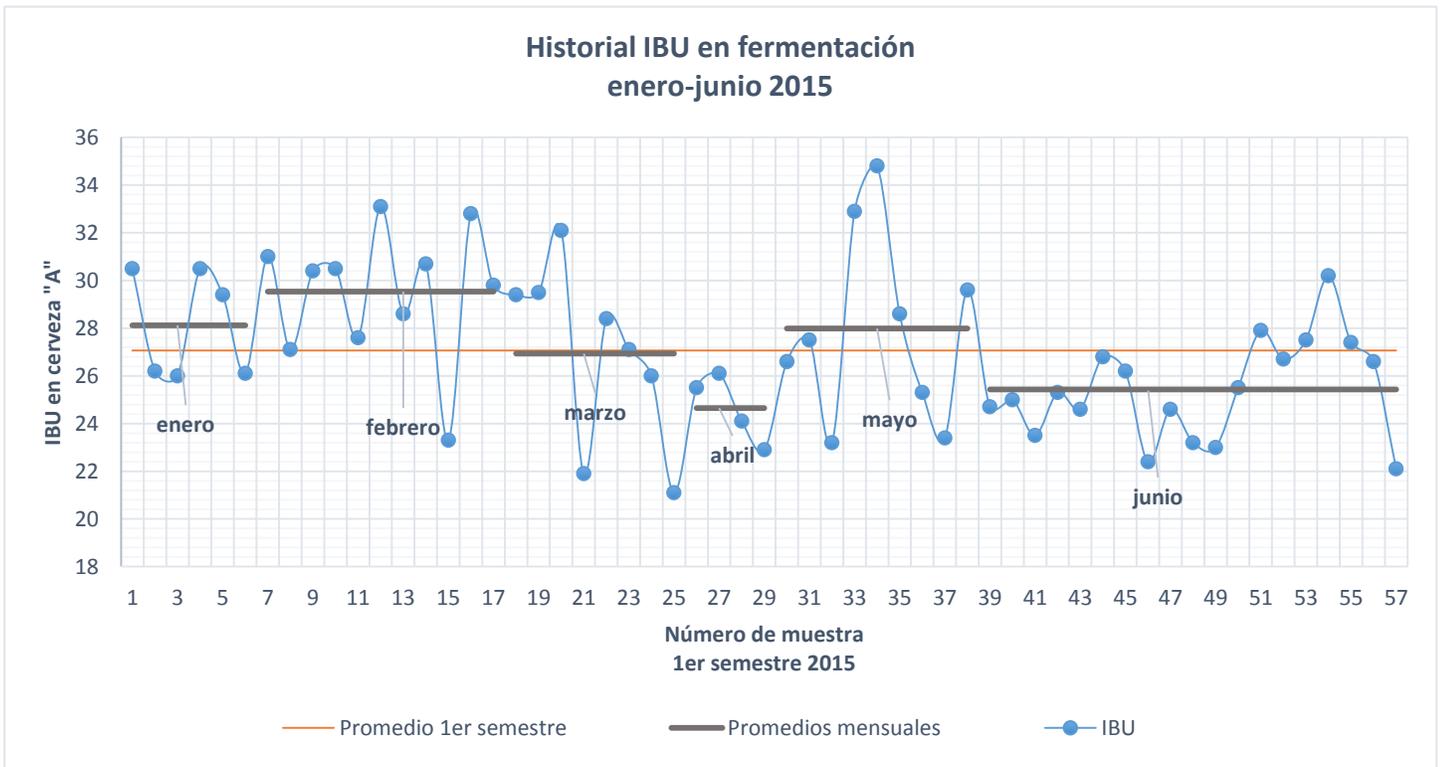
El monitoreo del amargor en esta etapa se realizó únicamente para la cerveza tipo “A” a manera de referencia, ya que se produce en mayor cantidad; esto permitió tener mayor cantidad de tanques para tomar las muestras.

Aunado a este factor, el tiempo y personal disponible en laboratorio para realizar y emitir resultados de las muestras en fermentación, extras al resto de las actividades cotidianas del área (por ejemplo, la emisión de resultados para el resto de las variables no sólo del indicador fisicoquímico, sino del indicador microbiológico), fue suficiente únicamente para analizar un tipo de cerveza.

A continuación, en el gráfico 17, se muestra el historial secundario, que consiste en el resultado de IBU de las muestras en fermentación para el primer semestre del 2015, el cual se encuentra de color azul.

En él se puede observar el promedio mensual de los datos de forma horizontal (color negro), y el promedio semestral a lo largo de toda la gráfica de color naranja:

**Gráfico 17. Historial IBU en fermentación enero-junio 2015**



Se observa con más claridad la disminución de unidades de amargor en la etapa de fermentación en los meses de marzo, abril y junio, que se encontraron por debajo del promedio semestral. También se observaron dos mediciones mayores al promedio que resaltan en el mes de mayo.

Para analizar estos datos con mayor precisión, se trazó un gráfico de control de las unidades de amargor como una variable continua. Se escogió el tipo de gráfico de control de medidas individuales para reflejar de forma adecuada el valor de las mediciones de cada mes.

La línea central del gráfico de control de lecturas individuales es el promedio de las observaciones graficadas  $\bar{x}$ , el cual se calculó con las 57 mediciones mostradas en el gráfico anterior (*Gráfico 17. Historial IBU en fermentación enero-junio 2015*) según la siguiente ecuación:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1542.8}{57} = 27.07$$

En varias aplicaciones del gráfico de control de variables individuales, se utiliza también el gráfico de control de rango móvil (*moving range* o “*MR*” por sus siglas en inglés) para estimar la variabilidad del proceso. Tiene como base la diferencia absoluta entre el valor de dos observaciones sucesivas, y se define según la siguiente ecuación que involucra el resultado de cada medición  $i$ :

$$MR_i = |x_i - x_{i-1}|$$

El cálculo del Límite Superior de Control (*LSC*) y del Límite Inferior de Control (*LIC*) del gráfico de Control de medidas individuales, depende del rango móvil promedio  $\overline{MR}$ , según lo siguiente:

$$LSC = \bar{x} + 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} = 27.07 + 3 \left( \frac{3.06}{1.128} \right) = 35.20$$

$$LIC = \bar{x} - 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} = 27.07 - 3 \left( \frac{3.06}{1.128} \right) = 18.94$$

Donde:

$d_2$  es una constante determinada de acuerdo al tamaño del subgrupo, en este caso  $n = 2$  para el rango móvil calculado.

$\overline{MR}$  es el promedio de los rangos móviles calculados entre cada dos mediciones sucesivas.

Para el cálculo de los límites de control del gráfico de rangos móviles se consideró lo siguiente:

$$LSC_{MR} = D_4 \overline{MR} = (3.267)(3.06) = 9.99$$

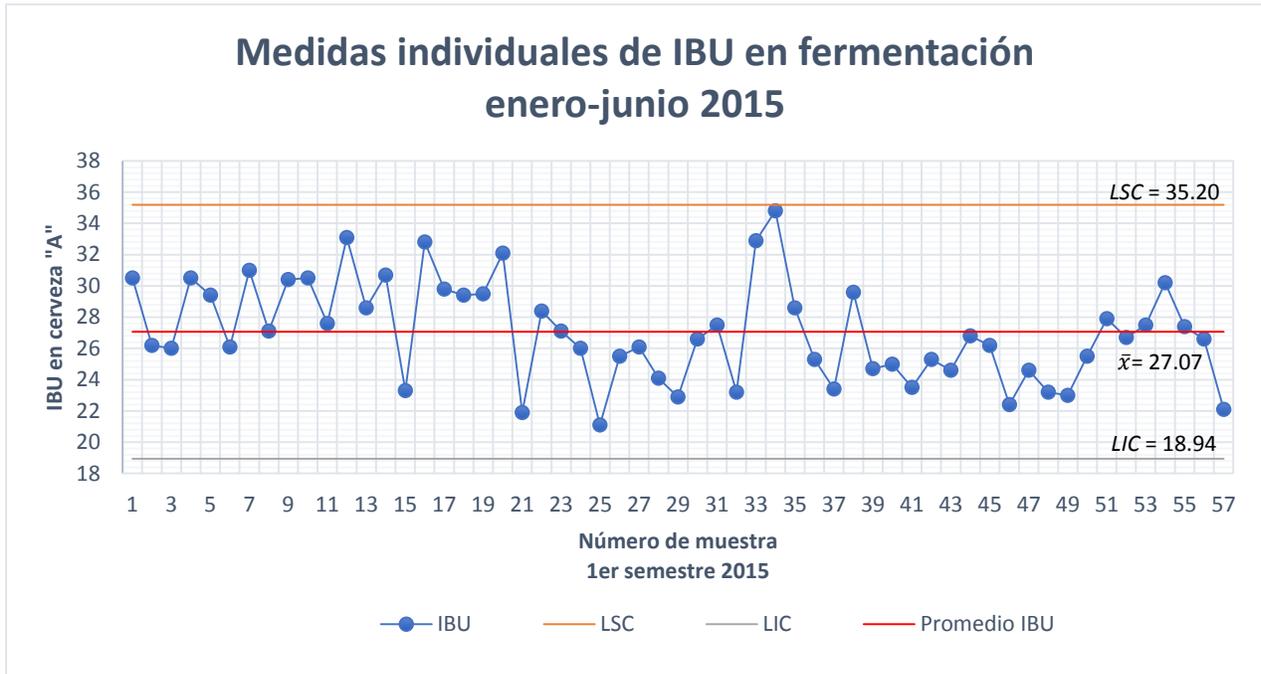
$$LIC_{MR} = D_3 \overline{MR} = (0)(3.06) = 0$$

Donde  $D_3$  y  $D_4$  son constantes que se han determinado para un tamaño de muestra  $n = 2$ .

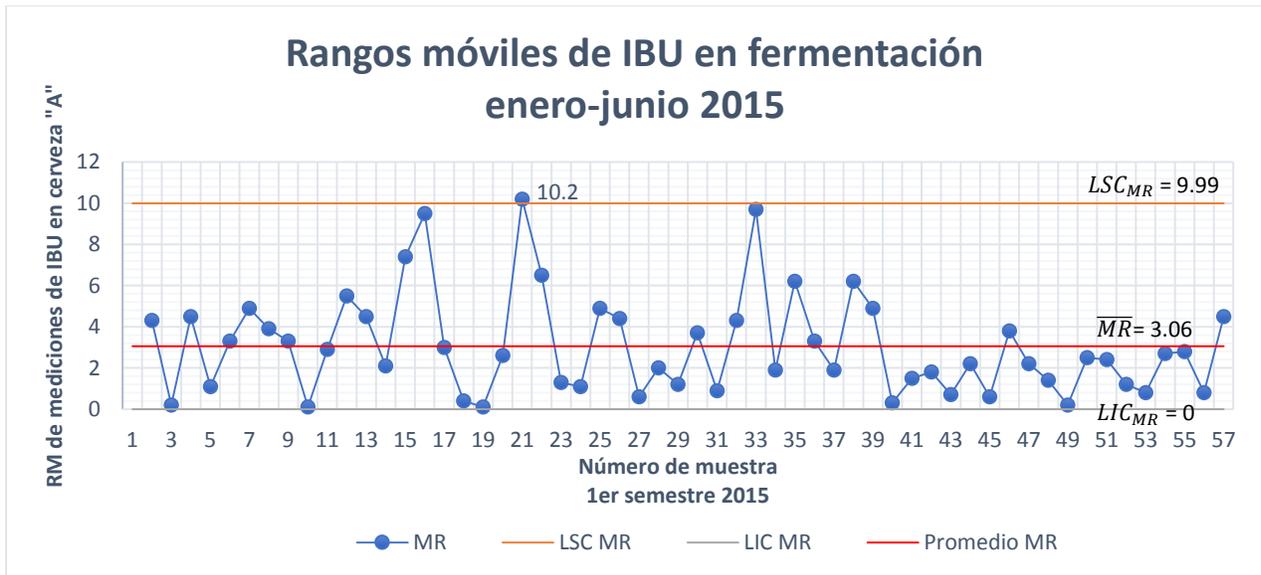
(Montgomery, 2013)

Los gráficos resultantes se muestran a continuación:

**Gráfico 18. Medidas individuales de IBU en fermentación**



**Gráfico 19. Rangos móviles de IBU en fermentación**



El rango móvil que corresponde a la muestra 21, con respecto al valor de IBU de la muestra 20, muestra un rango móvil por arriba del  $LSC_{MR}$ , con un valor de 10.2; a pesar de que esta medición no sale fuera de los límites de control en el gráfico de medidas individuales, se tendrá que analizar las condiciones del proceso en el mes correspondiente, marzo, puesto que la media en este punto se califica como fuera de control.

Por otro lado, el rango móvil de las muestras 16 y 33, con relación a los respectivos valores de IBU, se encuentra muy cerca del  $LSC_{MR}$ , sin sobrepasarlo. A pesar de que estas mediciones no salen fuera de los límites de control en el gráfico de variables individuales, se observarán las condiciones del proceso de los meses correspondientes; febrero y mayo, debido a que muestran mayor grado de variabilidad.

Independientemente de lo observado en el *Gráfico 17. Historial IBU en fermentación enero-junio 2015*, donde los meses por debajo del promedio semestral eran marzo, abril y junio, en el gráfico de control de medidas individuales muestra que los valores de IBU no salen de los límites de control calculados; únicamente el punto 34, del mes de mayo, tiene un acercamiento importante al  $LSC$  de las variables individuales, con un valor de IBU de 34.80.

El uso y comparación entre ambos historiales pudo llevarse a cabo gracias a que el tipo de cerveza “A” es de los que más se producen en la cervecería, y así como abundan tanques para muestras de esta cerveza en fermentación, las muestras para el resultado consolidado del indicador fisicoquímico, tomadas de los tanques de cerveza brillante, son en su mayoría del mismo tipo de producto, aunque también incluyen resultados de todos los tipos de cerveza producidos.

En cuanto a los gráficos de control, se considera que están en la fase I de construcción, esto es, un análisis retrospectivo de la situación correspondiente, donde se obtienen límites de control iniciales o de prueba, y se observa si éstos pueden ser confiables para conservarlos como referencia durante seguimientos futuros.

La continuación de las acciones que indica el Ciclo de Deming nos permitirá definir si los puntos observados fuera de control se deben a una o varias causas de variación asignables que deban corregirse. Si es posible identificar dichas causas, se recalcularán los límites de los gráficos de control correspondientes sin los datos fuera de control, y se continuará con la fase II de los gráficos, que comienza únicamente con datos históricos que se recolectaron bajo condiciones estables del proceso, y que en efecto sirven como referencia para graficar información posterior.

## Objetivos

Obtener en las muestras de los tanques en fermentación, en el periodo de agosto a diciembre 2015, valores mínimos de 27.07 IBU, para la cerveza "A"; lo anterior con base en el objetivo principal del ejercicio, y a raíz de la comparación y análisis de los historiales recolectados.

Para todos los tipos de cerveza antes de envasar, el objetivo fue que el número de muestras aceptables representara al menos el 95% de las mediciones de IBU de cualquier tipo de cerveza, también en la segunda mitad del 2015.

## Hipótesis iniciales

Ambos historiales nos permitieron identificar los meses en que la variable se encontraba en su punto más bajo, tanto en los tanques de fermentación como en los tanques de cerveza brillante; éstos fueron marzo, abril y junio.

Sin embargo, mayo sólo presentó unidades de amargor fuera de rango en los tanques de gobierno, además de sobrepasar el  $LSC_p$  establecido en el respectivo gráfico de control. Esto puede sugerir que la causa de la baja en los resultados se encontraba en esta parte del proceso, en ese mes en particular.

Por otro lado, probablemente se derive del análisis estadístico la necesidad de examinar y tomar en cuenta las unidades de amargor en los tanques de fermentación como una variable más dentro del cálculo del sub-indicador fisicoquímico, y no sólo en la etapa de filtración y gobierno. Esto podría lograrse si es que se llega a identificar la causa de la pérdida de unidades de amargor en fermentación.

## Diagrama Causa y Efecto para analizar la pérdida de unidades de amargor.

Después de haber recolectado los historiales, se realizaron sesiones de lluvia de ideas acerca de las probables causas de la baja de las unidades de amargor tanto en el área de Cocimientos, en las muestras de los tanques de fermentación, como en el área de Cuartos Fríos, en las muestras de los tanques de cerveza brillante.

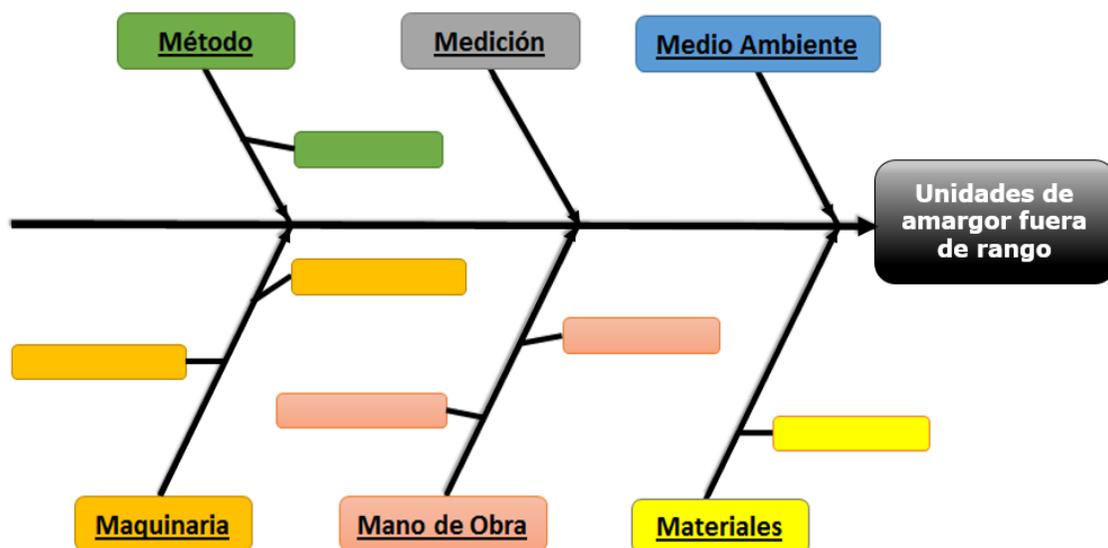
Las ideas sobre las probables causas del problema se usaron también como hipótesis del análisis a comprobar.

Para visualizar estas hipótesis, se utilizó una herramienta conocida como el Diagrama de Ishikawa o Diagrama de Espina de Pescado, el cual facilita clasificar, visualmente, las ideas generadas en las sesiones dentro de 6 rubros que tienen influencia sobre el problema identificado; estos son:

- El Método
- La Medición
- El Medio Ambiente
- La Maquinaria
- La Mano de Obra
- Los Materiales

Estos 6 rubros se conocen como las “6M”, y son aspectos que en general se relacionan con la industria. Pueden visualizarse en el diagrama como espinas del “esqueleto” de un pescado (figura 4), en donde la cabeza del esqueleto representa el problema que hemos identificado, y cada espina puede verse como un listado de las posibles causas del problema clasificadas de acuerdo a su carácter y descripción.

**Figura 4. Ejemplo del Diagrama de Ishikawa**



El diagrama fue utilizado como una herramienta de calidad total, no sólo por su utilidad, sino por la facilidad en que estructuran visualmente diferentes aspectos relacionados a una misma situación, y por su función, a manera de foto, del conocimiento colectivo del equipo acerca del problema en cuestión.

(Goetsch & Davis, 1997)

### *Uso de los 5 Por qué para completar el Diagrama Causa-Efecto*

Para completar el Diagrama Causa-Efecto fue necesario utilizar otra herramienta para el análisis de las causas raíz conocida como los “5 Por qué” o los “5 Whys”, que es de las herramientas de calidad total más sencillas que se pueden utilizar, gracias a que no necesita de análisis estadístico alguno.

Esta metodología de la causa raíz requiere que se cuestione cómo surgieron las aparentes causas principales del problema, e identifica el camino que llevó, como desenlace, a la situación analizada. Al preguntar de forma continua el “Por qué” de la que creemos es la causa principal, podemos llegar a un nivel de detalle mayor que facilitará la solución de la situación que queremos resolver.

A pesar de que esta metodología se conoce como los “5 Por qué”, puede que lleguemos a necesitar preguntar menos o más de 5 veces dependiendo de la causa analizada.

Esta herramienta permitió identificar las causas raíz del problema y la relación entre ellas, además de que permitió involucrar el factor humano y las interacciones

con el personal de la planta, al promover la participación activa de los empleados en la lluvia de ideas.<sup>7</sup>

Fue así que, para poder visualizar de forma más completa los diagramas causa efecto, se preguntaron en las lluvias de ideas a los empleados de la planta los ¿por qué? necesarios para llegar a un nivel de detalle tal que convenciera al equipo de la solidez de cada razonamiento y que, a su vez, permitiera tomar acción sobre las principales causas relacionadas a la pérdida de unidades de amargor dentro del área de elaboración.

Esto permitió trazar los diagramas causa-efecto que se muestran a continuación, y describir cada una de las espinas para encontrar puntos de acción específicos que permitieran solucionar nuestro problema.

Un ejemplo paso a paso del uso de los “5 Por qué”, en el aspecto del Método, sería el siguiente:

- *Primer ¿Por qué?:*

¿Por qué se reportan mediciones fuera de IBU en fermentación?

Porque no se hace el llenado de los fermentadores correctamente, cambiando la concentración deseada de los tanques, y por tanto, la concentración de IBU en el lote.

---

<sup>7</sup> <https://www.isixsigma.com/tools-templates/cause-effect/determine-root-cause-5-whys>

- *Segundo ¿Por qué?:*

¿Por qué no se hace el llenado de los fermentadores correctamente?

Las conexiones entre los tanques a veces no se cierran de acuerdo a la programación para el lote de mosto correspondiente, dejando que otros tanques se llenen.

- *Tercer ¿Por qué?:*

¿Por qué las conexiones en los tanques a veces no son cerradas de acuerdo a la programación?

Hay empleados que no ven necesario el hecho de cerrar las válvulas y dejar disponibles sólo los tanques necesarios para el lote en cuestión; esto pasa cuando se tiene la certeza, según la programación del día, de que los tanques próximos a llenar, y contiguos físicamente a los primeros, serán del mismo tipo de cerveza. Los empleados optan por llenarlos poco a poco, todos al mismo tiempo.

En este punto de la lluvia de ideas se dio por encontrada una posible causa del problema.

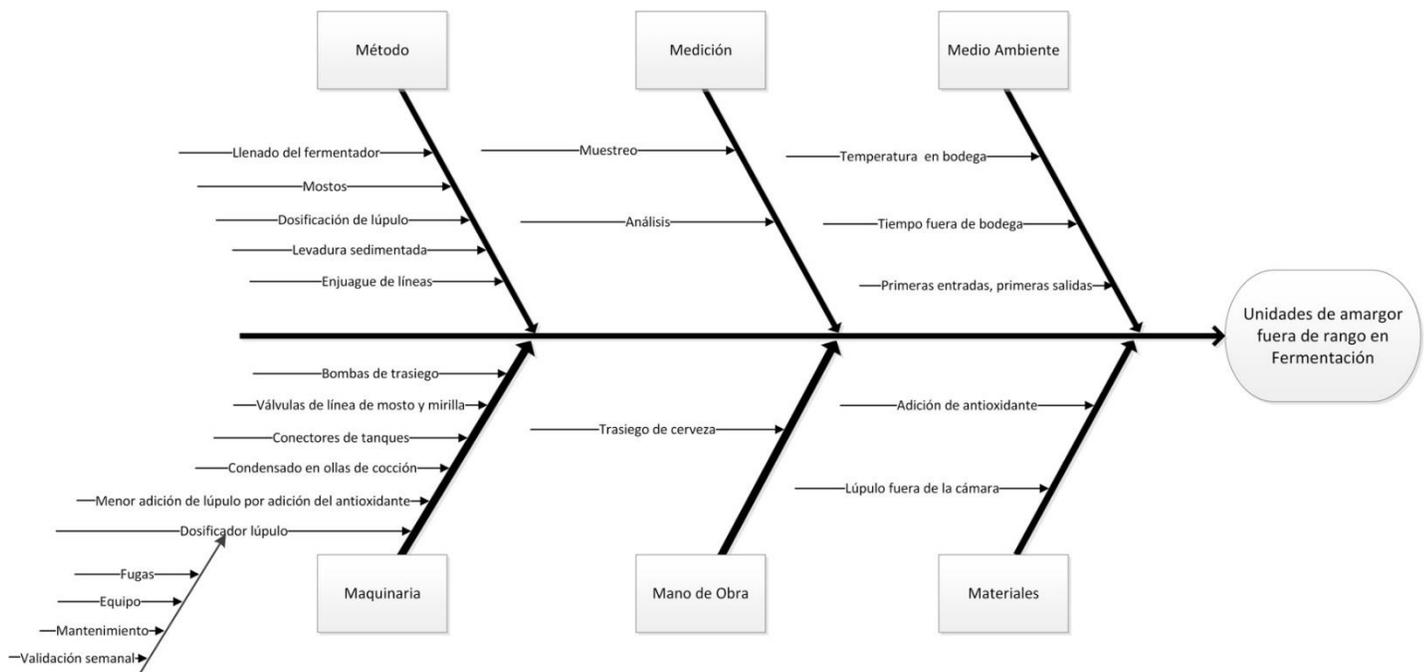
Al terminar de desarrollar cada aspecto o espina del diagrama, se procedió a priorizar las posibles causas raíz de acuerdo a ciertos factores. Posteriormente se procedió a trazar acciones para comprobar y atacar cada causa. En el caso descrito, las acciones deben asegurar que el procedimiento necesario para el llenado de tanques se siga al pie de lo establecido por todos los operarios.

## Diagrama de Ishikawa para el amargor en fermentación

A continuación se mostrará la lluvia de ideas o hipótesis de las causas relacionadas a la obtención de unidades de amargor bajas en fermentación en el formato característico del Diagrama Causa-Efecto o Diagrama de Ishikawa (figura 3), seguido de una descripción más completa de cada “espina”.

Cabe mencionar que algunas de las posibles causas raíz presentadas en el diagrama hacen referencia al procedimiento de adición de lúpulo, etapa del proceso que se considera parte de las actividades de la casa de cocimientos y no de fermentación.

**Figura 5. Diagrama de Ishikawa para las unidades de amargor fuera de rango en fermentación**



A continuación se describen cada una de las espinas del diagrama, redactando las respuestas de los “5 Por qué”:

### *Método:*

- *Llenado de los tanques de fermentación:*

El llenado de los tanques en serie a veces no es el óptimo. Cuando los tanques en una serie se planean llenar con el mismo tipo de cerveza a lo largo del día, los tanques de la serie completa son llenados por los operarios al mismo tiempo, a pesar de recibir indicaciones de cerrar las conexiones para llenar únicamente cierto número de tanques dentro de la serie, con el fin de respetar el orden de los mostos en que llegan a las salas de fermentación y de conservar su concentración.

Esto suele pasar debido a que se facilita el proceso de llenado para los operarios, quienes suelen pensar que si es el mismo tipo de mosto que se va a utilizar en los tanques en serie, no debe haber problema en que se llenen al mismo tiempo.

- *Mostos sin unidades suficientes de amargor:*

Puede que el mosto no contenga la cantidad de unidades de amargor necesarias debido a que en el trub separado en los tanques Whirlpool queda un remanente de estas unidades.

- *Dosificación del lúpulo:*

La dosificación del lúpulo requiere que el pesaje sea exacto de acuerdo al tipo de cerveza a procesar. Es probable que el procedimiento no se esté llevando a cabo adecuadamente, o que la báscula de lúpulo no esté calibrada debido a que no se le hace la revisión periódica que tiene programada.

- *Pérdida de amargor por levadura sedimentada:*  
La levadura sedimentada podría estar llevando consigo importantes cantidades de unidades de amargor que debería conservar la cerveza verde después de la fermentación.
- *Enjuague insuficiente de la línea de mosto:*  
Es probable que el enjuague de la línea del mosto que se dirige a los fermentadores no sea suficiente como para evitar que los residuos de proteína coagulada, que pudieran no haber sido retirados en los tanques Whirlpool y que estén adheridos a la tubería, impidan el paso de los componentes del mosto.

#### *Medición:*

- *Muestreo con generación de espuma:*  
Al momento de tomar la muestra para llevarla al laboratorio, el operario pudo haber generado demasiada espuma, lo que podría causar que las unidades de amargor resultantes del análisis de la muestra sean menores a las que realmente contiene el tanque de cerveza.
- *Análisis en el laboratorio inadecuado:*  
Pudo haber errores al momento de realizar las mediciones, como generación de demasiada espuma al verter la muestra en los vasos de precipitados necesarios para llevar a cabo el análisis.

#### *Medio Ambiente:*

- *Control de la temperatura en la bodega de lúpulo:*  
Se debe confirmar que la temperatura de la bodega donde se almacena el lúpulo sea la adecuada, y que se monitoree periódicamente para garantizar la calidad del lúpulo a añadir.

- *Tiempo del lúpulo fuera de bodega:*

El tiempo que el lúpulo queda fuera de la bodega antes de su dosificación debe ser el mínimo posible, con el fin de mantener el lúpulo en óptimas condiciones de adición.

- *Primeras entradas, primeras salidas:*

Dentro del manejo del inventario, se debe confirmar que el lúpulo que se vaya a utilizar para llevar a cabo la adición en ollas sea el primero que haya entrado a la bodega.

#### *Maquinaria:*

- *Estado de las bombas de trasiego:*

Puede que las bombas de trasiego utilizadas para vaciar los tanques de fermentación, o para trasladar la cerveza de un tanque a otro, no estén en sus mejores condiciones, ya sea que haya fugas en las mangueras o que generen demasiado espumeo al ser utilizadas.

- *Estado de las válvulas de línea de mosto y mirilla:*

Es probable que las válvulas de la línea de mosto que conducen a diferentes tanques de fermentación no estén funcionando correctamente, por ejemplo, puede que no estén cerrando o abriendo en su totalidad debido a falta de mantenimiento u obstrucciones en la línea. Esto afectaría la cantidad de mosto que se cree tener en los tanques de fermentación.

Por otro lado, si los empaques de las válvulas y de la mirilla no se encuentran en buen estado, pueden convertirse en puntos de fuga de cerveza y entrada de aire.

- *Estado de conectores para llenado de tanques:*  
Puede que los conectores utilizados para el llenado de los tanques no embonen correctamente en la entrada a los tanques, o que estén deteriorados, lo que puede hacer que haya fugas de cerveza, espumeo y entradas de aire indeseadas al no cerrar correctamente.
- *Condensado en ollas de cocción:*  
Pueden que queden residuos de IBU en el condensado de las ollas de cocción. Esto también dependerá del momento en el que se dosifique el lúpulo en las ollas.
- *Menor adición de lúpulo por la adición del antioxidante:*  
A la olla se agrega primero el aditivo antioxidante, y después el lúpulo, con el mismo dosificador. Esto puede provocar que en la siguiente olla que se quiera llenar, halla restos de lúpulo, que originalmente se pensaban añadidos a una olla anterior, agregándose, junto con el aditivo antioxidante, en una nueva olla. De esto se podría concluir que del total del lúpulo que aparentemente se agrega a la olla, se añade menor cantidad.
- *Condiciones del dosificador de lúpulo:*  
Se detectó a finales de mayo una fuga en el sello de la bomba del dosificador. Esto pudo haber originado falta de unidades de amargor en los tanques de fermentación. Además, puede que la báscula no haya estado bien calibrada y que haya registrado mayor o menor cantidad de lúpulo a adicionar. Esta falla en el equipo estaría directamente relacionada con la falta de mantenimiento que se le da al mismo, a pesar de que se debe validar su buen funcionamiento semanalmente.

### *Mano de Obra:*

- *Trasiego de cerveza:*

Es probable que al momento de transferir la cerveza que se encuentra en un tanque a otro cercano, los operadores no estén llevando a cabo el procedimiento de forma adecuada, permitiendo, sin ser conscientes de ello, fugas, entradas de aire y cambios en la concentración de los tanques.

### *Materiales:*

- *Adición de antioxidante:*

La adición del antioxidante, además de agregarse a un nivel específico de grado plato en la última agua de enjuague del filtro Lauter, y de añadirse a las ollas poco antes de comenzar la ebullición, debe garantizar su acción ajena a la isomerización de los ácidos alfa provenientes del lúpulo. Por supuesto, se debe asegurar también que el antioxidante cumpla con las especificaciones necesarias.

- *Características del lúpulo fuera de la cámara:*

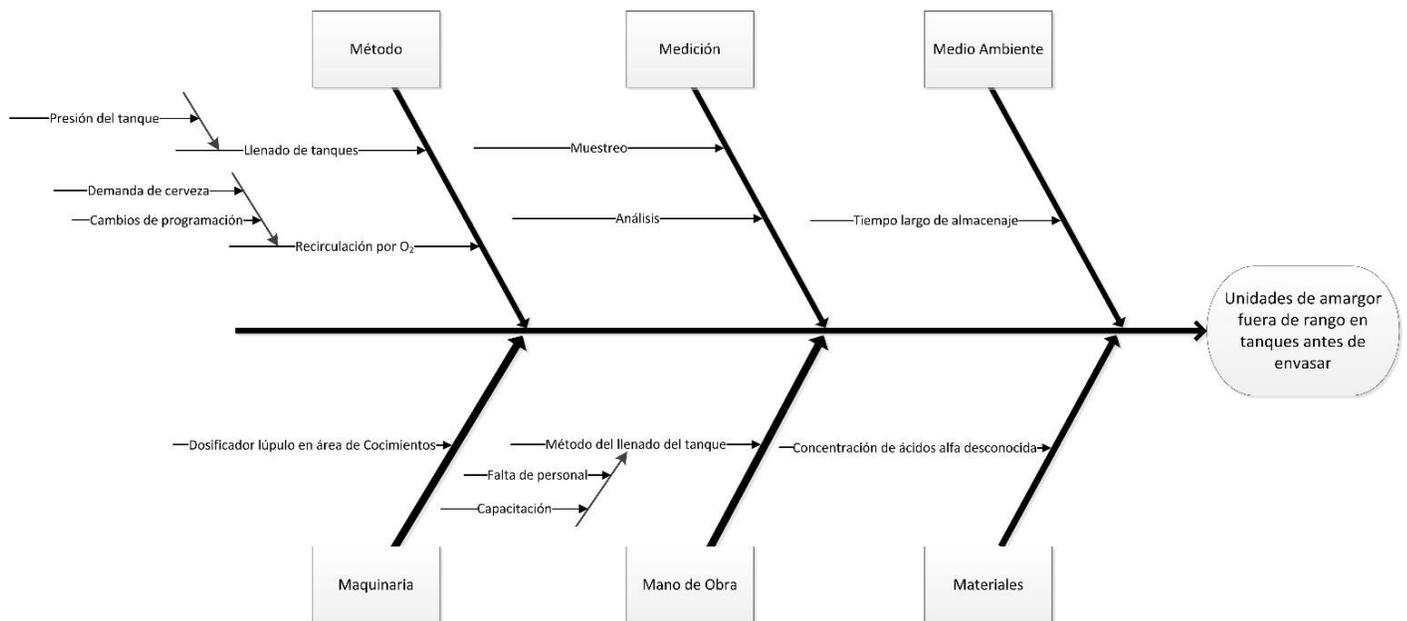
El tratamiento dado al lúpulo desde su almacenaje hasta su dosificación debe llevarse a cabo de forma cuidadosa y controlada; si el lúpulo pasó expuesto demasiado tiempo a una temperatura no adecuada fuera de la bodega, previamente a su adición, es posible que la cantidad de amargor que pueda aportar al cocimiento no sea la óptima.

### *Diagrama de Ishikawa para el amargor en tanques de cerveza antes de envasar*

Las hipótesis generadas en las lluvias de ideas en el área de Cuartos Fríos también fueron clasificadas elaborando un diagrama causa y efecto para la pérdida de unidades de amargor en los tanques de cerveza antes de envasar.

Este diagrama se mostrará a continuación, seguido también de la descripción de cada espina, haciendo uso de los “5 Por qué’s” para profundizar cada concepto:

**Figura 6. Diagrama de Ishikawa para las unidades de amargor fuera de rango en tanques de cerveza antes de envasar**



**Método:**

- *Espumeo durante el llenado de los tanques:*

El tanque comúnmente se encuentra a una presión menor que la presión de alimentación y, al llenarse, los operarios a veces no utilizan la contrapresión de CO<sub>2</sub> necesaria para esta etapa. Esto hace que espumee la cerveza y que haya pérdida de unidades de amargor. Esto se consideraría un incumplimiento a la metodología establecida.

- *Recirculación por altos niveles de oxígeno:*

Una de las medidas utilizadas para disminuir la cantidad de oxígeno disuelto en la cerveza dentro del tanque es recircularla, lo que provoca que al llenar el tanque nuevamente, la cerveza espumee y pierda unidades de amargor.

A pesar de sus consecuencias, este método sigue siendo utilizado debido a la alta demanda de cerveza en el envasado, y a la necesidad de tener cerveza que cumpla con los estándares de calidad en el menor tiempo posible. La cerveza madura llega de los tanques de gobierno con una alta cantidad de oxígeno disuelto; las causas estaban siendo investigadas, como ya se mencionó, a través de un análisis similar al que se presenta en este trabajo.

La poca oferta de cerveza brillante que a veces se presenta puede deberse a los cambios repentinos de programación que se solicitan desde envasado, o también a que no haya cerveza disponible de la etapa de maduración para gobierno; puede que en esta parte se necesite una distribución más eficiente de la cerveza en reposo.

*Medición:*

- *Muestreo con generación de espuma:*

Puede existir espumeo al momento de tomar la muestra del tanque de cerveza lista para envasar, lo que puede afectar la medición de las unidades de amargor en el laboratorio. Esto podría deberse a la falta de capacitación del personal, donde sería necesario, después de una instrucción adecuada, asegurar la confiabilidad de las muestras que lleguen a medición.

- *Análisis inadecuado de la muestra:*

Al igual que en fermentación, pudo haber errores al momento de realizar las mediciones en el mismo laboratorio, como la generación de demasiada espuma al verter la muestra en los vasos de precipitados, lo que afectaría la lectura del espectrofotómetro.

#### *Medio Ambiente:*

- *Tiempo largo de almacenaje del lúpulo en bodega:*

Uno de los aspectos que no se comentó con el personal del área de Cocimientos fue el del tiempo que el lúpulo pasa dentro de la bodega donde se almacena. Si éste permanece demasiado tiempo sin utilizarse, podría verse afectada la capacidad de aportar unidades de amargor al mosto en ebullición.

A pesar de no ser un procedimiento propio del área de Cuartos Fríos, se tomó en cuenta esta hipótesis dentro de la lluvia de ideas para encontrar las causas raíz del problema en ambas áreas.

#### *Maquinaria:*

- *Funcionamiento del dosificador de lúpulo en la etapa de cocimientos:*

Puede que esté fallando el dosificador debido a la falta de mantenimiento preventivo y a la falta de validación semanal del equipo, aspectos que coinciden con las hipótesis relacionadas al dosificador que surgieron durante las reuniones con el personal de la casa de cocimientos y fermentación.

#### *Mano de obra:*

- *Falta de conocimiento en el método del llenado del tanque:*

Puede que sea necesario utilizar más personal para el vaciado del tanque en reposo y el llenado del tanque en gobierno, a fin de monitorear la presión necesaria para que no espumee la cerveza.

También el método inadecuado de llenado de tanques que siguen los operadores puede deberse a que no se les ha dado la capacitación adecuada para llevar a cabo esta tarea, o a que consideran más fácil no seguir el método de llenado al pie de la letra.

#### *Materiales:*

- *Desconocimiento de la concentración de ácidos alfa en el lúpulo:*

Se supuso que la falta de control en la cantidad de unidades de amargor que hay en la cerveza antes de envasar podría estar relacionada con la falta de certeza en cuanto a la cantidad de ácidos alfa que el lúpulo proporciona durante la ebullición del mosto en la etapa de cocimientos.

#### *Priorización de las causas raíz*

De las causas raíz probables que se desarrollaron en cada diagrama, fue necesario priorizar cada una para decidir sobre cuáles se tomaría acción inmediata; se buscaría confirmar su presunta relación directa con el problema, y, de ser así, se intentaría corregirlas.

Para dar inicio a la priorización de la causa raíz, de acuerdo a los pasos establecidos en el Ciclo de Deming, se asignaron puntajes con relación a diferentes criterios, los cuales

se suman al final para identificar como causas prioridad aquellas causas raíz cuyo puntaje sea mayor.

Estos valores fueron asignados por el personal a cargo de las áreas, quienes a través de esta herramienta califican cada una de las posibles causas raíz según lo siguiente:

- el supuesto impacto de las causas en el objetivo o problema a tratar,
- los límites de acción del área o etapa respectiva para corregir dichas causas,
- la dificultad que representaba el eliminarlas.

Los puntajes se asignaron según la tabla presentada a continuación:

**Tabla 20. Criterios para priorización de las causas raíz**

CRITERIO	BAJO 1	MEDIO 3	ALTO 5
<b>Impacto en el objetivo</b>	Bajo impacto en el objetivo	Medio impacto en el objetivo	Alto impacto en el objetivo
<b>Límites de acción sobre la causa</b>	Acción totalmente restringida	Acción limitada	Total libertad de acción
<b>Dificultad para eliminar la causa</b>	Difícil de eliminar	No tan fácil de eliminar	Fácil de eliminar

A continuación se mostrarán las tablas de priorización en las que se enlistaron todas las posibles causas raíz resultantes de las lluvias ideas con el personal.

En un principio, las causas se anotan en las tablas conforme fueron enlistadas en el Diagrama Causa-Efecto, es posteriormente que se ordenan de mayor a menor puntaje para visualizar de forma más sencilla aquellas que necesitan priorizarse.

*Priorización de las causas raíz en fermentación.*

**Tabla 21. Priorización de las causas raíz en fermentación**

CONCEPTO	CAUSA	IMPACTO	ACCIÓN	DIFICULTAD	SUMA	CALIFICACIÓN
Medio Ambiente	Control de la temperatura en la bodega de lúpulo	5	5	5	15	Prioritaria
Medio Ambiente	Seguimiento primeras entradas, primeras salidas	5	5	5	15	Prioritaria
Método	Dosificación del lúpulo incorrecta	5	3	5	13	Prioritaria
Materiales	Adición de antioxidante	3	5	5	13	Prioritaria
Método	Llenado inadecuado de los tanques de fermentación	3	5	3	11	Prioritaria
Medio Ambiente	Tiempo del lúpulo fuera de bodega	5	3	3	11	Prioritaria
Maquinaria	Restos de lúpulo en tanques de otro aditivo	3	3	3	9	Prioritaria
Materiales	Características del lúpulo fuera de la cámara	3	3	3	9	Prioritaria
Maquinaria	Condensado en ollas de cocción	5	1	3	9	Prioritaria
Maquinaria	Condiciones del dosificador de lúpulo	3	3	3	9	Prioritaria
Método	Enjuague insuficiente de la línea de mosto	1	3	3	7	No prioritaria
Mano de Obra	Trasiego de cerveza	1	3	3	7	No prioritaria
Medición	Muestreo con generación de espuma	1	3	1	5	No prioritaria
Medición	Análisis en el laboratorio inadecuado	1	3	1	5	No prioritaria
Método	Mostos sin unidades suficientes de amargor	1	1	1	3	No prioritaria
Método	Pérdida de amargor por levadura sedimentada	1	1	1	3	No prioritaria
Maquinaria	Estado de las bombas de trasiego	1	1	1	3	No prioritaria
Maquinaria	Estado de las válvulas de línea de mosto y mirilla	1	1	1	3	No prioritaria
Maquinaria	Estado de conectores para llenado de tanques	1	1	1	3	No prioritaria

Una vez que se obtuvieron los puntajes totales, se decidió, en conjunto con el equipo de trabajo, que las causas raíz que se calificaran como prioritarias fueran las que tuvieran un puntaje equivalente a 9 o superior. Esto debido al tiempo que el personal disponía para dedicarse a la realización del ejercicio.

Además, los jefes del área consideraron aceptable el atender el total de causas que resultaron prioritarias gracias a los puntajes obtenidos, que fueron 10 de un total de 19 probables causas raíz en fermentación.

Como puede observarse en la tabla 21, se obtuvieron como causas raíz prioritarias diferentes controles o monitoreos, y diferentes condiciones que se deben cumplir para el manejo y la adición del lúpulo. Dichos cuidados deben darse tanto en la ebullición del mosto, con el manejo adecuado del antioxidante, como en la fermentación, con el correcto llenado de los tanques.

De las causas raíz con mayor prioridad, se identificaron aquellas que obtuvieron la máxima puntuación (5) en cuanto al impacto en la adición y preservación de las unidades de amargor, siendo las siguientes:

- Control de la temperatura durante el almacenamiento del lúpulo
- Seguimiento primeras entradas, primeras salidas
- Método de dosificación del lúpulo
- Tiempo que el lúpulo permanece fuera de la bodega
- Condiciones del dosificador del lúpulo
- Remanentes en el condensado en ollas de cocción

Por otro lado, se observan las causas cuyo impacto es medio (calificación de 3) pero que fueron consideradas como prioritarias debido a la libertad de acción que se poseía para tomar acciones correctivas, y/o a la aparente facilidad de solucionarlas; éstas fueron:

- El uso de un antioxidante que cumpla sus funciones sin afectar la isomerización de los alfa ácidos del lúpulo en las ollas
- El llenado adecuado de los tanques de fermentación en serie
- La probable disminución del lúpulo añadido por la adición de antioxidante con el mismo dosificador
- Las características y propiedades que el lúpulo tal vez no llegue a conservar debido al tiempo que se mantiene fuera de la cámara o bodega.

La mayoría de estas causas raíz tienen relación con un conjunto de “condiciones y métodos de operación recomendados”, que son medidas de carácter similar al que tienen las Buenas Prácticas de Manufactura que se aplican para garantizar la inocuidad de los alimentos en general.

En este caso en particular, se relacionan con el cuidado y el manejo del lúpulo, no sólo para almacenarlo correctamente y evitar su contaminación, sino para conservar las propiedades que éste aporta.

Dichas condiciones se documentan y se aplican en la cervecería no sólo para el tratamiento del lúpulo; existen también para otras actividades: para la adición de otros compuestos a lo largo del proceso, para la limpieza de unidades como tanques y filtros, para el trasiego de cerveza, así como para las actividades de otras áreas como el laboratorio y el envasado, por mencionar algunos ejemplos. En conjunto, son medidas extra que deben considerarse para garantizar la calidad de cada proceso; las referentes al lúpulo serán revisadas más adelante.

El resto de las posibles causas raíz no resultaron ser prioritarias por diferentes razones; las que tenían que ver con las condiciones de conectores, bombas, válvulas, etc., a pesar de ser importantes, dependen de la velocidad con que el departamento de mantenimiento actué ante la solicitud de un arreglo o cambio de equipo.

Dichas actividades de mantenimiento pueden tomar días o meses dependiendo de la autorización de quienes manejen el presupuesto de la planta, y de la prioridad que tengan estos arreglos ante otras solicitudes.

Por otro lado, las que se referían a la medición de las unidades de amargor a partir de muestras tomadas de los tanques, dependen más de la instrucción que reciba el personal de laboratorio que del personal del área directamente involucrada en la situación, es por esto que no se calificaron como causas de fácil solución.

Gracias a la priorización realizada, se describirán más adelante las acciones tomadas en relación a las posibles causas raíz prioritarias.

*Priorización de las causas raíz en tanques de cerveza antes de envasar.*

**Tabla 22. Priorización de las causas raíz en gobierno**

CONCEPTO	CAUSA	IMPACTO	ACCIÓN	DIFICULTAD	SUMA	CALIFICACIÓN
Método	Espumeo durante el llenado de los tanques	5	5	1	11	Prioritaria
Medio Ambiente	Tiempo largo de almacenaje del lúpulo en bodega	3	3	5	11	Prioritaria
Maquinaria	Funcionamiento del dosificador de lúpulo en la etapa de cocimientos	5	3	3	11	Prioritaria
Mano de Obra	Falta de conocimiento en el método del llenado del tanque	5	5	1	11	Prioritaria
Método	Recirculación por altos niveles de oxígeno	5	3	1	9	Prioritaria
Medición	Muestreo con generación de espuma	3	1	3	7	No prioritaria
Medición	Análisis inadecuado de la muestra	3	1	3	7	No prioritaria
Materiales	Desconocimiento de la concentración de ácidos alfa en el lúpulo	5	1	1	7	No prioritaria

Se estableció, con la aprobación de todo el personal de Cuartos Fríos, que el espumeo en los tanques de gobierno es una de las situaciones que más afecta la caída de IBU en el área, y sobre la cual se debía tomar acción inmediata.

Otra de las causas que puede entrar provocando el espumeo en los tanques puede ser la falta de conocimiento de los operarios para llevar a cabo el llenado, es por esto que también se calificó como causa prioritaria.

En cuanto al tratamiento que se le da al lúpulo en la casa de cocimientos durante su almacenaje, y al funcionamiento del dosificador, se acordó comunicar la calificación de “causa raíz prioritaria” al personal encargado de estas actividades. Coincidiendo con lo acordado en Cuartos Fríos, ambas condiciones ya se habían calificado como prioritarias y pendientes de analizar por el personal de la casa de cocimientos y fermentación.

La recirculación por altos niveles de oxígeno se consideró como una causa prioritaria debido a su doble relación con variables del indicador fisicoquímico (tanto Oxígeno Disuelto como Unidades de Amargor); y a la necesidad de seguir recirculando cerveza con el fin de tenerla lista para la demanda frecuentemente cambiante en envasado.

Se acordó tomar acciones para tener una distribución más eficiente en el área de Cuartos Fríos.

El muestreo tomado de los tanques y el análisis que se hace de los mismos en el laboratorio no se consideraron causas prioritarias puesto que son actividades que no dependen directamente del personal del área de elaboración.

En cuanto al desconocimiento de la concentración de ácidos alfa en el lúpulo, se decidió comunicar al personal respectivo por su probable alto impacto en los resultados, pero no fue considerado como prioridad debido a la capacidad de acción casi nula que se tiene en Cuartos Fríos sobre esta situación.

En la siguiente sección se mostrarán las acciones realizadas con relación a las posibles causas raíz de bajos niveles de IBU en Cuartos Fríos, posterior a las acciones para las causas prioritarias en fermentación.

## Plan de acción

A raíz de las lluvias de ideas realizadas, y de la priorización de las causas siguiendo la estructura del Ciclo de Deming, se tomó la decisión de llevar a cabo diferentes actividades, plasmadas en un formato conocido como “Plan de acción” para las causas raíz de más prioridad.

El formato de los planes de acción se utiliza para aterrizar y hacer más concretas diferentes actividades por llevar a cabo, y también para darles seguimiento, en un archivo de Excel.

Permite desglosar las actividades en pasos más sencillos a seguir, registrar fechas de inicio y de término de dichas acciones, y asignar y anotar el nombre de uno o más responsables del asunto a tratar.

En general, las actividades descritas pueden estar relacionadas con diversos temas dentro y fuera de la rutina, como solucionar alguna falla o adquirir cierto material, y no necesariamente deben formar parte de la aplicación de un Ciclo de Deming.

Como parte de la aplicación del sistema de mejora continua dentro de la empresa, estos planes de acción deben revisarse y monitorearse constantemente en las áreas respectivas, ya sea que sean planes de acción diarios, o que formen parte del desarrollo de un Ciclo de Deming para un tema en específico.

En el caso del análisis que se elaboró en relación al amargor, se utilizó el formato y estructura de los planes de acción para confirmar que la posible causa raíz seleccionada realmente estaba causando una baja de IBU, y para formalizar su eliminación.

Para monitorear el avance de las actividades, se midió el progreso general de cada plan de acción a través de la clasificación de cada una de las acciones que los conformaban como “Retrasada”, “En progreso”, “Completa” o “Cancelada”; esto se podrá ver con más detalle en los planes elaborados que se mostrarán posteriormente.

### Plan de acción en Cocimientos y Fermentación

De los resultados de estas actividades previas, enfocadas a las etapas de la casa de cocimientos y fermentación, se elaboraron los planes de acción en relación a los siguientes temas:

- Revisión del cumplimiento de todas las condiciones y métodos de operación recomendados referentes al manejo del lúpulo y a la disminución de las pérdidas de unidades de amargor a lo largo de la ebullición y la fermentación.
- Detección de posibles remanentes de unidades de amargor en los condensados de las chimeneas de las ollas.

En las tablas 23 y 24 se muestran dichos planes de acción.

**Tabla 23. Plan de acción para las condiciones y métodos de operación**

No.	Fecha	Asunto	Area	Acción	Fecha de Cierre	Estado
1	16/07/2015	Condiciones y métodos de operación establecidos para el tratamiento del lúpulo	Casa de cocimientos	Enlistar las condiciones y métodos relacionados al cuidado y tratamiento del lúpulo, asignar su revisión a miembros del área para confirmar su seguimiento	20/07/2015	En Progreso
2	16/07/2015	Condiciones y métodos de operación establecidos para el monitoreo de la ebullición	Casa de cocimientos	Enlistar las condiciones y métodos relacionados a la ebullición del mosto, asignar su revisión a miembros del área para confirmar su seguimiento	20/07/2015	En Progreso
3	16/07/2015	Condiciones y métodos de operación establecidos para el monitoreo de la fermentación	Fermentación	Enlistar las condiciones y métodos relacionados a la fermentación del mosto, asignar su revisión a miembros del área para confirmar su seguimiento	20/07/2015	En Progreso
4	16/07/2015	Planes de acción emergentes	Casa de cocimientos y Fermentación	Trazar planes de acción para aquellas condiciones de las que deba hacerse una comprobación más completa, si es que resulta necesario	01/08/2015	En Progreso

**Tabla 24. Plan de acción para los remanentes de IBU en ollas**

No.	Fecha	Asunto	Area	Acción	Fecha de Cierre	Estado
1	27/07/2015	Muestreo de condensados de ollas, en chimeneas durante la ebullición.	Cocimientos ollas 1 a 6	Realizar muestreos de condensados de la chimenea de ollas 1 a 6	31/08/2015	En Progreso
2	27/07/2015	Determinación de IBU en condensados de ollas	Cocimientos	Mandar muestras a laboratorio central con cadena de custodia para determinar IBU	31/08/2015	En Progreso
3	27/07/2015	Reporte de resultados de IBU	Laboratorio	Pedir resultados a laboratorio central via correo	31/08/2015	En Progreso
4	27/08/2015	Presentación de resultados	Cocimientos	Anexar resultados de IBU de muestras de condensados	31/08/2015	En Progreso

Originalmente, cada paso de un plan de acción se registra en el formato de Excel como “En Progreso”, y se registran las fechas en que se define la actividad, así como la fecha estimada de cierre o conclusión.

Una vez que se lleva a cabo, la hoja de Excel se actualiza, poniendo el estado de la actividad correspondiente como “Completo”, ya sea antes o en la Fecha de Cierre, cuando se corrobora su ejecución.

En la sección *Hacer* del Ciclo PDCA se realizará el seguimiento de cada paso de los planes de acción en fermentación.

#### Plan de acción en Reposo, Filtración y Tanque de cerveza brillante

En esta parte del proceso también se prosiguió con el trazo de un plan de acción para toda el área, fijando más la atención en la pérdida de unidades de amargor debido al espumeo que ocurre al llenar el tanque, el cual se debe a dos causas principales:

- Presión baja al llenar los tanques de gobierno
- El uso de filtros chicos y un flujo bajo de cerveza en el llenado

Ambas causas están relacionadas a una falta de seguimiento del Procedimiento Estándar de Operación o SOP (*Standard Operating Procedure* por sus siglas en inglés), que es una estructura de pasos secuenciales para realizar, en este caso en particular, el llenado de los tanques en gobierno.

Existen SOP para todas las actividades en la cervecería, y para cada una de las áreas que la conforman. Por mencionar un ejemplo, sólo para el manejo de cerveza en gobierno se tienen registradas 11 SOP, y el cumplimiento de cada una de ellas debe ser confirmado mediante un tipo de inspección conocido como “Diagnóstico del Estándar”, que es la verificación del cumplimiento de los pasos y el seguimiento de la secuencia establecida en la SOP de cada actividad, entre otras cosas.

Este monitoreo se realiza por el personal del departamento mientras los operarios están realizando las actividades, y se califica que el operador esté utilizando el equipo de protección personal adecuado, que cumpla con los pasos indicados en la SOP y que esté capacitado adecuadamente para realizarlos, además de que las herramientas y equipos

necesarios estén disponibles y en buenas condiciones, y que lo especificado en el estándar esté actualizado.

En el plan de acción mostrado en la tabla 25 se observará la indicación de verificación y/o actualización de ciertas SOP con base en las condiciones del proceso, además de llevar a cabo el Diagnóstico del Estándar correspondiente.

Con respecto al oxígeno disuelto que se reporta en los tanques de gobierno, se tomaron acciones para verificar que este efecto no se presentara en los tanques de reposo; también se buscó mejorar la distribución del llenado en esta parte para poder atender la demanda en gobierno, que se atiene a continuos cambios en la programación de la demanda de envasado.

**Tabla 25. Plan de acción para Cuartos Fríos**

No.	Fecha	Asunto	Area	Acción	Fecha de Cierre	Estado
1	15/07/2015	Presión baja en tanques de gobierno	Filtración y Gobierno	Aumentar presión del tanque de gobierno hasta 15 lb/in <sup>2</sup> , con dióxido de carbono antes de llenar el tanque.	16/08/2015	En Progreso
2	15/07/2015	Presión baja en tanques de gobierno	Filtración y Gobierno	Estandarizar esta actividad en la SOP de llenado de tanques y darla a conocer al personal responsable.	08/05/2015	En Progreso
3	15/07/2015	Presión baja en tanques de gobierno	Filtración y Gobierno	Monitorear el cumplimiento de la SOP de llenado de tanques a través del Diagnóstico del Estándar.	19/08/2015	En Progreso
4	15/07/2015	Presión baja en tanques de gobierno	Filtración y Gobierno	Elaborar plan de mantenimiento para corrección y/o prevención de fugas en los tanques de gobierno.	05/08/2015	En Progreso
5	15/07/2015	Espumeo por bajo flujo en filtros chicos	Filtración y Gobierno	Evitar el llenado de tanques en gobierno con un flujo menor a 150 hl/hr	15/08/2015	En Progreso
6	15/07/2015	Espumeo por bajo flujo en filtros chicos	Filtración y Gobierno	Monitorear el cumplimiento de la SOP de lavado de filtros. Diagnóstico del Estándar.	30/08/2015	En Progreso
7	15/07/2015	Espumeo por bajo flujo en filtros chicos	Filtración y Gobierno	Suspender la carbonatación en gobierno cuando se llenen tanques en gobierno con un filtro chico.	05/08/2015	En Progreso
8	24/07/2015	Oxígeno de tanques en gobierno	Maduración	Establecer un estandar para cargar líneas y accesorios en el área de reposo.	14/08/2015	En Progreso
9	24/07/2015	Distribución de llenado de tanques de reposo	Maduración	Establecer prioridad de llenado para cada marca para mantener versatilidad en el vaciado.	14/08/2015	En Progreso

## Paso “DO” del Ciclo PDCA

### Hacer

Esta parte del Ciclo de Mejora Continua indica el seguimiento de los planes de acción elaborados en el paso anterior.

Los planes de acción fueron monitoreados según el avance de las actividades mencionadas en cada uno de ellos. Si estas se fueron completando a tiempo, si se demoraron o si se cancelaron.

Este monitoreo podrá apreciarse gráficamente en esta sección, tanto para los planes de acción en fermentación, como para el elaborado en filtración y gobierno.

### Seguimiento planes de acción en fermentación

*Primer plan de acción. Revisión de las condiciones y de los métodos de operación recomendados para el tratamiento del lúpulo y el cuidado de las unidades de amargor*

Las condiciones y métodos de operación establecidos son necesarios para asegurar la calidad del producto resultante, para lograr el uso óptimo de materia prima y energía, facilitar el cumplimiento de requisitos legales relacionados al tratamiento de alimentos, y/o para evitar retrasos según la actividad en cuestión.

Para el caso de la adición de lúpulo y el proceso de ebullición y fermentación del mosto, las condiciones y métodos recomendados enumeraban los siguientes puntos como requisitos:

1. Utilizar una báscula de lúpulo o medidor de flujo másico calibrado.
2. Receta de dosificación actualizada.
3. Uso del lúpulo según “primeras entradas, primeras salidas”.
4. Condiciones de almacenamiento de lúpulo adecuadas (limpieza, humedad, temperatura, condiciones libres de fauna, etc.)
5. Monitoreo de los niveles de alfa ácidos para posibles ajustes.
6. Equipo de dosificación perfectamente enjuagado y limpio antes de utilizarse.
7. Respeto de los tiempos de adición de lúpulo por marca.
8. pH del mosto y tiempo de adición de lúpulo dentro de especificación.
9. Asegurar que cualquier cambio en tiempo, temperatura de ebullición, o extracto de mosto original (EMO) está documentado para ajuste de la cantidad de lúpulo agregada.
10. Revisión de la existencia de espumeo a lo largo de la ebullición.
11. Documentación de todo cambio en el proceso de fermentación (aeración, cantidad de levadura inoculada, temperatura, velocidad de llenado), además de tener disponible un procedimiento de ajuste de lúpulo cuando los cambios ocurren.
12. Asegurar que el nivel de llenado de los tanques de fermentación es el óptimo para obtener los niveles correctos de los componentes al final de la fermentación.
13. Asegurar que el sistema de recuperación de cerveza no esté dosificando más cerveza recuperada de la necesaria en el proceso.

Una vez enlistadas las condiciones y métodos de operación recomendados, la revisión de los mismos se repartió entre los integrantes del personal de las etapas de la casa de cocimientos y de fermentación, pidiendo a cada uno la confirmación formal de que la condición o el método de operación asignado se estuviera cumpliendo.

Para lograrlo, cada integrante completó una tabla con las conclusiones de la condición o método respectivo, donde se describieron las condiciones de cumplimiento iniciales, los pasos necesarios para garantizar su cumplimiento en caso de que no se cumpliera en un inicio, y la fecha en que llenó la tabla con el estatus final. Dicha tabla se muestra en la siguiente página.

**Tabla 26. Revisión de las condiciones y métodos de operación de lúpulo y unidades de amargor**

No.	Descripción	Observaciones	Cumplimiento	Fecha revisión
1	Báscula de lúpulo o medidor de flujo másico calibrado.	Se tenía detectada una fuga en el sello de la bomba del dosificador, el sello nuevo no había llegado debido a que no se tenían refacciones en existencia. Al final se realizó el cambio de la bomba, después de mes y medio de haber realizado la solicitud.	Sí	31/07/2015
2	Receta de dosificación actualizada.	Se revisaron los registros de la receta de dosificación, y se investigó que no hubiera actualizaciones de la que se estaba utilizando.	Sí	20/07/2015
3	Uso del lúpulo según "primeras entradas, primeras salidas"	Se revisaron registros de fechas de entrada y salida de los lotes de lúpulo .	Sí	21/07/2015
4	Condiciones de almacenamiento de lúpulo adecuadas (limpieza, humedad, temperatura, condiciones libres de fauna, etc.)	Se tienen los recursos necesarios para mantener las condiciones óptimas de almacenamiento para cierta cantidad de lúpulo. Sin embargo, el equipo de planeación que se encarga del ingreso de lúpulo a la cámara manda lúpulo demás, extra al que se puede almacenar óptimamente en la bodega.	No	07/08/15
5	Monitoreo de los niveles de alfa ácidos para posibles ajustes.	Los niveles se deberían tener monitoreados en cada adición por el laboratorio. Esto en realidad no sucede debido a la falta de personal.	No	15/08/2015
6	Equipo de dosificación perfectamente enjuagado y limpio antes de utilizarse.	Se verificó en cada turno que los operarios encargados de la dosificación enjuagar y limpiarán el dosificador previo y posterior a su uso.	Sí	22/07/2015
7	Respeto de los tiempos de adición de lúpulo por marca.	Los tiempos de adición están perfectamente estandarizados, y se verificó que el personal a cargo los siguiera al pie de la letra en los diferentes turnos.	Sí	23/07/2015
8	pH del mosto y tiempo de adición de lúpulo dentro de especificación.	El pH del mosto se monitorea constantemente, de forma diaria, por ser una variable del indicador fisicoquímico.	Sí	19/07/2015
9	Asegurar que cualquier cambio en tiempo, temperatura de ebullición, o extracto de mosto original (EMO) está documentado para ajuste de la cantidad de lúpulo agregada.	No existe una documentación tal para preveer un ajuste de lúpulo, debido a que los tiempos de ebullición, la temperatura en ollas, y la cantidad de lúpulo a añadir ya están estandarizadas por tipo de cerveza, y se cuida que no haya cambios al respecto. Además , se monitorea constantemente el EMO para que esté dentro de especificación antes de mandar el mosto a ollas.	No	07/08/15
10	Revisión de la existencia de espumeo a lo largo de la ebullición.	Esto no se monitorea durante la ebullición, es únicamente en el periodo de mantenimiento de las ollas donde se verifica que no haya rastros de espumeo.	No	29/07/2015
11	Documentación de todo cambio en el proceso de fermentación (aeración, cantidad de levadura inoculada, temperatura, velocidad de llenado), además de tener disponible un procedimiento de ajuste de lúpulo cuando los cambios ocurren.	No se tienen documentados este tipo de cambios. Por un lado, la aereación del mosto, y la cantidad de inóculo son constates, así como la temperatura antes de entrar a los tanques de fermentación.	No	07/08/15
12	Asegurar que el nivel de llenado de los tanques de fermentación es el óptimo para obtener los niveles correctos de los componentes al final de la fermentación.	Esto no se cumple debido a que se exige mayor producción en la cervecería, lo que lleva a no llenar los tanques por completo.	No	07/08/15
13	Asegurar que el sistema de recuperación de cerveza no esté dosificando más cerveza recuperada de la necesaria en el proceso.	La dosificación de cerveza recuperada no se tiene estandarizada	No	07/08/15

Puede observarse que varias de las condiciones y métodos de operación referentes al lúpulo y a las unidades de amargor no se cumplían en su totalidad. Del total de 13 recomendaciones, sólo se seguían 6, o sea, un 46%.

Algunas medidas no se cumplían debido a que no existían cambios que generaran monitoreos del proceso extras a los que ya se realizaban (condiciones 9 y 11), por esto, no se trazó un plan de acción para dichos puntos.

Otras medidas no se cumplían debido a factores externos al área, como fue el caso del arreglo del sello de la bomba del dosificador del lúpulo, que quedó en manos del departamento de mantenimiento (condición no.1), o la necesidad de tener tanques en fermentación por debajo del nivel de llenado óptimo, debido a las variaciones de programación que existen en Cuartos Fríos y en envasado, (condición de operación no.12). Dicha programación es parte de los requerimientos que el corporativo hace a la gerencia de la planta, y por tanto, la acción de ésta última sobre esta situación es limitada.

En cuanto al almacenamiento de lúpulo (condición no. 4), el ingreso de lúpulo extra a la bodega es el resultado de una organización poco eficaz del equipo de planeación. El seguimiento de esta condición quedó a cargo de la gerencia de la planta, pero fuera de las acciones del presente estudio, debido a que los cambios en el almacenaje y manejo de esta materia prima conllevan consecuencias económicas y logísticas importantes para el corporativo.

Otra condición a señalar es la falta de monitoreo de los alfa ácidos añadidos a las ollas, debido a la falta de personal del laboratorio (condición no. 5). Cumplir esta condición requeriría aumento del presupuesto para el área en cuestión, lo cual es un cambio fuera del alcance de acción de la casa de cocimientos. Por tanto, el seguimiento quedó en manos de la gerencia.

La necesidad del monitoreo de espumeo en ollas (condición 10), se confirmará a través del seguimiento del segundo plan de acción de la casa de cocimientos que se presentará más adelante, el cual se refiere los posibles remanentes de IBU en condensados.

En cuanto a la condición no.13 referente a la recuperación de cerveza para los tanques de reposo, se realizó un plan de acción con el fin de comprobar qué tan estandarizada se tenía esta actividad entre el personal encargado de la filtración cruzada, y si es que se respetan los niveles máximos de cerveza para cada tanque.

#### Plan de acción emergente para la recuperación de cerveza

El plan de acción diseñado para comprobar que se realizaba adecuadamente la recuperación de cerveza para los tanques de reposo se muestra a continuación:

**Tabla 27. Plan de acción emergente para el monitoreo de recuperación de cerveza**

No.	Fecha	Asunto	Area	Acción	Fecha de Cierre	Estado
1	09/08/2015	Adición de cerveza recuperada a tanques de Reposo	Sistema de Filtración Cruzado	Reimplantar el Procedimiento Estándar de Operación (SOP) relativo a la recuperación de cerveza entre el personal encargado del sistema de filtración cruzada.	31/08/2015	En Progreso
2	09/08/2015	Adición de cerveza recuperada a tanques de Reposo	Sistema de Filtración Cruzado	Monitorear cumplimiento de la SOP de recuperación de cerveza a través del Diagnóstico del Estándar.	31/08/2015	En Progreso
3	09/08/2015	Adición de cerveza recuperada a tanques de Reposo	Sistema de Filtración Cruzado	Identificar nombres de bomberos de cerveza que apoyan en la operación de adición de cerveza.	20/08/2015	En Progreso

A continuación, se mostrará el seguimiento dado a dicho plan de acción, el cual se completó en tiempo y forma antes de las fechas estipuladas para finales del mes de agosto 2015.

### *Análisis de la recuperación de cerveza en los tanques de reposo*

En la tabla 28 puede observarse la cantidad total de cerveza que fue transferida de los tanques de fermentación a los tanques de reposo, el operador F, A, G, V o S encargado de la adición, y la diferencia entre la cantidad teórica de cerveza que debería de haber en la serie de los tanques (y en cada tanque), y la cantidad añadida a los mismos.

**Tabla 28. Análisis de la cantidad de cerveza recuperada de fermentación a reposo**

No. Prueba	Fecha	Tanque en Fermentación	Volumen total de cerveza (hl)	Operador	Tanques de Reposo	Cantidad teórica total (hl)	Promedio real por tanque (hl)	Promedio teórico por tanque (hl)	Diferencia por tanque (hl)	Diferencia cantidad total (hl)
1	01-ago	3	280	F	496-497-498-499-500	375	56	75	19.0	95
2	02-ago	4	235	A	500-501-502	225	78.33	75	-3.33	-10
3	02-ago	5	300	G	515-516-517-518	300	75	75	0.0	0
4	03-ago	6	228	V	519-520-243-241	250	57	62.5	5.5	22
5	03-ago	1	275	S	241-239-169-522	225	64.71	56.25	-8.46	-50
6	03-ago	2	291	G	523-524-525-526	300	72.75	75	2.3	9
7	03-ago	3	290	S	527-528-529-530	300	72.5	75	2.5	10
8	04-ago	4	266	G	H	690	-	-	-	424
9	05-ago	5	267	V	535-536-534-537	300	66.75	75	8.3	33
10	05-ago	6	276	A	537-538-539-509-510-511	300	46	50	4.0	24
11	06-ago	1	310	V	511-512-513	300	103.33	100	-3.33	-10
12	06-ago	2	284	S	513-514-232-234-235-367	350	47.33	58.3	11.0	66
13	07-ago	3	278	V	367-368-369-375-206-208-210	310	39.71	44.3	4.6	32
14	07-ago	4	281	S	210-207-209-211-195-197-203	350	40.14	50.0	9.9	69
15	08-ago	5	265	S	203-I	740	-	-	-	475
16	08-ago	6	294	V	541-542-543-247	275	73.5	68.8	-4.75	-19
17	08-ago	1	227	A	248-249-250-251-198	210	45.4	42.0	-3.4	-17
18	09-ago	2	259	A	551-552-553	225	86.33	75.0	-11.33	-34
19	09-ago	3	233	F	J	690	-	-	-	457
20	09-ago	4	320	S	J	690	-	-	-	370

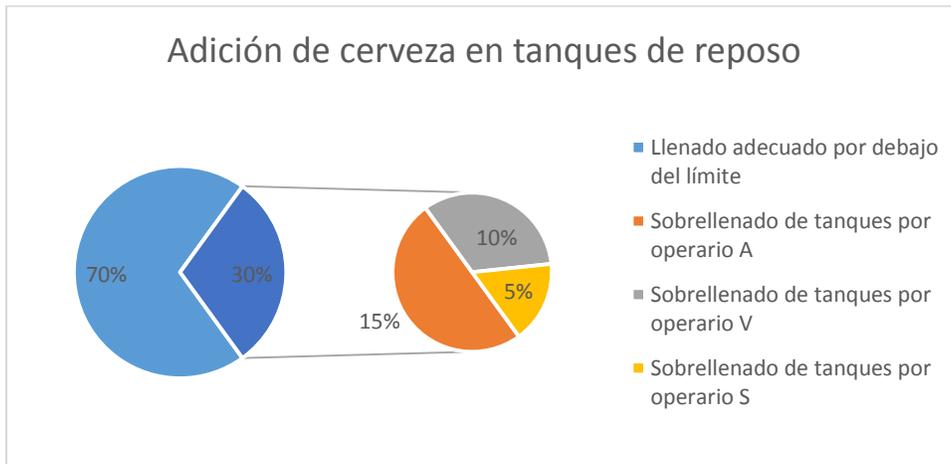
Los tanques de reposo señalados en color azul indican que fueron llenados con cerveza de dos tanques de fermentación distintos.

Aquellas diferencias en cantidad de cerveza negativas, señaladas en rojo para la Cantidad Total de cerveza en la serie de tanques y para cada tanque, indican que el llenado de los mismos no se llevó adecuadamente, teniendo cada tanque una cantidad de cerveza superior a la que se deberían operar.

Esto puede ser consecuencia de un seguimiento de llenado poco adecuado de acuerdo a lo indicado en el Procedimiento Estándar de Operación respectivo para la adición de cerveza recuperada.

Los datos de la tabla 28 también permitieron identificar a los operarios cuyas adiciones en los tanques de reposo quedaron por arriba de los límites de los tanques. De las 20 adiciones analizadas en la tabla, 70% de ellas fueron hechas adecuadamente, mientras que del 30% restante, los operarios A, V y S realizaron sobrellenado de cerveza, así como se muestra en el gráfico 20:

**Gráfico 20. Análisis de adiciones de cerveza en reposo**



Estos resultados marcan una pauta para dar entrenamiento y monitorear las actividades de estos operarios de acuerdo al Diagnóstico del Estándar para la adición de cerveza en reposo.

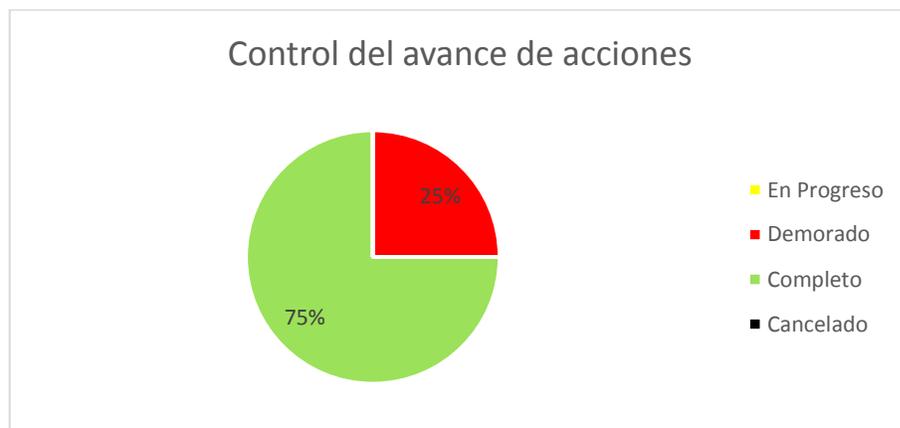
#### Avance del primer plan de acción

Una vez mostrado el seguimiento dado a las actividades relacionadas al plan de acción de las condiciones y métodos de operación en la casa de cocimientos y fermentación, junto con el plan de acción emergente para la recuperación de cerveza, puede observarse el avance en la tabla 29 y en el gráfica 21:

**Tabla 29. Avance del plan de acción de las condiciones y métodos de operación**

Condiciones y Métodos de Operación	Cantidad	Porcentaje del Total
Número Total de Acciones Propuestas	4	100%
En Progreso	0	0%
Demorado	1	25%
Completo	3	75%
Cancelado	0	0%

**Gráfico 21. Avance del plan de acción de las condiciones y métodos de operación**



La única actividad que se registra como “Demorada” fue el trazo de los planes de acción emergentes que se pensaba tener listos al 1º de agosto de 2015. El plan de acción emergente para la recuperación de cerveza terminó de redactarse el 9 de agosto de 2015, según puede observarse en la *Tabla 27 Plan de acción emergente para el monitoreo de recuperación de cerveza*.

*Segundo Plan de Acción. Condensado y pérdida de IBU en Ollas*

Los resultados de las actividades indicadas en el plan de acción para detectar IBU en los condensados de las ollas de ebullición del mosto se encuentran en la tabla 30, las muestras analizadas se realizaron en muestras de tanques donde fueron adicionados mostos de cervezas tipo “A” y tipo “B” a manera de referencia, por ser de las que más se producen:

**Tabla 30. Pruebas de residuos de IBU en condensados de ollas**

Fecha	Olla	Cocto	Tipo de cerveza	IBU en condensados
8/27/15	1	6559	A	15.0
8/27/15	2	6560	A	13.0
8/27/15	3	6555	B	11.7
8/27/15	4	6556	B	15.9
8/27/15	5	6557	B	20.2
8/27/15	6	6558	B	17.1

En estos resultados pudo confirmarse que, en efecto, hay presencia de IBU en el condensado de las chimeneas de las ollas que se genera durante la ebullición del mosto.

Estos resultados sugieren que se realice un análisis del momento de dosificación de lúpulo durante la ebullición, a fin de que el residuo en los condensados sea el mínimo.

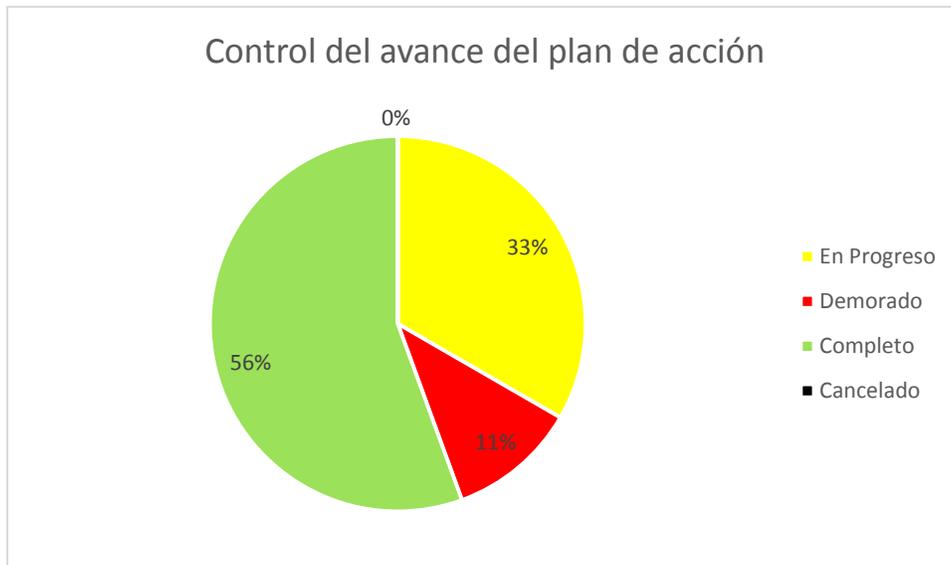
### Seguimiento plan de acción en reposo, filtración y gobierno

El avance de las actividades de este plan de acción fue monitoreado por personal del área de Cuartos Fríos. Al cierre de agosto del 2015, el estado de las actividades del plan de acción se observaba de la siguiente forma:

**Tabla 31. Avance del plan de acción en reposo, filtración y gobierno**

Control de acciones	Cantidad	Porcentaje del Total
Número Total de Acciones Propuestas	9	100%
En Progreso	3	33%
Demorado	1	11%
Completo	5	56%
Cancelado	0	0%

**Gráfico 22. Avance del plan de acción en Cuartos Fríos**



Se tuvieron actividades concluidas (56%) para el procedimiento de llenado de tanques, y para el mantenimiento de los mismos. Éstas se enlistan a continuación:

- Aumento de la presión en los tanques de gobierno con CO<sub>2</sub> antes de comenzar el llenado del mismo.
- Llenar los tanques de gobierno con un flujo mínimo de 150 hl/hr.
- Suspensión de la carbonatación del tanque en gobierno cuando éste se esté llenando con un filtro chico que pueda favorecer el espumeo por el cambio de presión.
- Estandarizar estas actividades en la SOP (Procedimiento Estándar de Operación) del llenado de tanques, y darla a conocer entre el personal responsable de la actividad.
- Elaboración de un plan de mantenimiento para la corrección y/o prevención de fugas en los tanques.

Por otro lado, las actividades en progreso hasta ese momento fueron las siguientes:

- Monitoreo del cumplimiento de la SOP de llenado de tanques, ya incluyendo los cambios mencionados anteriormente, a través del Diagnóstico del Estándar que cada ingeniero debe llevar a cabo con los operarios encargados de esta actividad.
- Monitoreo de la SOP del lavado de filtros, del cual depende un buen abrillantamiento de la cerveza y un cambio mínimo en la presión para evitar el espumeo prematuro, y por ende la pérdida de IBU.
- Establecer un procedimiento estándar para cargar las líneas y accesorios en la etapa de reposo, a fin de evitar entradas de aire que hagan necesaria la recirculación de la cerveza una vez llevada al tanque previo al envasado.

Dichas actividades se mantuvieron en progreso a lo largo del estudio, por ser monitoreos de procedimientos clave.

Por último, se registró como “Demorado” el establecimiento de un llenado de tanques organizado por demanda de marcas para el envasado; ya que es una actividad que no sólo depende de las condiciones y capacidades de la cervecería a lo largo de todo el proceso, sino de la programación que se envía y modifica desde el área de ventas de la organización.

El mencionado calendario de demanda depende por tanto de factores externos a la planta, y lo que quedó al alcance de los ingenieros de Cuartos Fríos fue establecer una mayor organización que concordara con la fermentación, el reposo, el gobierno y con el envasado, en la medida de lo posible.

Para observar el impacto que tenía el seguimiento de las acciones, tanto en la casa de cocimientos y fermentación, como en Cuartos Fríos, se procedió a realizar tres seguimientos de los niveles de amargor a lo largo del proceso. La descripción de los mismos se podrá observar en el paso siguiente del Ciclo PDCA.

# RESULTADOS

## Paso “CHECK” del Ciclo PDCA

### Verificar

En este paso del Ciclo se comprobó si hubo resultados favorables en los niveles de amargor al llevar a cabo las actividades de los planes de acción.

Se presentaron seguimientos dados a los niveles de amargor en todo el proceso, así también el resultado de las muestras específicamente en fermentación, y el reporte de las unidades a lo largo de todo el 2015 en los tanques de gobierno.

También se realizaron los diagramas de Pareto en filtración para observar el comportamiento de la variable hasta el cierre del año.

### Seguimiento de los niveles de amargor para comprobar la efectividad de los avances de los planes de acción

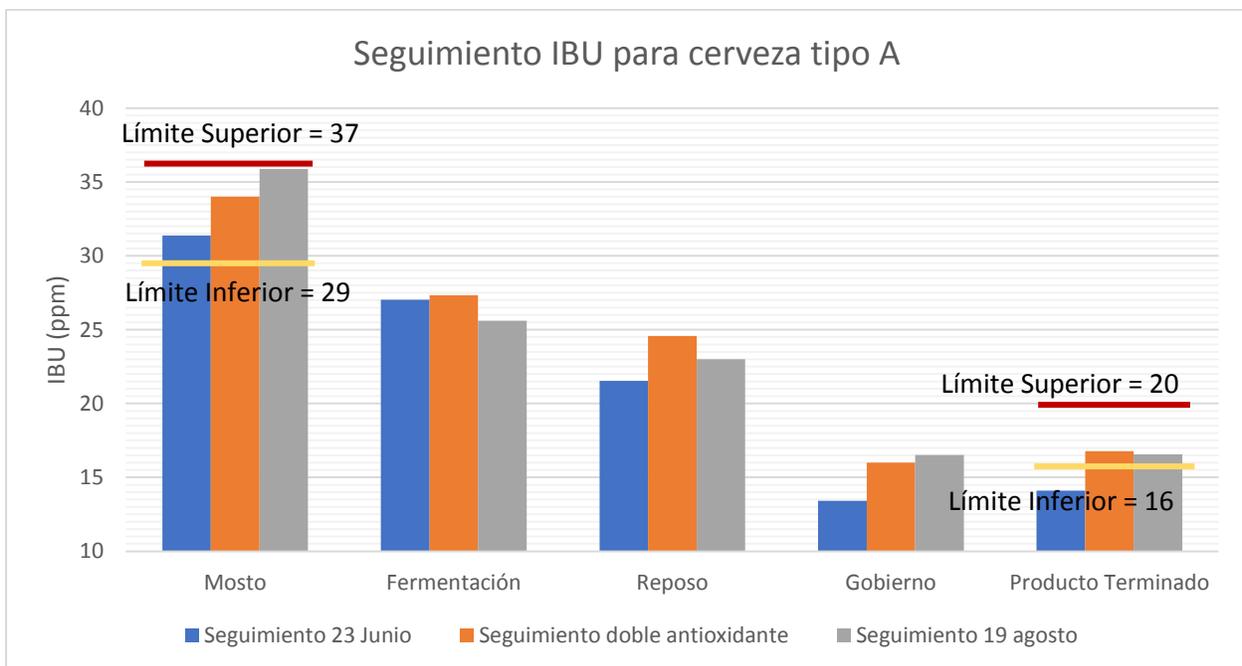
Se llevaron 3 seguimientos de los niveles de amargor en proceso para comprobar la efectividad de las actividades iniciadas a raíz del estudio. Para todos, se utilizaron mediciones de cerveza tipo “A” por ser la de mayor producción en la planta.

Como punto de referencia, se inició un seguimiento con fecha del 23 de junio de 2015 para la primera muestra en el mosto. El cocimiento respectivo se fue rastreando a lo largo del proceso, y se recopilaron los datos de amargor medidos en los tanques de fermentación, en los de reposo, en los de gobierno, y en las líneas de envasado respectivos al cocimiento original.

A raíz del cuidado que debe tenerse en relación a la adición del antioxidante, se realizó un segundo seguimiento de las unidades de amargor con fecha del 18 de julio del 2015, añadiendo el doble de antioxidante, para identificar si la cantidad en que éste se agregaba tenía o no una relación directa con la cantidad de IBU que permanecía en el mosto. Eso se hizo ya habiendo arreglado el dosificador de lúpulo.

El tercer seguimiento se llevó a cabo con fecha del 19 de agosto, para corroborar el funcionamiento del dosificador del lúpulo y el avance de las acciones tomadas y completadas hasta octubre del 2015, sin variar la cantidad original de antioxidante añadido en las ollas.

**Gráfico 23. Seguimiento de los niveles de amargor**



Se identificaron niveles máximos y mínimos establecidos por el laboratorio tanto en los mostos como en la cerveza terminada. Dichos límites provienen de análisis sensoriales

de la cerveza tipo “A”, con base en cumplimiento de los parámetros necesarios para su comercialización.

Para los tres seguimientos, los resultados de los niveles de amargor fueron aceptables para el mosto, sin embargo, puede verse que el primer seguimiento arrojaba resultados por debajo del límite inferior para el producto terminado.

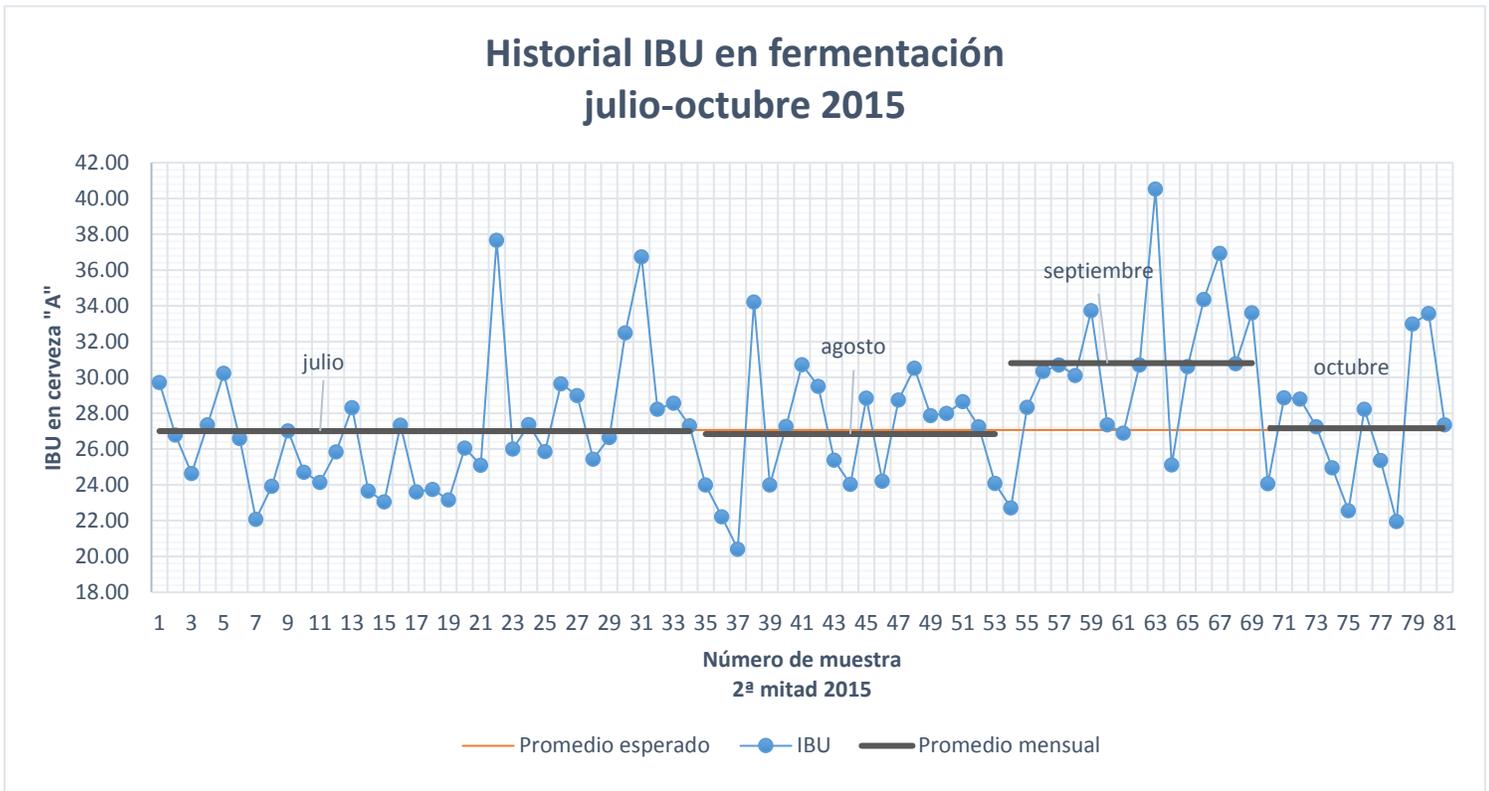
Pudo visualizarse una mejoría en los resultados de la cerveza terminada, y a lo largo del proceso en general, para los seguimientos con doble antioxidante y el iniciado a mediados de agosto, cuando ya se estaban llevando a cabo actividades en todas las partes del proceso.

Además, la mejoría en todo el proceso es relativamente la misma entre ambos seguimientos; si se continuara con todas las medidas y actividades de los planes de acción, no sería necesario agregar una cantidad mayor de antioxidante, por tanto, no se debería aumentar este costo para tener el resultado deseado en la cerveza.

#### Resultados de amargor en fermentación gracias al seguimiento de las condiciones y métodos de operación

Se recopilaron nuevamente muestras de la cerveza “A” en fermentación. El número de muestras al mes fue aleatorio, y los promedios mensuales se compararon contra el promedio objetivo, el cual se definió al principio del ejercicio y es equivalente a 27.07 unidades de amargor.

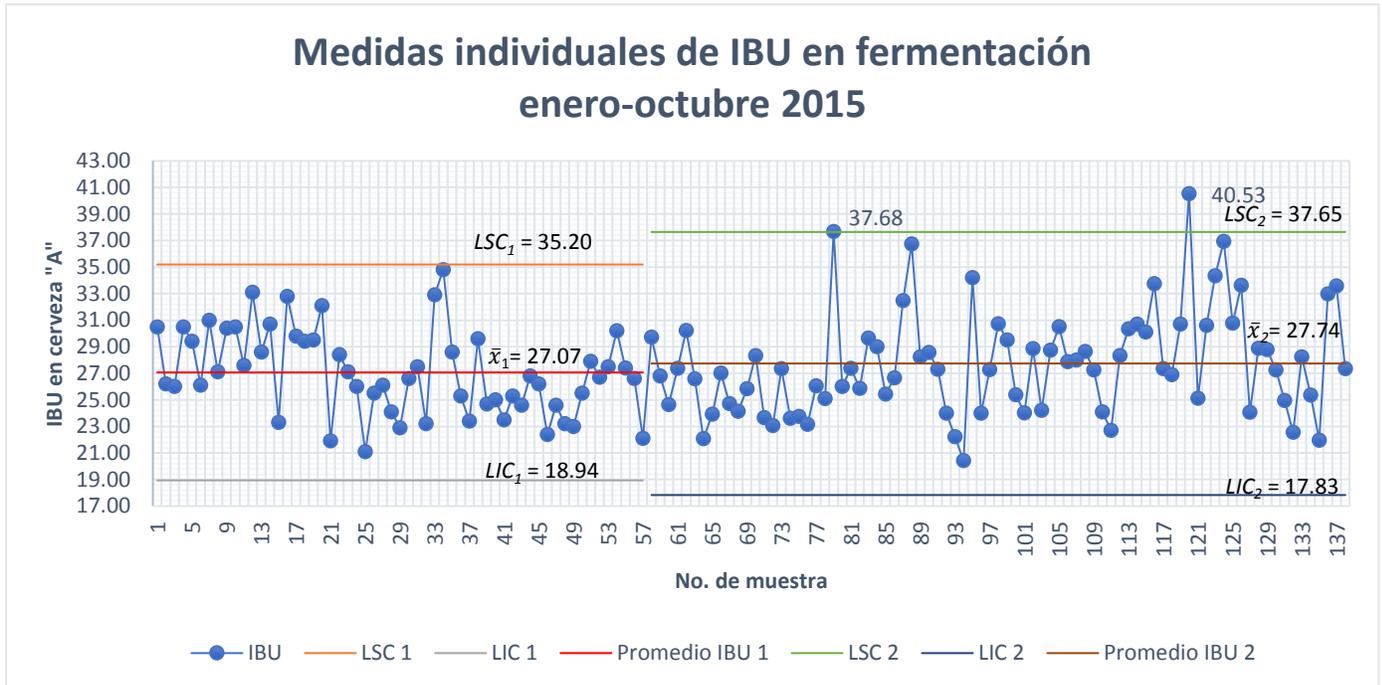
**Gráfico 24. Historial IBU en fermentación julio-octubre 2015**



Hasta el cierre de octubre, pueden observarse resultados promedio aceptables y por arriba del objetivo para las unidades de amargor en fermentación.

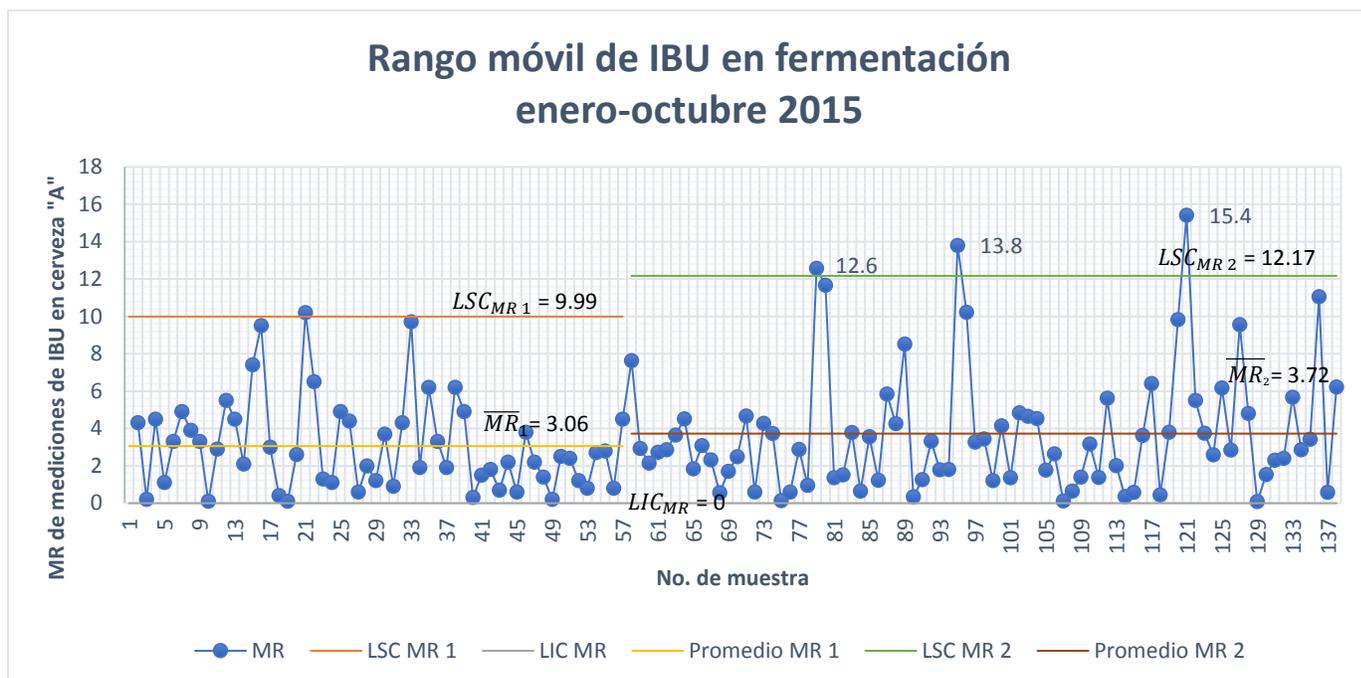
Para complementar el análisis de estos datos, se elaboró un gráfico de control de variables individuales y un gráfico de control de rangos móviles para el periodo julio-octubre 2015, éstos se conjuntaron con los gráficos elaborados en el proceso de análisis del paso “PLAN” del Ciclo PDCA. (Gráfico 18. Medidas individuales de IBU en fermentación y Gráfico 19. Rangos móviles de IBU en fermentación). Como resultado, se obtuvieron los siguientes gráficos de control para el periodo enero-octubre 2015:

**Gráfico 25. Medidas individuales de IBU de enero a octubre 2015**



Donde  $LSC_1$ ,  $\bar{x}_1$  y  $LIC_1$  son los valores de los límites de control y el promedio del nivel de IBU correspondientes al periodo enero-junio 2015. Los calculados para el periodo julio-octubre 2015 se identifican como  $LSC_2$ ,  $\bar{x}_2$  y  $LIC_2$ .

**Gráfico 26. Rangos móviles de IBU enero a octubre 2015**



Donde  $LSC_{MR1}$  y  $\overline{MR}_1$  son el Límite Superior de Control y el promedio del rango móvil correspondientes al periodo enero-junio 2015. Los calculados para el periodo julio-octubre 2015 se identifican como  $LSC_{MR2}$  y  $\overline{MR}_2$ . El valor de cero de  $LIC_{MR}$  fue constante.

Recordando el análisis hecho para el periodo enero-junio 2015, los límites de control presentados en el gráfico de control de medidas individuales no fueron sobrepasados por ninguno de los datos, sólo hubo un acercamiento en el mes de mayo al  $LSC_1$  debido a la falta de calibración de la báscula de lúpulo y fallas del dosificador presentadas en este mes, según lo analizado en pasos anteriores.

El gráfico de control de rango móvil indicó que una medición en el mes de marzo sobrepasó el  $LSC_{MR1}$ , y que otras dos, del mes de febrero y del mes de mayo, respectivamente, estaban muy cercanas a dicho límite, fue por esto que se concluyó que

el proceso no se llevaba a cabo bajo control, por la variación de los valores de los rangos presentados en estos puntos.

Puesto que la intención de la fase I en los gráficos de control es determinar límites confiables contruidos a partir de datos del proceso que se recaben durante una operación bajo control, se decidió no tomar como referencia los límites de control calculados en un inicio; y se prefirió recalcularlos a partir de los datos recabados en el periodo julio-octubre 2015.

El gráfico de medidas individuales presentado muestra, durante el periodo julio-octubre 2015, las mediciones 79 y 120 fuera del  $LSC_2$ , cuyos valores de IBU fueron 37.68 y 40.53, respectivamente. Dichas mediciones corresponden a los meses de julio y septiembre.

El efecto de las mediciones fuera de límite mencionadas se puede observar en el gráfico de rango móvil. El valor mostrado para la muestra 79, que es la diferencia con respecto al valor de IBU de la muestra 78, muestra un rango móvil por arriba del  $LSC_{MR 2}$  igual a 10.2; mientras que para la medición 121, el rango móvil fue de 15.4, por el valor de IBU de la muestra 120, por lo que el punto sobrepasa el  $LSC_{MR 2}$ .

En el gráfico de rango móvil también se puede observar otro punto fuera de control, éste representa el la diferencia entre la medición 95 con respecto a la 94, correspondientes al mes de agosto, a pesar de que dichas mediciones se encuentren dentro de los límites de control del gráfico de medidas individuales.

De los gráficos de control puede concluirse que, a pesar del aumento del promedio del nivel de IBU en las mediciones de los tanques de fermentación, el proceso continuó fuera

de control, por lo que sería necesario identificar las causas específicas del comportamiento de los puntos mencionados, para después excluirlos del cálculo de los límites de control, y así tener una referencia confiable para futuros monitoreos.

Si nos basáramos en éstos gráficos, concluiríamos que es necesario el monitoreo continuo de la variable de interés en los tanques de fermentación, puesto que el proceso, a pesar de cumplir con el valor de IBU objetivo durante la segunda mitad del año, seguía fuera de control.

Si nos basáramos únicamente en los historiales de niveles de amargor en los tanques de fermentación, podríamos concluir que, mientras se le dé seguimiento a las condiciones y métodos de operación establecidos para el tratamiento de las unidades de amargor en la casa de cocimientos y en fermentación, y se revise constantemente el funcionamiento óptimo del dosificador de lúpulo, los niveles de IBU en estas partes del proceso podrán mantenerse en los niveles adecuados, esto es, igual o por arriba del promedio objetivo de 27.07 IBU.

Derivado de lo anterior, no se juzgaría como necesario el agregar la medición de esta variable en esta parte del proceso al cálculo del indicador, siempre y cuando se mantengan las medidas antes mencionadas.

## Resultados de IBU en tanques de gobierno a lo largo del 2015

Otro de los objetivos del ejercicio fue tener resultados considerados como aceptables para las unidades de amargor en los tanques de cerveza brillante.

El resultado de todo el año 2015 se puede observar en la siguiente tabla resumen, que incluye los resultados de todas las cervezas elaboradas, incluyendo las cervezas tipo “A” y tipo “B”:

**Tabla 32. Resumen de los resultados mensuales de las unidades de amargor enero-diciembre 2015**

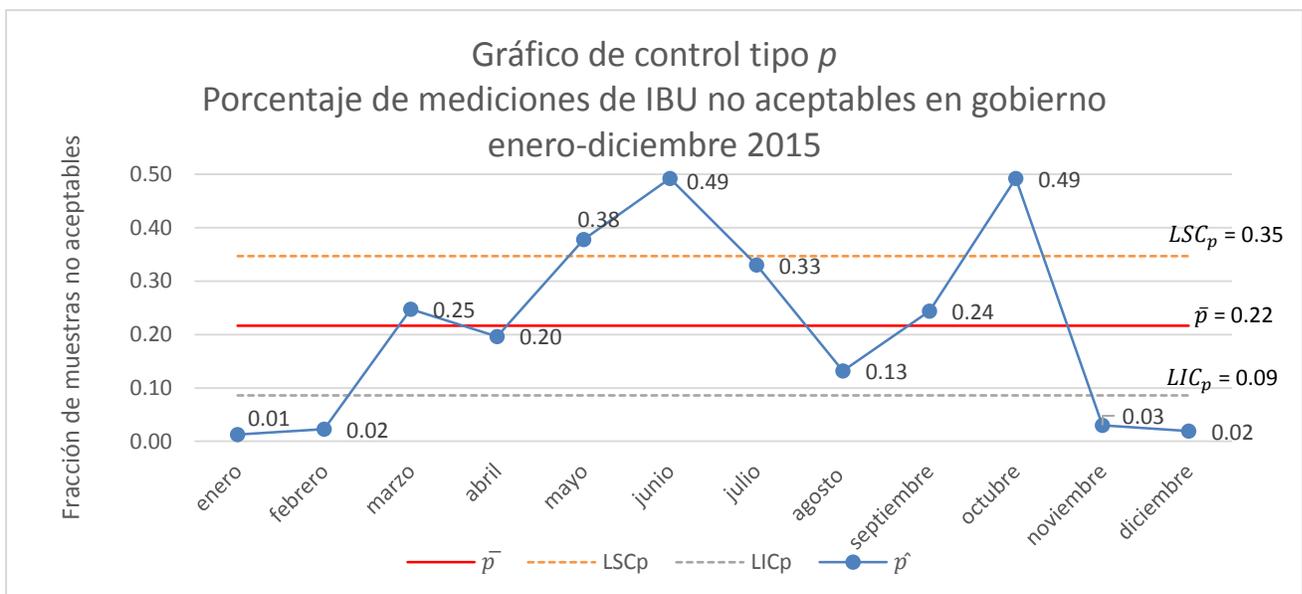
<b>2015</b>	<b>Total muestras</b>	<b>No. muestras dentro de rango</b>	<b>No. muestras fuera de rango</b>	<b>Porcentaje de muestras dentro de rango</b>	<b>Estado</b>
ENERO	77	76	1	99.351	Aceptable
FEBRERO	88	86	2	98.864	Aceptable
MARZO	97	73	24	87.629	No Aceptable
ABRIL	112	90	22	90.179	No Aceptable
MAYO	135	84	51	81.111	No Aceptable
JUNIO	63	32	31	75.397	No Aceptable
JULIO	100	67	33	83.500	No Aceptable
AGOSTO	91	79	12	93.407	No Aceptable
SEPTIEMBRE	82	62	20	87.805	No Aceptable
OCTUBRE	63	32	31	75.397	No Aceptable
NOVIEMBRE	66	64	2	98.485	Aceptable
DICIEMBRE	103	101	2	99.029	Aceptable

Se observa en los meses de julio a septiembre un aumento del porcentaje de las muestras dentro de rango, sin embargo, el resultado siguió calificándose como “No aceptable”, porque dicho porcentaje fue menor al 95%.

Incluso se observa una caída del porcentaje en el mes de octubre, sin embargo, se logró elevar el porcentaje de resultados dentro de rango al cierre del año, logrando que éstos fueran calificados como aceptables en los últimos dos meses.

Nuevamente, para complementar el análisis de los datos en gobierno, se elaboró otro gráfico de control tipo  $p$ , el cual incluyó los datos de todo el año 2015, y sus respectivos límites de control se calcularon con base en las fracciones  $\hat{p}_i$  de todos los meses. A continuación se muestra el gráfico de control resultante:

**Gráfico 27. Porcentaje de mediciones de IBU no aceptables durante el 2015**



En vez de comparar límites y el valor del estadístico  $\bar{p}$  entre la primera y la segunda mitad del año, se decidió trazar la gráfica con los datos de 2015 en forma conjunta, debido a que el número de puntos, o meses trazados, son 12, los cuales siguen siendo menores al número de valores que generalmente se utilizan en los gráficos de control tipo  $p$ .

Los puntos fuera de control que anteriormente ya se habían observado en mayo y junio, así como el comportamiento ascendente de  $\hat{p}$  desde el mes de enero, revelaron un comportamiento fuera de control de los niveles de IBU en los tanques de gobierno, que se debió al método poco adecuado que se seguía por los operarios para su llenado y al espumeo originado de la recirculación de cerveza por niveles altos de oxígeno disuelto.

De nuevo, la fase I de este tipo de gráfico de control no puede completarse hasta que no se tenga certeza de que los datos de referencia para el cálculo de los límites de control, y del estadístico  $\bar{p}$ , sean recabados durante una operación bajo control en los tanques de gobierno.

Para lograrlo, se debería identificar la causa asignable por la cual la fracción de muestras fuera de rango en el mes de octubre superó el  $LSC_p$ . Una teoría respecto a esto fue el aumento de demanda de cerveza brillante y el cambio de programación por parte del envasado, al presentar problemas en el llenado de los barriles en el mes de septiembre. Estos cambios inesperados pudieron haber provocado omisiones a los procedimientos estándar de operación

También se deberían graficar los datos de los meses continuos en 2016 para tener mayor precisión y definir si el proceso sigue fuera de control.

Los valores de  $\hat{p}$  de los meses de noviembre y diciembre indican una fracción mínima de mediciones de IBU fuera de rango, esto podría considerarse como algo favorable al proceso, sin embargo, no hace que se considere el funcionamiento del mismo bajo control.

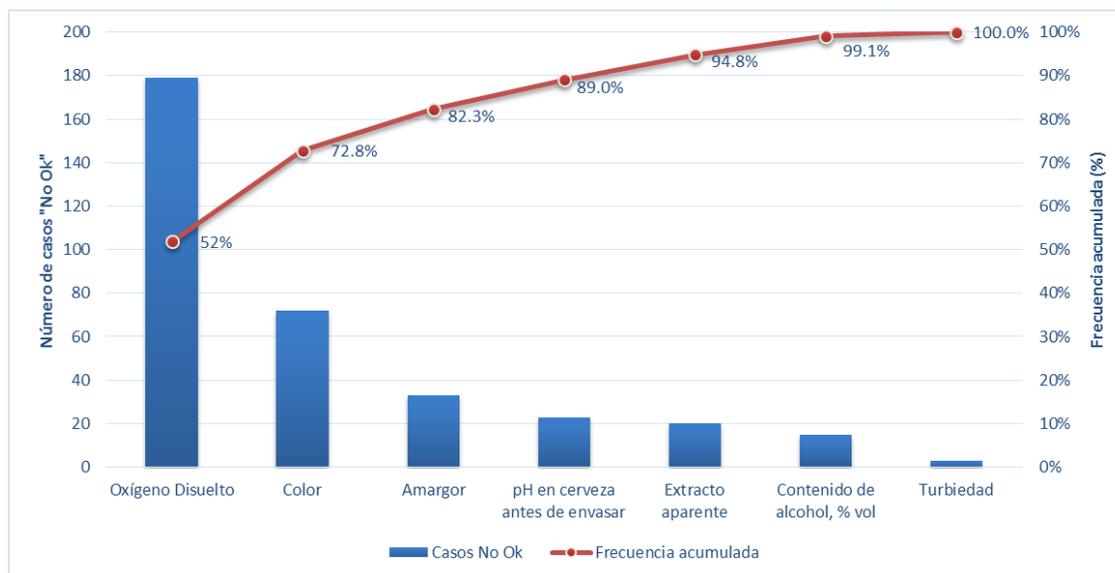
## Resultados de las variables en filtración de julio a diciembre de 2015

A continuación, se mostrará en diagramas de Pareto el avance de los resultados de las unidades de amargor dentro de la etapa de filtración, junto con el comportamiento del resto de las variables de esta etapa. Los resultados incluyen mediciones de todos los tipos de cerveza elaborados en la planta.

**Tabla 33. Análisis de casos fuera de rango de las variables en filtración, julio 2015**

Filtración (Tanque de cerveza brillante)	Casos No Ok	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada
Oxígeno Disuelto	179	51.9%	52%
Color	72	20.9%	72.8%
Amargor	33	9.6%	82.3%
pH en cerveza antes de envasar	23	6.7%	89.0%
Extracto aparente	20	5.8%	94.8%
Contenido de alcohol, % vol	15	4.3%	99.1%
Turbiedad	3	0.9%	100.0%
Total	345		

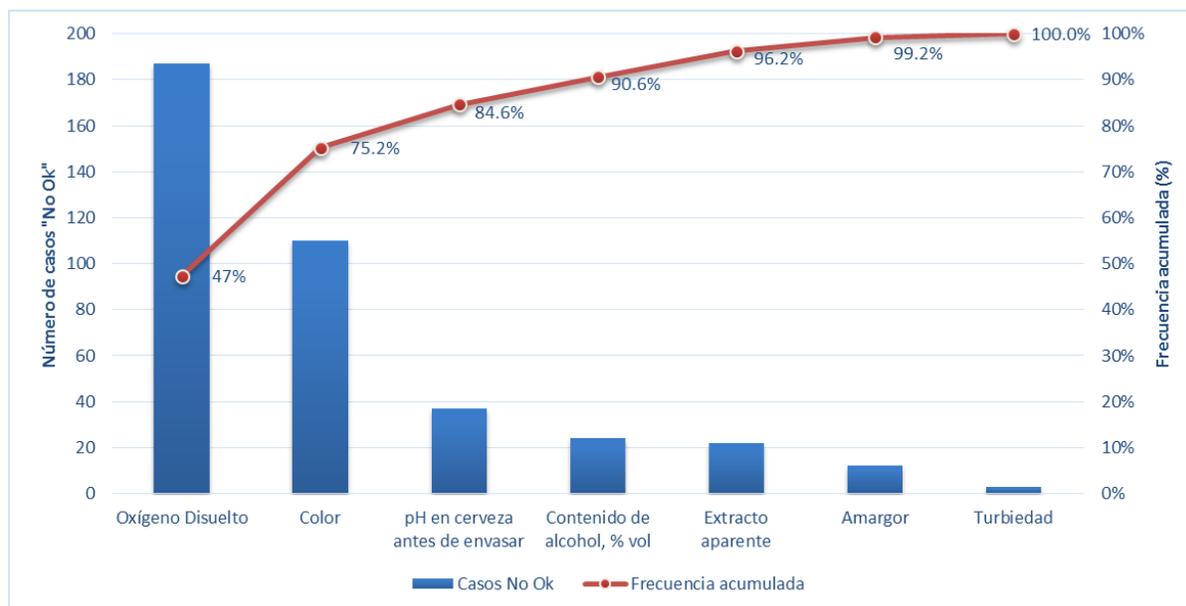
**Gráfico 28. Análisis de casos fuera de rango de las variables de filtración, julio 2015**



**Tabla 34. Análisis de casos fuera de rango de las variables en filtración, agosto 2015**

Filtración (Tanque de cerveza brillante)	Casos No Ok	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada
Oxígeno Disuelto	187	47.3%	47%
Color	110	27.8%	75.2%
pH en cerveza antes de envasar	37	9.4%	84.6%
Contenido de alcohol, % vol	24	6.1%	90.6%
Extracto aparente	22	5.6%	96.2%
Amargor	12	3.0%	99.2%
Turbiedad	3	0.8%	100.0%
Total	395		

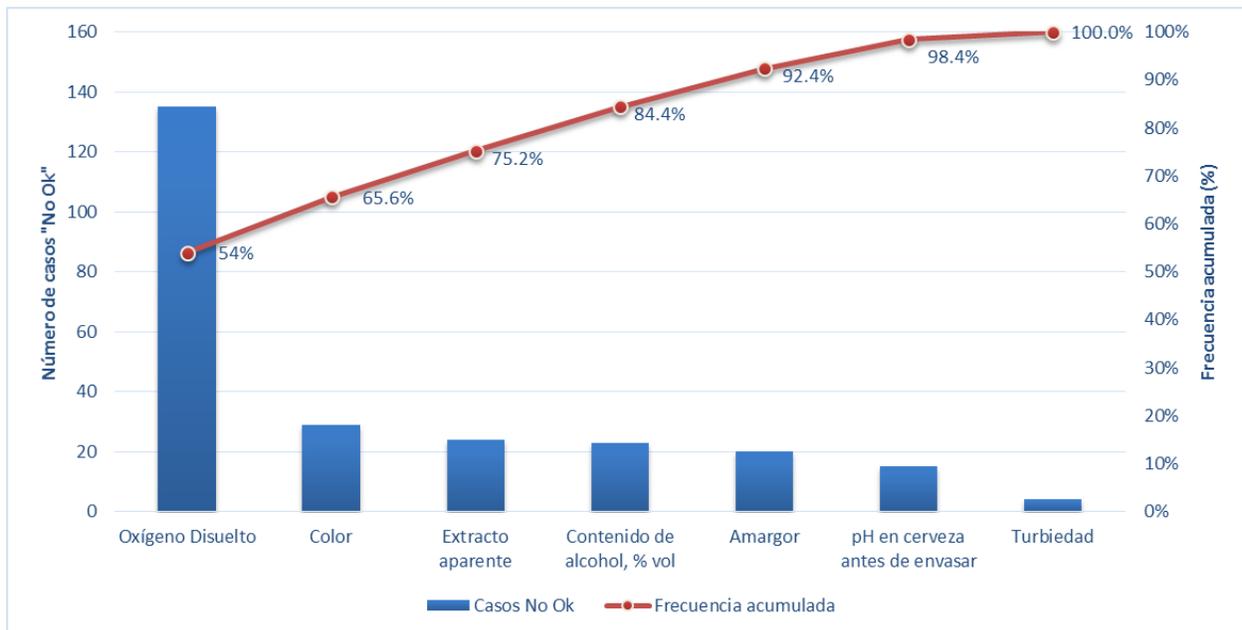
**Gráfico 29. Análisis de casos fuera de rango de las variables en filtración, agosto 2015**



**Tabla 35. Análisis de casos fuera de rango de las variables en filtración, septiembre 2015**

Filtración (Tanque de cerveza brillante)	Casos No Ok	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada
Oxígeno Disuelto	135	54.0%	54%
Color	29	11.6%	65.6%
Extracto aparente	24	9.6%	75.2%
Contenido de alcohol, % vol	23	9.2%	84.4%
Amargor	20	8.0%	92.4%
pH en cerveza antes de envasar	15	6.0%	98.4%
Turbiedad	4	1.6%	100.0%
Total	250		

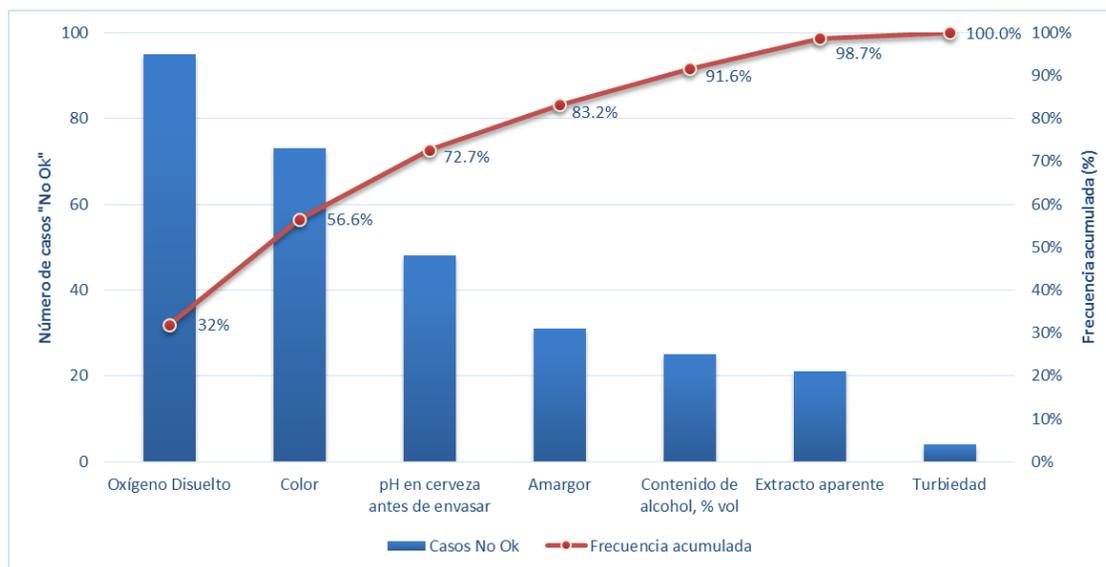
**Gráfico 30. Análisis de casos fuera de rango de las variables en filtración, septiembre 2015**



**Tabla 36. Análisis de casos fuera de rango de las variables en filtración, octubre 2015**

Filtración (Tanque de cerveza brillante)	Casos No Ok	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada
Oxígeno Disuelto	95	32.0%	32%
Color	73	24.6%	56.6%
pH en cerveza antes de envasar	48	16.2%	72.7%
Amargor	31	10.4%	83.2%
Contenido de alcohol, % vol	25	8.4%	91.6%
Extracto aparente	21	7.1%	98.7%
Turbiedad	4	1.3%	100.0%
Total	297		

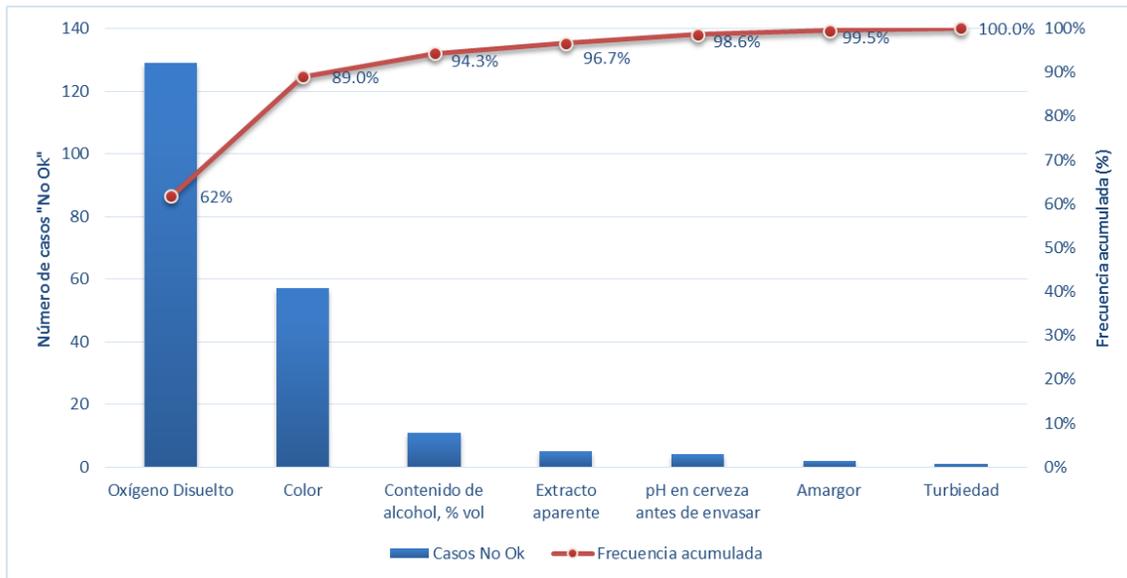
**Gráfico 31. Análisis de casos fuera de rango de las variables en filtración, octubre 2015**



**Tabla 37. Análisis de casos fuera de rango de las variables en filtración, noviembre 2015**

Filtración (Tanque de cerveza brillante)	Casos No Ok	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada
Oxígeno Disuelto	129	61.7%	62%
Color	57	27.3%	89.0%
Contenido de alcohol, % vol	11	5.3%	94.3%
Extracto aparente	5	2.4%	96.7%
pH en cerveza antes de envasar	4	1.9%	98.6%
Amargor	2	1.0%	99.5%
Turbiedad	1	0.5%	100.0%
Total	209		

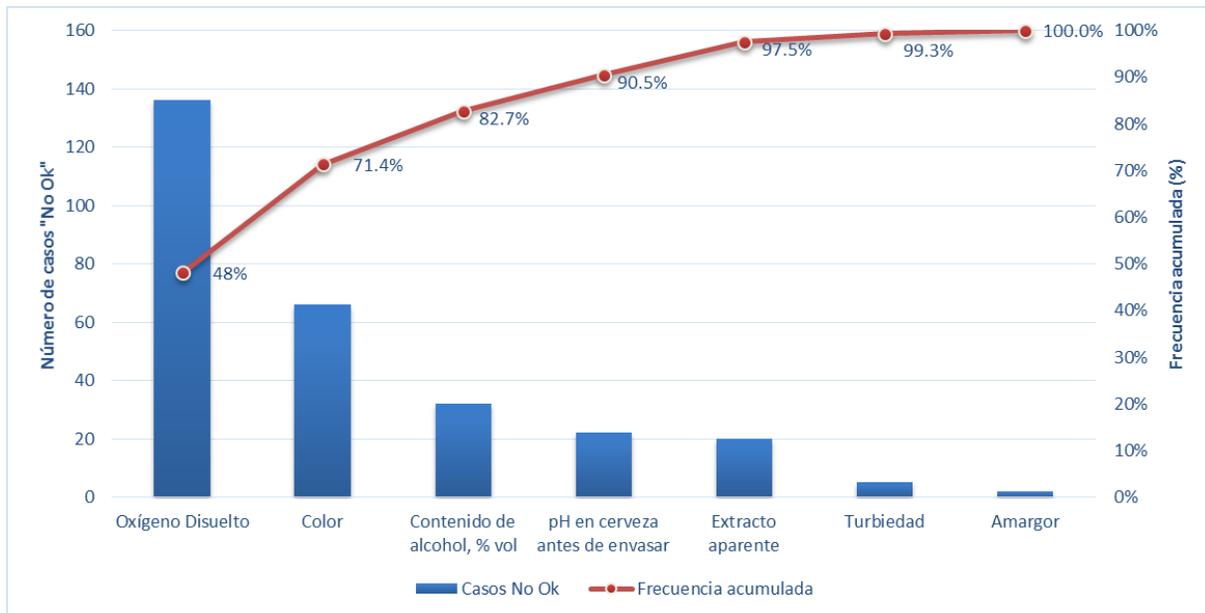
**Gráfico 32. Análisis de casos fuera de rango de las variables en filtración, noviembre 2015**



**Tabla 38. Análisis de casos fuera de rango de las variables en filtración, diciembre 2015**

Filtración (Tanque de cerveza brillante)	Casos No Ok	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada
Oxígeno Disuelto	136	48.1%	48%
Color	66	23.3%	71.4%
Contenido de alcohol, % vol	32	11.3%	82.7%
pH en cerveza antes de envasar	22	7.8%	90.5%
Extracto aparente	20	7.1%	97.5%
Turbiedad	5	1.8%	99.3%
Amargor	2	0.7%	100.0%
Total	283		

**Gráfico 33. Análisis de casos fuera de rango de las variables en filtración, diciembre 2015**



Aunque los resultados de las unidades de amargor en gobierno se siguieron considerando como no aceptables en los meses de julio a octubre, en los diagramas de Pareto que se realizaron para la etapa de filtración en el segundo semestre 2015 puede observarse que la variable del amargor dejó de formar parte del 80% de variables con mayor número de muestras fuera de rango, salvo por el mes de octubre, donde el amargor forma parte de las causas raíz por un 10.4%.

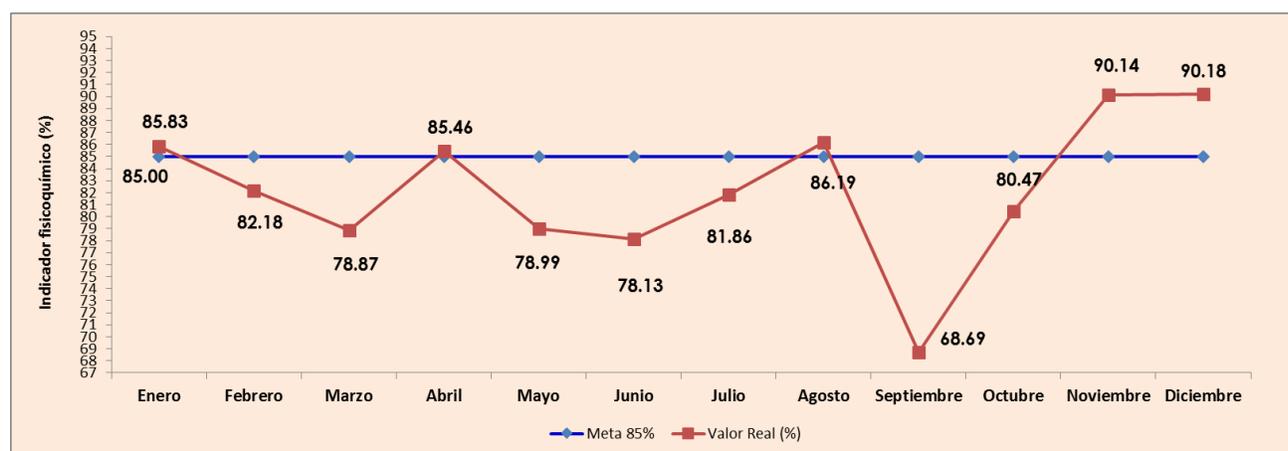
### Análisis de Desviación

En esta parte se mostrará la comparación entre el objetivo mensual definido al inicio del año y los resultados obtenidos para el indicador fisicoquímico, recordando que éstos incluyen todos los tipos de cerveza. También se mostrarán los resultados acumulados conforme fue avanzando el año.

**Tabla 39. Resultados del indicador fisicoquímico de julio a Diciembre 2015**

Comparación mensual	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Meta (%)	85.00	85.00	85.00	85.00	85.00	85.00
Valor Real (%)	81.86	86.19	68.69	80.47	90.14	90.18

**Gráfico 34. Resultados del indicador fisicoquímico en 2015**



A excepción del mes de septiembre, se observó una mejora general del indicador fisicoquímico para el segundo semestre del 2015.

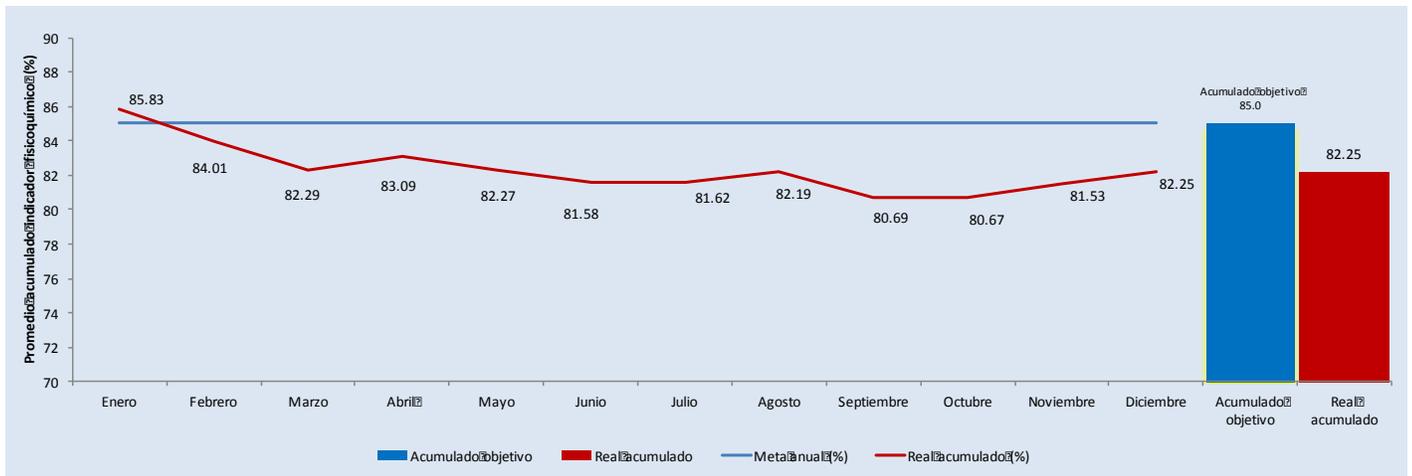
El resultado mostrado en el mes patrio puede relacionarse con lo mostrado en el diagrama de Pareto en filtración, donde el oxígeno disuelto, el color, el extracto aparente y el contenido de alcohol son las variables con más muestras fuera de rango. En este mes coincidió también una falla importante en el llenado de los barriles dentro de la sección de envasado, la cual fue atendida hasta principios de octubre.

A pesar de lo anterior, se puede apreciar la recuperación del resultado mensual del indicador en los meses de noviembre y diciembre.

**Tabla 40. Promedio acumulado del indicador fisicoquímico de julio a diciembre 2015**

Comparación avance 2do semestre 2015	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Meta anual (%)	85.00	85.00	85.00	85.00	85.00	85.00
Real acumulado (%)	81.62	82.19	80.69	80.67	81.53	82.25

**Gráfico 35. Promedio acumulado del indicador fisicoquímico en 2015**



En el gráfico 35 puede observarse que la brecha entre el promedio acumulado objetivo y el obtenido en la segunda mitad del 2015 pudo disminuirse.

A pesar de no lograr el objetivo anual de 85% de control para el indicador, puede sugerirse que el seguimiento del Ciclo PDCA para el amargor en la segunda mitad del año evitó que el resultado acumulado disminuyera aún más.

### Prueba de hipótesis como complemento al paso “CHECK” del Ciclo PDCA

Con el fin de comprobar si hubo un cambio estadístico significativo y favorable al final de la aplicación del Ciclo PDCA, se compararon las distribuciones muestrales de los estadísticos correspondientes a los datos de IBU recabados en la primera y segunda mitad del año 2015, a través de pruebas de hipótesis.

A pesar de que el Ciclo PDCA aplicado en la cervecería no incluye este procedimiento en el paso “*Check*”, se considera que los enunciados que las pruebas de hipótesis permiten obtener, constituyen una base estadística fuerte para concluir que se dio o no una mejora en el proceso.

En esta sección se describirán las pruebas de hipótesis relacionadas a las distribuciones de probabilidad de las medias y desviaciones estándar de los datos de IBU recabados en la etapa de fermentación, y en la distribución de probabilidad de la proporciones de datos fuera de norma en gobierno.

## Prueba de hipótesis de proporciones en las muestras de cerveza en gobierno

Durante el proceso de análisis (paso “PLAN” del Ciclo PDCA), se compararon los resultados recolectados de mediciones de IBU fuera de norma en los tanques de gobierno, y se obtuvo la proporción de las mediciones no aceptables con respecto al total de mediciones realizadas.

Con el fin de comprobar que la proporción de medidas no aceptables (de la población de mediciones fuera de rango) en la segunda mitad del 2015 (“ $p_2$ ”), disminuyó con respecto a la proporción de la población del periodo enero-junio (“ $p_1$ ”), se realizó una “prueba de muestra grande” para:

$$H_0: p_1 = p_2$$

$$H_1: p_1 > p_2$$

Con base en los siguientes datos:

**Tabla 41. Proporción de mediciones no aceptables en gobierno**

<b>Periodo 2015</b>	<b>No. de mediciones en gobierno</b>	<b>Proporción <math>\hat{p}</math></b>
enero-junio	$n_1 = 572$	$\hat{p}_1 = 0.23$
julio-diciembre	$n_2 = 505$	$\hat{p}_2 = 0.20$

Donde  $\hat{p}_1$  y  $\hat{p}_2$  son los estimadores de las proporciones de la población, y se definen como:

$$\hat{p}_1 = \frac{\text{no. de mediciones fuera de rango}_1}{n_1} = \frac{131}{572} = 0.23$$

$$\hat{p}_2 = \frac{\text{no. de mediciones fuera de rango}_2}{n_2} = \frac{100}{505} = 0.20$$

Se utilizó el estadístico de prueba  $Z_0$  según la siguiente ecuación:

$$Z_0 = \frac{\hat{p}_1 - \hat{p}_2}{\sqrt{\hat{p}(1 - \hat{p}) \left[ \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]}}$$

Donde  $\hat{p}$  es la estimación del parámetro común  $p$ , de acuerdo a:

$$\hat{p} = \frac{\text{no. de mediciones fuera de rango}_1 + \text{no. de mediciones fuera de rango}_2}{n_1 + n_2} = 0.21$$

El resultado de  $Z_0$  fue de 1.24 puntuaciones estándar. Seleccionando  $\alpha = 0.05$  (esto es, la probabilidad de rechazar  $H_0$  cuando es verdadera), la frontera de la región crítica, o región de rechazo de la prueba, es:

$$Z_\alpha = Z_{0.05} = 1.64$$

Puesto que  $Z_0 \not> Z_{0.05}$ , no podemos rechazar  $H_0: p_1 = p_2$ , ya que para hacerlo, el valor  $Z_0$  debió ser mayor a 1.64 para salir de la región de aceptación.

(Montgomery, 2013)

(Hines & Montgomery, 1993)

De lo anterior podemos concluir que no hay evidencia estadística suficiente para decir que hubo una disminución significativa en la proporción de mediciones de IBU fuera de rango en los tanques de gobierno.

## Prueba de hipótesis de medias en las muestras de fermentación

Como se reportó en secciones anteriores, se obtuvieron datos de IBU a través muestras aleatorias en los tanques de fermentación, en los periodos de enero a junio (“*periodo 1*”), y de julio a octubre (“*periodo 2*”) del año 2015.

Los datos recolectados se muestran la siguiente tabla:

**Tabla 42. Variables muestrales de las mediciones en fermentación**

<b>Periodo 2015</b>	<b>No. de mediciones en fermentación</b>	<b>Media</b>	<b>Varianza</b>
enero-junio	$n_1 = 57$	$\bar{x}_1 = 27.07$	$s_1^2 = 10.24$
julio-octubre	$n_2 = 81$	$\bar{x}_2 = 27.74$	$s_2^2 = 15.47$

Como la varianza ( $\sigma^2$ ) de los niveles de IBU en fermentación se desconoce, se llevó a cabo una prueba de hipótesis de las medias de dos distribuciones normales con varianzas desconocidas, suponiendo que  $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$  por las condiciones diferentes del proceso en los periodos señalados, y por la diferencia entre  $n_1$  y  $n_2$ .

Para determinar si en la segunda mitad del año aumentó la media de los niveles de IBU en los tanques de fermentación, se decidieron probar las siguientes hipótesis:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 < \mu_2$$

Se analizó a través de la distribución del estadístico de prueba  $t^*$ , que se distribuye aproximadamente como el estadístico  $t$ .

$$t_0^* = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} = \frac{27.07 - 27.74}{\sqrt{\frac{10.24}{57} + \frac{15.47}{81}}} = -1.10$$

Los grados de libertad en  $t_0^*$  se determinaron según la siguiente ecuación:

$$v = \frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{(s_1^2/n_1)^2}{n_1 - 1} + \frac{(s_2^2/n_2)^2}{n_2 - 1}} - 2 = \frac{\left(\frac{10.24}{57} + \frac{15.47}{81}\right)^2}{\frac{(10.24/57)^2}{56} + \frac{(15.47/81)^2}{80}} - 2 = 131$$

Posteriormente se buscó el valor del percentil  $t$  a un nivel de significancia ( $\alpha$ ) de 0.05, con los  $v$  grados de libertad calculados:

$$-t_{\alpha,v} = -t_{0.05,131} = -1.645$$

(Montgomery, 2013)

(Hines & Montgomery, 1993)

Puesto que  $t_0^* \not\leq -t_{0.05,131}$ , no podemos rechazar  $H_0: \mu_1 = \mu_2$ , ya que para hacerlo, el valor  $t_0^*$  debió ser menor a -1.645.

Lo anterior indicaría que, estadísticamente, no hubo un cambio significativo en la media de los niveles de amargor de los tanques de fermentación, a pesar de las actividades llevadas a cabo durante el periodo de julio a octubre de 2015.

### Prueba de hipótesis de varianzas en las muestras de fermentación

Para corroborar si en la etapa de fermentación ocurrió una disminución de la varianza en las mediciones de IBU, como consecuencia de la aplicación del Ciclo PDCA, se llevó a cabo una prueba de hipótesis de dos varianzas para poblaciones normales, con base en la prueba de estadístico  $F$ .

Las hipótesis nula y alternativa se formularon como se indica a continuación:

$$H_0: \sigma_1 = \sigma_2$$

$$H_1: \sigma_1 > \sigma_2$$

Utilizando como base las varianzas  $s_1^2$  y  $s_2^2$  mostradas en la *Tabla 41. Variables muestrales de las mediciones en fermentación*, se tiene el estadístico de prueba:

$$F_0 = \frac{s_1^2}{s_2^2} = \frac{10.24}{15.47} = 0.66$$

Si  $\alpha = 0.05$ , tenemos que:

$$F_{\alpha, n-1, n-2} = F_{0.05, 56, 80} \sim 1.49$$

Puesto que  $F_0 \not\geq F_{0.05, 56, 80}$ , no podemos rechazar  $H_0: \sigma_1 = \sigma_2$ , ya que para hacerlo, el valor  $F_0$  debió ser mayor a 1.49

(Montgomery, 2013)

(Hines & Montgomery, 1993)

Lo que puede concluirse de esta prueba de hipótesis es que no hay evidencia estadística suficiente para considerar que la varianza de los niveles de IBU en la etapa de fermentación haya disminuido.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### Paso “ACT” del Ciclo PDCA

#### Estandarización

El objetivo de este paso es determinar las actividades a estandarizar con base en los resultados favorables para los niveles de amargor, según lo mostrado únicamente por el seguimiento de los niveles de amargor en el proceso, (*Gráfico 23. Seguimiento de los niveles de amargor*), la observación y comparación de los historiales de IBU en fermentación y en gobierno, (*Gráfico 21. Historial IBU en fermentación julio-octubre 2015*, y *Tabla 32. Resumen de los resultados mensuales de las unidades de amargor enero-diciembre 2015*), y en la sección *Análisis de desviación* mostrados en el paso anterior.

A continuación, se mostrará un listado de los puntos más importantes a seguir para que los resultados de IBU siempre sean aceptables, y para garantizar que el amargor siempre favorezca el resultado final del indicador fisicoquímico:

#### Medidas a estandarizar para las etapas de Casa de cocimientos y Fermentación

- Garantizar el buen funcionamiento y el mantenimiento adecuado del dosificador de lúpulo, así como de sus componentes.
- Continuar con el enjuague y limpieza del mismo dosificador antes y después de su uso.
- Seguir cumpliendo con las condiciones y métodos de operación establecidos relacionados al uso adecuado del inventario de lúpulo, al seguimiento de los tiempos de dosificación, y a las condiciones de almacenamiento de la materia prima.

- Dar continuidad a los tiempos de dosificación de acuerdo a lo establecido, verificando que la cantidad de IBU que permanezca en los condensados de las ollas sea la menor posible.
- Asegurar el correcto llenado de los tanques de fermentación, no sólo capacitando y monitoreando esta actividad con los operarios, sino cuidando el llenado óptimo del tanque, y la concordancia de los lotes con los calendarios de demanda de las etapas posteriores.
- Estandarizar la dosificación de cerveza recuperada de los tanques de fermentación a los tanques de reposo, capacitando al personal identificado y monitoreando el procedimiento constantemente. Esto permitirá un manejo adecuado de la cerveza en Cuartos Fríos.

#### Medidas a estandarizar para las etapas de Maduración y Filtración y Gobierno

- Cargar líneas y accesorios en los tanques de reposo de acuerdo al procedimiento generado por los ingenieros del área, a fin de evitar fugas, y cambios en los niveles de oxígeno disuelto que hagan necesaria la recirculación de la cerveza, y por ende, la pérdida de IBU.
- Monitorear permanentemente el llenado de tanques en gobierno, respetando el nivel adecuado de contrapresión de CO<sub>2</sub> y el flujo necesario de cerveza para evitar el espumeo de la misma.
- Dar mantenimiento a los tanques de gobierno para corregir y evitar fugas que pudieran afectar los niveles de los componentes.
- Garantizar el lavado de los filtros para minimizar los cambios de presión en la cerveza.
- Establecer prioridades de llenado en reposo y gobierno que concuerden con los calendarios de demanda de envasado y de las etapas anteriores a Cuartos Fríos, en la medida de lo posible.

El seguimiento de las medidas anteriores permitirá garantizar la sustentabilidad de los resultados logrados y la eliminación las causas raíz de la baja en las unidades de amargor.

## Conclusiones

En esta última sección se hará un recuento de lo observado en el estudio, se describirá la mejora que pudo concluirse a raíz, exclusivamente, de las actividades y herramientas indicadas en el Ciclo PDCA, y la comparación de dicha mejora con los resultados contrastantes que originaron los gráficos de control y las pruebas de hipótesis.

### De los niveles de IBU en tanques de gobierno.

Se observó un buen aumento en el resultado mensual del indicador fisicoquímico gracias, entre otros factores, al incremento del número de resultados dentro de norma de las pruebas de amargor en la cerveza brillante.

Aunque el porcentaje de mediciones dentro de norma no se considerara aceptable hasta el mes de noviembre, sí presentó un mejor comportamiento que el mostrado en el primer semestre del año. Además, los diagramas de Pareto mostraron que la variable del amargor dejó de pertenecer a las fuentes principales de muestras fuera de rango.

Estos efectos pudieron observarse gracias a la aplicación de las acciones comentadas en el plan de acción respectivo para evitar el espumeo en los tanques de gobierno.

Sin embargo, como lo mostró el gráfico de control en esta parte del proceso, aunque hubiera una disminución del porcentaje de muestras no aceptables hacia el cierre del año, el proceso no puede considerarse bajo control, por lo que es necesario continuar las observaciones sobre los resultados del mismo.

Lo anterior también se vio reflejado en la prueba de hipótesis correspondiente, donde se demostró que no hay evidencia estadística suficiente que indique que la proporción de unidades fuera de norma en los tanques de gobierno haya disminuido.

### De los niveles de IBU en fermentación

Pudo observarse un aumento de las unidades de amargor presentes en las muestras de cerveza tipo “A” de los tanques de fermentación, teniendo resultados mensuales por arriba del promedio establecido al principio del ejercicio para la segunda mitad del año. Esto se debió en gran medida a la reparación del dosificador, a un tratamiento adecuado del lúpulo y a un mejor control en el llenado de los tanques de fermentación.

A pesar de observar el efecto anterior, los gráficos de control de variables individuales y de rango móvil mostraron que el proceso seguía fuera de control. Con base en esto, sí sería necesario continuar con el monitoreo de la variable en esta parte del proceso, aun cuando las medidas descritas se sigan llevando acabo.

Según los resultados de las pruebas de hipótesis para esta parte del proceso, la mejora observada en realidad no fue estadísticamente suficiente para determinar que la media de los niveles de IBU haya aumentado significativamente, ni tampoco para concluir que la varianza de los mismos haya disminuido.

### Generales

Como consecuencia del seguimiento del Ciclo de Mejora Continua, las medidas tomadas en cuenta para corregir el descenso del indicador fisicoquímico observado a mediados del 2015, fueron fruto del trabajo en equipo y la buena organización del personal del área de elaboración (tanto ingenieros como operarios); también de la experiencia que dicho personal tiene con relación al proceso.

Lo importante de la identificación de las medidas a estandarizar para garantizar buenos resultados de las unidades de amargor, es continuar con su aplicación. Esto incluye documentarlas como parte de los Procedimientos Estándar de Operación, darlas a conocer y capacitar a todo el personal para llevarlas a cabo, y cumplir con los Diagnósticos del Estándar respectivos.

Existen herramientas en la planta para la creación y difusión de estándares, éstas deben estar actualizadas y ejecutarse constantemente para que no decaiga su seguimiento, y no haya repetición en el trabajo. La idea es que las medidas encontradas se incorporen a la vida diaria del proceso y se hagan rutina, a fin de poder atender otras variables sin descuidar las ya revisadas.

#### Posibles mejoras a la aplicación del Ciclo PDCA

Como pudo observarse en el mes de septiembre, el indicador fisicoquímico no sólo depende de los resultados de los niveles de amargor, sino de todas las variables que lo conforman. Una falla en el envasado como la presentada en este mes puede afectar el resultado final de forma importante. Es por esto que se debería aplicar el Ciclo de Mejora Continua de forma simultánea a aquellas variables, tanto en elaboración como en envasado, que necesiten o puedan presentar mejoras en sus resultados.

Para lograr aplicar el Ciclo de Deming al estudio de varias variables, se requeriría más personal del existente que se dedique únicamente a los seguimientos, u otro sistema que permita atender los resultados al mismo tiempo e identificar la relación que existe entre las variables, junto con los efectos directos de las acciones tomadas en cada una de ellas.

Lo anterior también requeriría de más personal que se encargara del seguimiento de las actividades y los resultados, sin dejar de incluir a todo el personal de la planta involucrado directamente en el proceso, tanto operarios como ingenieros.

Aunque la adquisición de más personal es una medida que tiene efectos importantes en las finanzas de la empresa, puede considerarse, en primera instancia, como una buena inversión a largo plazo para conseguir la disminución de variaciones en el proceso y en los productos finales. Esto llevaría a tener menores costos de operación.

Se pudo comprobar que las herramientas de calidad que el Ciclo *PDCA* indica, y la forma en la que éste se estructura, no sólo permiten analizar y solucionar un problema a partir de tratar estadísticamente valores numéricos; también posibilitan la inclusión del factor humano y las relaciones laborales, que tienen un papel básico tanto en las causas raíz como en las soluciones finales que se pueden presentar en la industria.

Sin embargo, también se demostró que la metodología que el Ciclo indica sería más contundente si incluyera los análisis que los gráficos de control y las pruebas de hipótesis permiten realizar. Incluso, como se muestra en este trabajo, los elementos mencionados ponen a prueba la afirmación de que hubo o no una mejora en el proceso al final del Ciclo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Barth-Haas Hops Companion. (2009). A Guide to the Varieties of Hops and Hop Products. Washington DC, USA: John I. Haas, Inc.
- DeYoung, R. E. (1999). Operaciones de envasado - Embotellamiento. En M. B. Americas., *El cervecero en la Práctica. Un Manual para la Industria Cervecera.* (págs. 315-329). Minnesota, USA: MBAA.
- Gilliland, R. B. (1970). *Yeast Classification.* Institute of Brewing. Dublin: Arthur Guinness Son & Co., St. James's Gate.
- Goetsch, D. L., & Davis, S. B. (1997). *Introduction to Total Quality. Quality Management for Production, Processing, and Services.* (2nd Edition ed.). New Jersey, USA: Prentice Hall Inc.
- Hardwick. (1995). 1. Commercial and Economic Aspects. En W. A. Hardwick, *Handbook of Brewing* (págs. 13,14). New York: Marcel Dekker, Inc.
- Hardwick. (1995). 2. History and Antecedents of Brewing. En W. A. Hardwick, *Handbook of Brewing* (pág. 39). New York: Marcel Dekker, Inc.
- Hardwick. (1995). 4. An Overview of the Beer Making. En W. A. Hardwick, *Handbook of Brewing* (págs. 87-95). New York, USA: Marcel Dekker, Inc.
- Hardwick, W. A., van Oevelen, D. E., Novellie, L., & Yoshizawa, K. (1995). 3. Kinds of Beer and Beerlike Beverages. En W. A. Hardwick, *Handbook of Brewing* (págs. 53-54). New York, USA: Marcel Dekker, Inc.
- Hieronymus, S. (2012). *For the Love of hops. The Practical Guide to Aroma, Bitterness and Culture of Hops.* Colorado, USA: Brewers Publications.
- Hines, W., & Montgomery, D. C. (1993). *Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Administración* (2da Edición ed.). (S. d. Compañía Editorial Continental, Ed.) México: John Wiley & Sons, Inc.

- Knudsen. (1977). *Fermentation Principles and Practice*. (H. Broderick, Ed.) Madison, Wisconsin: Master Brewers Association of the Americas.
- Knudsen. (2002). Fermentación- Principios y Práctica. En E. H. Vogel, & R. Klimovitz (Ed.), *El Cerveceros en la Práctica* (pág. 203). New York: Master Brewers Association.
- Kramer, P. (2006). Barley, Malt, and Malting. En K. Ockert, *Raw Materials and Brewhouse Operations* (pág. 16). Oregon, USA: Master Brewers Association of the Americas .
- Kunze, W. (2004). Cerveza- La bebida popular más antigua. En W. Kunze , *Tecnología para Cerveceros y Malteros* (Tercera ed., pág. 21). VLB Berlin.
- Kunze, W. (2004). La Cerveza Terminada. En W. Kunze, *Tecnología para Cerveceros y Malteros* (Tercera ed., págs. 839-852). VLB Berlin.
- Kunze, W. (2004). Materias Primas. En W. Kunze, *Tecnología para Cerveceros y Malteros* (Tercera ed., págs. 35-103). VLB Berlin.
- Meilgaard, M. (2002). Composición del Mosto. En E. H. Vogel, & R. Klimovitz (Ed.), *El Cerveceros En La Práctica* (Tercera ed., págs. 130-131). New York: Master Brewers Association of the Americas.
- Montgomery, D. C. (2013). *Introduction to statistical quality control* (7th Edition ed.). New York, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- O'Rourke, T. (2003). Hops and hop products. Technical Summary. *The Brewer International*, 3(1), 21.
- Piesley, J. G., & Lom, T. (2002). Capítulo 11. Levaruda - Razas y Técnicas de Manipulación. En E. H. Vogel, *El Cerveceros en la Práctica* (págs. 244,245). New York: Master Brewers Association of the Americas.
- Power, J. (1987). *Chemistry of Malting*. Chicago, USA: United States Brewers' Academy.

Priest, F. G., & Stewart, G. G. (2006). *Handbook of Brewing*. Boca Raton, FL: CRC Press. Taylor & Francis Group, LLC.

Rehberger, A., & Luther, G. (1995). 12. Brewing. En W. Hardwick, *Handbook of Brewing* (págs. 273,294,295,304,312-315). New York, USA: Marcel Dekker, Inc.

Ryder, D. (1987). Fermentation. En U.S. Brewers' Academy, *Course of Brewing* (págs. 1-10). Chicago, USA: Siebel Institute of Technology.

Sidor, L. (2006). Hops and Preparation of Hops. En K. Ockert, *Raw Materials and Brewhouse Operations* (págs. 73-75). Portland, Oregon: Master Brewers Association of the Americas.

U.S. Brewers' Academy. (1987). The Brewing Process. En U. B. Academy, *Course of Brewing* (págs. 1-23). Chicago, Illinois, USA: Siebel Institute of Technology.

# APÉNDICE

## Apéndice A. El lúpulo, componentes, cuidados y productos derivados

En este anexo se describirán de manera más amplia las características del lúpulo a partir de sus componentes, se explicarán algunas medidas a cumplir para su cuidado óptimo, y se explicarán las ventajas de los productos derivados del lúpulo que se encuentran actualmente en el mercado.

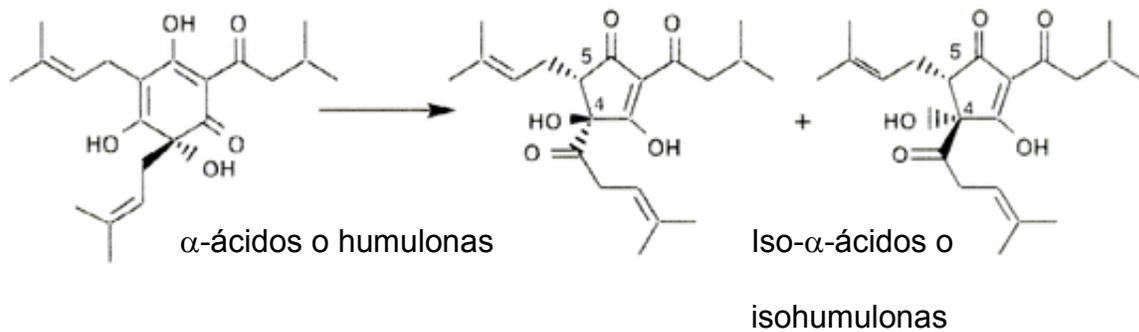
### Componentes principales

#### Ácidos alfa

Los ácidos alfa son los componentes más importantes de las resinas del lúpulo, éstos se convierten en iso-alfa-ácidos durante la ebullición del mosto, y son los que le dan el sabor amargo a la cerveza.

En este grupo se consideran las humulonas, cohumulonas y adhumulonas, además de pre-humulonas y post-humulonas en menor proporción, que se isomerizan por el calor del mosto en ebullición, obteniendo como resultado la formación de iso alfa ácidos, como se muestra en la siguiente reacción:

**Figura A1. Isomerización de los ácidos alfa**



Los ácidos alfa son solubles en agua hirviendo; sin embargo, los iso-alfa-ácidos son aún más solubles en la olla y son 4 veces más amargos que los ácidos alfa. Además de proporcionar amargor, estabilizan la espuma e inhiben el crecimiento de bacterias.

Los niveles de cohumulonas y humulonas pueden variar entre un 20% y un 50% cada una dependiendo de la variedad de lúpulo utilizada.

En cuanto a los isómeros, se sabe que en una cerveza elaborada de forma tradicional con los conos de lúpulo, tendrá un 68% de isómeros *cis*, y un 32% de isómeros *trans*. La forma *cis* proporciona mayor amargor y estabilidad, mientras que la forma *trans* se deteriora más rápidamente.

### Ácidos beta

Los ácidos beta incluyen a las lupulonas, colupulonas, y adlupulonas. Son el segundo componente principal de las resinas, sin embargo, no contribuyen al amargor de la cerveza en su forma original puesto que no son solubles, y durante la ebullición no se isomerizan en compuestos que sí lo sean.

A pesar de lo anterior, algunos de sus productos de oxidación, como el ácido hulupínico, pueden ser muy amargos, solubles en agua, y estar presentes en el producto final.

## Aceites

Los aceites esenciales, que se encuentran en menor proporción, son una mezcla compleja de compuestos volátiles que contribuyen al sabor y al aroma; gran parte de ellos se pierde en la ebullición del mosto.

La composición de estos aceites esenciales es específica para cada variedad. Cada una contiene compuestos terpénicos de un 60% a un 80%, como mircenos, humulenos, cariofilenos y farnesenos.

(Hieronymus, 2012)

(Sidor, 2006)

(Kunze, Materias Primas, 2004)

(Barth-Haas Hops Companion, 2009)

## Variedades de lúpulo

Las variedades de lúpulo se suelen clasificar en 3 grupos principales: las que tienen un contenido muy alto de ácidos alfa, las que poseen mayores propiedades aromáticas y las que se cultivan para proporcionar un buen nivel de ambas propiedades.

Algunos ejemplos de las variedades con alto contenido de ácidos alfa son *Nugget*, *Target*, *Hallertauer Magnum*, *Hallertauer Taurus* y *Zeus*. Éstas poseen un perfil aromático aceptable, y el contenido de ácidos alfa varía entre un 9% y 16%.

Entre las variedades que se consideran de excelente aroma se encuentran *Cascade*, *Willamette*, *Tettnanger*, *Hersbrucker*, *Golding*, *Fuggle*; su contenido de ácidos alfa oscila entre 3% y 7%.

Las variedades diseñadas para proporcionar un muy buen aroma y un contenido de ácidos alfa elevado son *Cluster*, *Perle*, *Brewer's Gold*, *Challenger* y *Northdown*, cuyo contenido de ácidos alfa va del 6% al 10%.

(Priest & Stewart, 2006)

### Cuidados y almacenamiento

En el lúpulo en forma de conos, los ácidos alfa, y en general las resinas blandas, se degradan rápidamente debido a la permeabilidad de las glándulas que las contienen. Esto las expone a la interacción con oxígeno, al aumento de la temperatura, y a la humedad en el aire.

A una temperatura de almacenamiento de 18°C, los ácidos alfa pueden degradarse hasta en un 25% en dos meses; si se permite el envejecimiento, las resinas suaves se convierten en resinas duras que pierden su sabor amargo y su capacidad antiséptica. El perfil de sabor también puede cambiar, y las propiedades estabilizantes de la espuma pueden disminuir.

En general, el periodo de envejecimiento es diferente para cada variedad de lúpulo. Los tipos de lúpulo que poseen mayor cantidad de ácidos alfa tienen a perder rápidamente su valor cervecero, estando aún en congelación; a comparación, las variedades que aportan aroma y amargor se conservan mejor. Para el caso de las aromáticas, el periodo de envejecimiento varía en cada una.

De esto resulta la necesidad de almacenar el lúpulo en un lugar frío, seco y hermético al aire, hasta ser procesado.

(Kunze, Materias Primas, 2004)

Suele recomendarse un almacenamiento con temperaturas de  $-3^{\circ}\text{C}$  a  $3^{\circ}\text{C}$ , a una humedad relativa de 65%-75%.

(Sidor, 2006)

### Productos derivados del lúpulo

Aunque todas las variedades de lúpulo pueden brindar amargor y aroma a la cerveza, éstas se clasifican de acuerdo a estos dos criterios.

Los tipos de lúpulo que brindan amargor poseen un nivel mucho mayor de ácidos alfa y generalmente se añaden al principio de la ebullición del mosto para obtener el mayor provecho de sus componentes.

Por otro lado, los que se consideran como aromáticos, poseen un nivel de ácidos alfa muy bajo, pero tienen un buen perfil que los hace útiles en las etapas terminales del proceso de elaboración.

El lúpulo puede ser utilizado de diferentes formas, la más simple consiste en añadir los conos a la olla junto con el mosto en ebullición. Sin embargo, ahora existen más de 25 productos de lúpulo que se producen a partir de los conos, y tienen numerosas aplicaciones a lo largo del proceso.

De acuerdo a la parte del proceso en la que se utilicen, se dividen principalmente en dos grupos, los productos que son utilizados en las ollas, y los que se utilizan en etapas posteriores a la fermentación.

#### *Productos utilizados en ollas*

**Conos:** son la forma más simple en que puede agregarse el lúpulo, se cosechan como conos frescos en los cultivos, se secan y se empacan. Son perecederos y ocupan mayor volumen, por tanto su transporte y almacenaje es más costoso; tampoco son homogéneos, lo que hace más complicadas las muestras y el control del nivel de amargor. La utilización de los ácidos alfa es menor en comparación a otros productos, y requieren de equipo especial para su adición.

**Pellets:** Son más homogéneos y estables que los conos de lúpulo. Requieren ser pesados y añadidos a la olla a un tiempo específico. Se desintegran en el mosto en ebullición, liberando los ácidos del lúpulo.

Pueden ser de dos tipos: los “T90” o “*pellets regulares*”, que contienen un 90% de los componentes de los conos que no son resinas, y los “T45” o “*pellets concentrados*”, que contienen sólo 45% de los componentes del cono que no son resinas.

Ambos tipos de pellets proveen mayor homogeneidad, mejor estabilidad, menores costos en transporte y almacenamiento. La cerveza elaborada con ellos es prácticamente indistinguible de la que se elabora con conos.

**Extractos:** Se producen a partir de la extracción de las oleo-resinas encontradas en las glándulas de lúpulo. En el extracto se retienen el aroma y las propiedades de amargor. Poseen una excelente estabilidad, y se consideran una buena alternativa ante el uso de los conos y pellets.

El solvente más utilizado para la extracción es el CO<sub>2</sub>, principalmente como un fluido supercrítico, (arriba de los 31°C y los 73 bar), y también en estado líquido.<sup>8</sup>

En ambos estados se extraen las resinas de interés para el proceso, únicamente en la extracción con CO<sub>2</sub> líquido no se extraen la clorofila y otros pigmentos.

Poseen bastantes ventajas: son más estables y pueden almacenarse a temperatura ambiente por varios años sin pérdidas significativas de sus propiedades; su utilización en la olla es mucho mejor que los productos tradicionales; su nivel de ácidos alfa es extremadamente uniforme, y los costos de almacenaje y transporte se reducen significativamente.

---

<sup>8</sup> <http://termo.esiqie.ipn.mx/english/labtermo/definicion.htm>

### *Productos post-fermentación*

Dentro de los productos post fermentación, se pueden encontrar productos que mejoren o estabilicen el aroma en la cerveza, y también productos que aporten ácidos alfa después de la fermentación.

Algunos de los productos que pueden ayudar a conservar o a obtener el aroma deseado en el producto son conos de lúpulo completos y comprimidos en pellets, aceites de lúpulo preparados a partir del extracto con CO<sub>2</sub>, aceites de lúpulo en forma pura extraídos por métodos de destilación más complejos, emulsiones preparadas a partir de estos aceites, y aromas que pueden ser completamente solubles en agua, estables ante los efectos de la luz, y que pueden añadirse, como el resto de los productos, en diferentes etapas después de la fermentación.

Los que no son solubles en agua pueden disolverse en CO<sub>2</sub> líquido o en soluciones de alcohol etílico y agregarse en la corriente de cerveza.

Por otro lado, los productos que pueden añadir amargor consisten en extractos de lúpulo con CO<sub>2</sub> que se isomerizan y se reducen utilizando diferentes compuestos, sirven para ajustar los niveles de amargor en la cerveza cuando los niveles requeridos no se obtuvieron, también promueven y estabilizan la espuma, y brindan protección contra la distorsión del sabor debida a la exposición a la luz. Adicional a esto, actúan como antisépticos y dan un sabor amargo suave y placentero.

(Barth-Haas Hops Companion, 2009)

## Apéndice B. Características de las levaduras de fermentación ale y lager

A continuación, se describirán las diferencias principales, de carácter morfológico, fisiológico y tecnológico, entre las especies de levadura utilizadas en la fermentación ale, *Sacharomyces cerevisiae*, y en la fermentación lager, *Sacharomyces pastorianus*.

### Características morfológicas

Ambas especies tienen igual forma celular, sin embargo, su comportamiento de gemación es diferente; las levaduras de fermentación lager se encuentran casi exclusivamente como células individuales, así como en pares de células, mientras que las levaduras de fermentación ale forman cadenas celulares ramificadas.

(Kunze, Materias Primas, 2004)

### Características fisiológicas

- *Floculación*: las especies de levaduras de fermentación alta floculan al final de la fermentación en aglomerados flojos alrededor de las burbujas de CO<sub>2</sub>, subiendo a la superficie del tanque. Se observa un comportamiento diferente en las de fermentación baja, que floculan en aglomerados compactos no asociados a las burbujas, acumulándose en el fondo del fermentador cuando la fermentación pierde velocidad, desciende la temperatura y la evolución de CO<sub>2</sub> ya no provee suficiente agitación para mantenerla a flote.

(Gilliland, 1970)

- *Fermentación de rafinosa y melibiosa*: el trisacárido rafinosa puede ser aprovechado de forma total por la levadura de fermentación lager, debido a su espectro enzimático. Así también el disacárido melibiosa se aprovecha en su totalidad.

(Meilgaard, 2002)

Por otro lado, la levadura fermentación ale no posee la enzima melibiasa, por lo tanto no tiene la capacidad de fermentar el disacárido correspondiente; en cuanto al rafinosa, sólo puede fermentar un tercio de éste.

- *Metabolismo:* en las levaduras de fermentación lager el metabolismo por fermentación es preponderante, las levaduras de fermentación ale se caracterizan por un metabolismo por respiración.

(Kunze, Materias Primas, 2004)

- *Formación de esporas:* la mayoría de las levaduras de fermentación ale esporulan después de 48 horas en un medio húmedo, con aire y sin nutrientes, excepto sales minerales; a diferencia de las levaduras de fermentación lager, que esporulan en cantidad escasa.

- *Productos secundarios de fermentación:* las levaduras de fermentación ale desarrollan una cantidad considerablemente mayor de productos secundarios de fermentación, como alcoholes superiores (alifáticos) y ésteres. La fracción de estos productos secundarios de fermentación puede llegar a ser hasta un 50% más que en la fermentación lager.

- *Tratamiento de la levadura*

La propagación de las levaduras de fermentación ale ocurre como en la de los cultivos puros de levaduras de fermentación lager; sin embargo, el número de ciclos de uso es mucho mayor, siendo común entre los 5 a 15 ciclos para las levaduras de fermentación ale.

(Kunze, La Cerveza Terminada, 2004)

(Piesley & Lom, 2002)

## Características tecnológicas durante la fermentación

La recolección de la levadura al final de la fermentación principal es diferente; para la de tipo alta, la cosecha se hace por desnatado, mientras la levadura aún se encuentra en la superficie. Para entonces, la fermentación principal se llevó a cabo mientras las levaduras ascendían. En cambio, la levadura de fermentación baja se deposita en el fondo hacia el final de la fermentación.

Otra diferencia importante es la temperatura de fermentación. Con levaduras de fermentación lager se trabaja entre 7 y 15 °C, donde, al final de la fermentación, la levadura flocula y se deposita en el fondo del fermentador.

Con cepas de levaduras de fermentación ale se trabaja entre los 18 y los 22°C. La floculación es menor, y los grumos sueltos de levadura adsorbidos por las burbujas de dióxido de carbono son llevados a la superficie del mosto en fermentación.

(Kunze, La Cerveza Terminada, 2004).

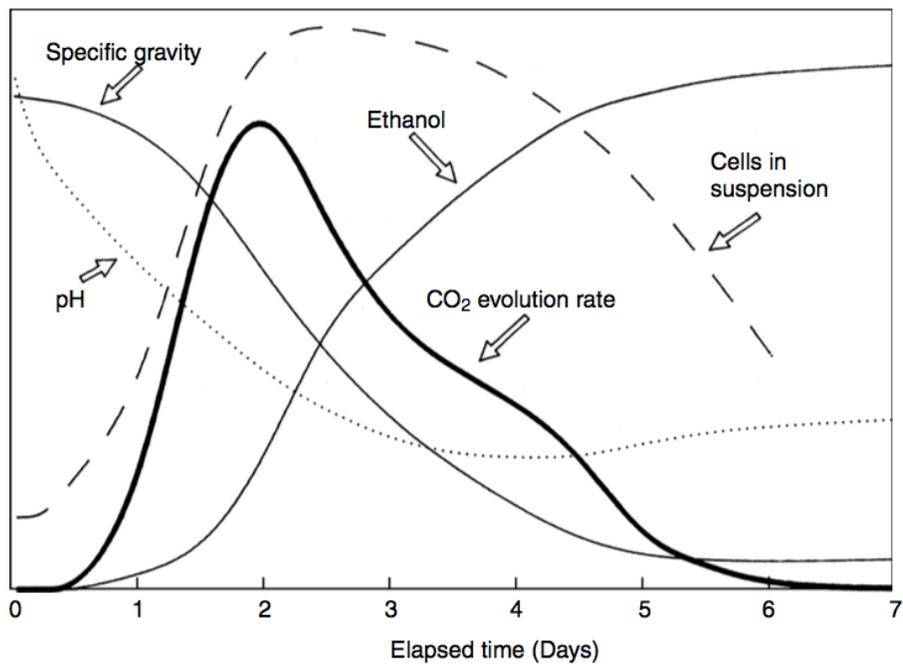
(Kunze, Materias Primas, 2004)

(Priest & Stewart, 2006)

## Apéndice C. Representación gráfica de la fermentación

En el siguiente gráfico se puede apreciar una representación gráfica de los cambios que tienen lugar en los compuestos principales durante la fermentación.

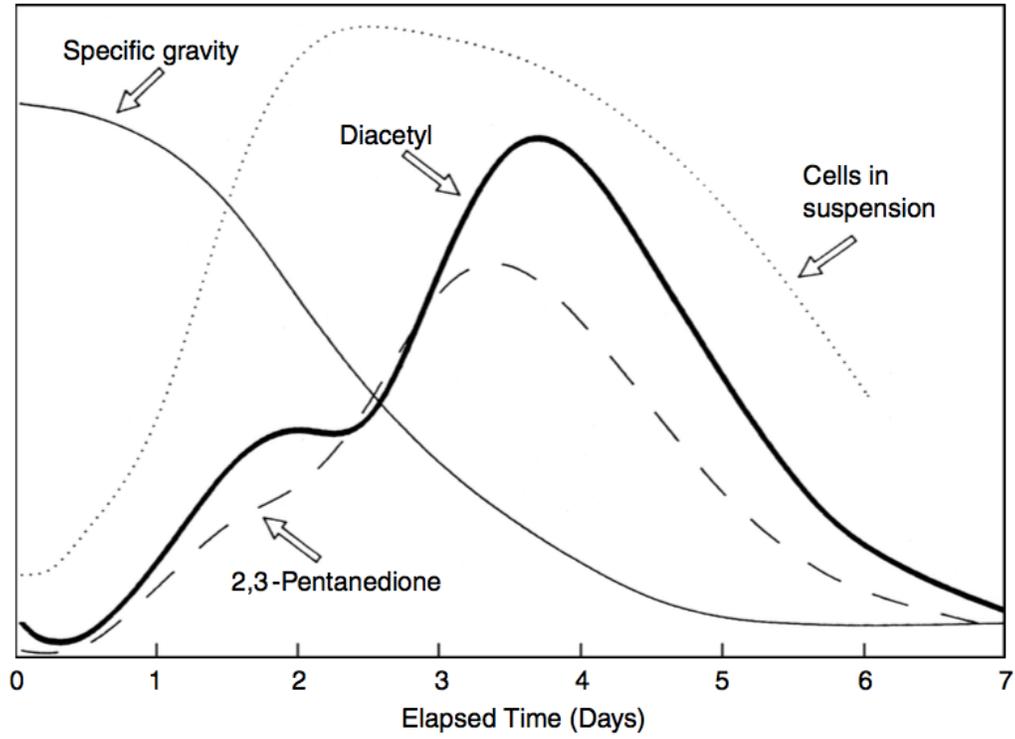
**Gráfico C1. Cambios de los compuestos principales durante la fermentación**



(Priest & Stewart, 2006)

En el gráfico "C2" puede observarse el comportamiento de los VDK durante la fermentación. La gráfica muestra la relación similar que existe entre la concentración del diacetil y de la 2,3-pentanodiona conforme va creciendo la levadura y la gravedad específica disminuye.

**Gráfico C2. Cambios de los VDK durante la fermentación**



(Priest & Stewart, 2006)

## GLOSARIO DE ABREVIATURAS

6M	Método, Medición, Medio Ambiente, Maquinaria, Mano de Obra, Materiales
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
EMO	Extracto de Mosto Original
i.e.	id est – esto es
IBU	International Bitterness Units - Unidades Internacionales de Amargor
LIC	Límite Inferior de Control
LIC <sub>MR</sub>	Límite Inferior de Control del Rango Móvil
LIC <sub>p</sub>	Límite Inferior de Control de $p$
LSC	Límite Superior de Control
LSC <sub>MR</sub>	Límite Superior de Control del Rango Móvil
LSC <sub>p</sub>	Límite Superior de Control de $p$
MR	Moving Range - Rango Móvil
NTU	Nephelometric Turbidity Unit - Unidades Nefelométricas de Turbiedad
OD	Oxígeno Disuelto
$p$	Fracción de muestras calificadas como no aceptables
PDCA	Plan,Do,Check,Act
pH	potencial hidrógeno
RDF	Real Degree of Fermentation - Grado real de fermentación
SOP	Standard Operating Procedure - Procedimiento Estándar de Operación
SRM	Standard Reference Measurement - Medición de Referencia Estándar
VDK	Vicinal Diketones - Diketonas vecinales