

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES  
FACULTAD DE INGENIERIA  
INGENIERIA QUIMICA,  
INGENIERIA AMBIENTAL E INGENIERIA DE ALIMENTOS



TRABAJO DIRIGIDO

ROLANDO MIGUEL CONTRERAS USEGLIO  
PARA OPTAR AL TITULO DE:  
INGENIERO DE ALIMENTOS

“ESTUDIO BASICO PARA LA ELIMINACIÓN DE MKS Y ALGINATO EN LA  
CERVEZA”

TUTOR: ING. JORGE VASQUEZ PEÑARANDA

LA PAZ – BOLIVIA  
2019



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE INGENIERIA**



**LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.**

**LICENCIA DE USO**

El usuario está autorizado a:

- a) Visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) Copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) Copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la cita o referencia correspondiente en apego a las normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

**TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADAS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.**

## **DEDICATORIA**

A Dios.

A mi familia, especialmente a mis padres, Miroslava Useglio y Gonzalo Contreras, a mis amigos y docentes, quienes me apoyaron y alentaron todo el tiempo, depositando sus esperanzas en mí.

A todos los que me apoyaron para escribir y concluir este trabajo.

Para ellos es esta dedicatoria, pues es a ellos a quienes se las debo por su apoyo incondicional.

## RESUMEN

El presente trabajo dirigido es un estudio básico para la eliminación de MKS y Alginato en la cerveza, aplicado a Planta La Paz de la Cervecería Boliviana Nacional S.A.

Para llevar a cabo el objetivo mencionado, se ha recolectado muestras de malta y maíz, proveniente de Uruguay y Santa Cruz respectivamente. Caracterizando la Malta se determinaron parámetros tales como el porcentaje promedio de impurezas (1.71%), la humedad promedio (4.90%) y el contenido de proteínas (10.5%). Caracterizando el Maíz se determinaron parámetros tales como el porcentaje promedio de impurezas (1.15%), la humedad promedio (12.85%) y el contenido de ácidos grasos (0.49%).

Se realizaron pruebas preliminares en Cocimiento para determinar los factores más relevantes en el proceso de hervido, llegándose a considerar el tiempo, la temperatura y el pH. Mediante el Diseño Experimental se determinaron que las mejores condiciones son para un tiempo de 20 minutos, temperatura de 89°C y pH de 5.1, obteniendo un mosto con nitrógeno coagulable de 25 mg/l.

Se realizaron pruebas preliminares en fermentación para determinar los factores más relevantes en el proceso, llegándose a considerar la estrategia de dosificación de levadura, la aireación de mosto, la carga específica y la generación de levadura. Mediante el Diseño Experimental se determinaron que las mejores condiciones son para la dosificación de levadura en los cocimientos 1-3-4, aireación de 9 ppm, carga específica de levadura de 0.92 l/hl y cuarta generación de levadura, obteniendo una generación de dióxido de azufre de 13.7 ppm, permitiendo así la eliminación del MKS.

Se realizaron pruebas preliminares en filtración para determinar los factores más relevantes en el proceso, llegándose a considerar la dosificación de Alginato, PVPP y Tetrahop. Mediante el Diseño Experimental se determinó que para eliminar la dosificación de Alginato, se debe dosificar 3 g/hl de Tetrahop y 40 g/hl de PVPP, obteniendo una cerveza filtrada con Estabilidad de Espuma de 281 s, Amargo de 17 IBUs y Estabilidad Coloidal de 0.25 EBC.

Finalmente, se cambiaron los procedimientos de filtración de cerveza llegando a reducir hasta 30% el oxígeno en Cerveza Filtrada y en envasado se realizaron modificaciones a la bomba HD reduciendo hasta 17% el oxígeno en Producto Terminado.

## **ABSTRACT**

The present work is a basic study for the elimination of MKS and Alginate in beer, applied to the Brewery of La Paz of the “Cervecería Boliviana Nacional S.A.”

To carry out the aforementioned objective, samples of malt and corn, from Uruguay and Santa Cruz respectively, have been collected. Characterizing the Malta parameters were determined such as the average percentage of impurities (1.71%), the average humidity (4.90%) and the protein content (10.5%). Characterizing the Corn parameters were determined such as the average percentage of impurities (1.15%), the average humidity (12.85%) and the content of fatty acids (0.49%).

Preliminary cooking tests were carried out to determine the most relevant factors in the boiling process, coming to consider the time, temperature and pH. Through the Experimental Design it was determined that the best conditions are for a time of 20 minutes, temperature of 89 ° C and pH of 5.1, obtaining a must with coagulable nitrogen of 25 mg / l.

Preliminary tests were carried out in fermentation to determine the most relevant factors in the process, coming to consider the brews for yeast dosage, the aeration of wort, the specific load and the generation of yeast. Through the Experimental Design it was determined that the best conditions are for the yeast dosage in cookings 1-3-4, aeration of 9 ppm, yeast specific load of 0.92 l / hl and fourth generation of yeast, obtaining a generation of dioxide of sulfur of 13.7 ppm, thus allowing the elimination of the MKS.

Preliminary filtration tests were carried out to determine the most relevant factors in the process, coming to consider the dosage of Alginate, PVPP and Tetrahop. Through the Experimental Design it was determined that to eliminate Alginate dosage, 3 g / hl of Tetrahop and 40 g / hl of PVPP must be dosed, obtaining a filtered beer with Foam Stability of 281 s, Bitter of 17 IBUs and Colloidal Stability of 0.25 EBC.

Finally, beer filtration procedures were changed, reducing the oxygen in Filtered Beer by up to 30% and, in packaging, modifications were made to the HD pump, reducing oxygen in finished product by up to 17%.

# INDICE DE CONTENIDO

Contenido.....	Pág.
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>16</b>
1.1. ANTECEDENTES Y DIAGNÓSTICO.....	16
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	20
1.2.1. <i>Oxígeno</i> .....	20
1.2.2. <i>Luz</i> .....	20
1.2.3. <i>Movimiento</i> .....	21
1.2.4. <i>Temperatura</i> .....	21
1.3. PRODUCCIÓN DE CERVEZA EN BOLIVIA .....	21
1.4. OBJETIVOS .....	22
1.4.1. <i>Objetivo General</i> .....	22
1.4.2. <i>Objetivos Específicos</i> .....	22
1.5. JUSTIFICACIÓN.....	23
1.5.1. <i>Académica</i> .....	23
1.5.2. <i>Técnica</i> .....	23
1.5.3. <i>Social</i> .....	23
1.5.4. <i>Ambiental</i> .....	23
<b>2. MARCO TEORICO .....</b>	<b>24</b>
2.1. INTRODUCCIÓN .....	24
2.2. MATERIAS PRIMAS.....	24
2.2.1. <i>Cebada</i> .....	24
2.2.2. <i>Lúpulo</i> .....	29
2.2.3. <i>Agua</i> .....	30
2.2.4. <i>Levadura</i> .....	31
2.2.5. <i>Adjunto</i> .....	32
2.3. PROCESO DE MALTEADO .....	33
2.4. PROCESO DE ELABORACIÓN DE CERVEZA.....	35
2.5. PROCESO DE COCIMIENTO.....	36
2.5.1. <i>Recepción</i> .....	36
2.5.2. <i>Almacenamiento</i> .....	37
2.5.3. <i>Limpieza de Granos</i> .....	37

2.5.4.	<i>Molienda</i>	38
2.5.5.	<i>Maceración</i>	38
2.5.6.	<i>Filtración de Mosto</i>	39
2.5.7.	<i>Ebullición de Mosto</i>	40
2.5.8.	<i>Tratamiento del Mosto - Whirpool</i>	43
2.6.	PROCESO DE FERMENTACIÓN	44
2.6.1.	<i>Fermentación Principal</i>	46
2.6.2.	<i>Fermentación Secundaria</i>	47
2.6.3.	<i>Desarrollo y Crecimiento de la Levadura</i>	47
2.6.4.	<i>Reposo frío o guarda fría</i>	48
2.7.	FILTRACIÓN DE CERVEZA	50
2.7.1.	<i>Turbidez</i>	50
2.7.2.	<i>Características de la Filtración</i>	51
2.7.3.	<i>Aditivos</i>	52
2.8.	DISEÑO EXPERIMENTAL	53
2.8.1.	<i>Principios Básicos</i>	53
2.8.2.	<i>Aplicaciones de los Diseños Factoriales</i>	55
2.8.3.	<i>Pasos para el diseño de un experimento</i>	56
2.8.4.	<i>Diseño factorial General 2<sup>k</sup></i>	56
<b>3.</b>	<b>METODOLOGÍA DEL PROCESO</b>	<b>61</b>
3.1.	DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA DE TRABAJO	61
3.2.	PLAN DE MUESTREO	62
3.3.	CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA	62
3.3.1.	<i>Impurezas</i>	62
3.3.2.	<i>Determinación del contenido de humedad</i>	63
3.3.3.	<i>Determinación de Proteínas</i>	63
3.3.4.	<i>Determinación de Materia Grasa</i>	63
3.4.	PROCESO DE COCIMIENTO	63
3.4.1.	<i>Determinación de Color</i>	63
3.4.2.	<i>Determinación de pH</i>	63
3.4.3.	<i>Determinación de Amargor</i>	63
3.4.4.	<i>Determinación de Extracto</i>	63
3.4.5.	<i>Determinación de Aminoácidos Libre</i>	64

3.4.6.	<i>Determinación de Nitrógenos Solubles Totales y Coagulables</i>	64
3.5.	PROCESO DE FERMENTACIÓN	64
3.5.1.	<i>Determinación de Amargor</i>	64
3.5.2.	<i>Determinación de Dióxido de Azufre</i>	64
3.5.3.	<i>Determinación de Aminoácidos Libre</i>	64
3.6.	PROCESO DE FILTRACIÓN	64
3.6.1	<i>Determinación de Amargor</i>	64
3.6.2.	<i>Determinación de Oxígeno</i>	64
3.6.3.	<i>Determinación de Espuma</i>	65
3.7.	CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO	65
3.6.4.	<i>Determinación de Turbidez</i>	65
3.6.5.	<i>Determinación de Estabilidad Coloidal</i>	65
3.6.6.	<i>Determinación de Amargor</i>	65
3.5.4.	<i>Determinación de Dióxido de Azufre</i>	65
3.6.7.	<i>Determinación de Espuma</i>	65
3.6.8.	<i>Determinación de Nitrógenos Solubles y Coagulables</i>	65
3.6.9.	<i>Determinación de Oxígeno</i>	66
<b>4.</b>	<b>CÁLCULOS Y RESULTADOS</b>	<b>67</b>
4.1.	CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA	67
4.1.1.	<i>Malta</i>	67
4.1.2.	<i>Maíz</i>	68
4.2.	PRUEBAS PRELIMINARES EN COCIMIENTO	69
4.2.1.	<i>Variación del Tiempo</i>	70
4.2.2.	<i>Variación de la Temperatura</i>	70
4.2.3.	<i>Variación del pH</i>	71
4.2.6.	<i>Variables del proceso de Hervido de Mosto</i>	72
4.2.7.	<i>Diseño Experimental</i>	72
4.3.	PROCESO DE HERVIDO	73
4.3.1.	<i>Condiciones de Operación del Proceso</i>	76
4.4.	CARACTERIZACIÓN DEL MOSTO	77
4.4.1.	<i>Propiedades Físicoquímicas</i>	77
4.5.	PRUEBAS PRELIMINARES EN FERMENTACIÓN	78
4.5.1.	<i>Variación de los Cocimientos con Dosificación de Levadura</i>	78

4.5.2.	<i>Variación de la Aireación de Mosto</i> .....	79
4.5.3.	<i>Variación de la Carga Específica</i> .....	80
4.5.4.	<i>Variación de la Generación de Levadura</i> .....	81
4.5.6.	<i>Variables del proceso de Fermentación</i> .....	82
4.5.7.	<i>Diseño Experimental</i> .....	82
4.6.	PROCESO DE FERMENTACIÓN.....	83
4.6.1.	<i>Condiciones de Operación del Proceso</i> .....	86
4.7.	CARACTERIZACIÓN DE LA CERVEZA VERDE.....	90
4.7.1.	<i>Propiedades Fisicoquímicas</i> .....	90
4.8.	PRUEBAS PRELIMINARES EN FILTRACIÓN.....	91
4.8.1.	<i>Variación de la Dosificación de Alginato</i> .....	91
4.8.2.	<i>Variación de la Dosificación de PVPP</i> .....	92
4.8.3.	<i>Variación de la Dosificación de TETrahop</i> .....	93
4.8.6.	<i>Variables del proceso de Filtración</i> .....	94
4.8.7.	<i>Diseño Experimental</i> .....	94
4.9.	PROCESO DE FILTRACIÓN.....	95
4.9.1.	<i>Estabilidad de Espuma</i> .....	96
4.9.2.	<i>Amargo</i> .....	98
4.9.3.	<i>Estabilidad Coloidal</i> .....	99
4.9.4.	<i>Condiciones de Operación del Proceso</i> .....	101
4.10.	CARACTERIZACIÓN DE LA CERVEZA FILTRADA.....	102
4.10.1.	<i>Propiedades Fisicoquímicas</i> .....	102
4.10.	REDUCCIÓN DEL OXÍGENO.....	103
4.11.1.	<i>Proceso de Filtración</i> .....	103
4.11.2.	<i>Preparación de Agua Estándar</i> .....	104
4.11.3.	<i>Preparación del Filtro de Tierra</i> .....	105
4.11.4.	<i>Reducción del Oxígeno en Filtración</i> .....	106
4.11.5.	<i>Proceso de Envasado</i> .....	107
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>109</b>
5.1.	CONCLUSIONES.....	109
5.1.1.	<i>De la Caracterización de la Materia Prima</i> .....	109
5.1.2.	<i>De las Pruebas Preliminares en Cocimiento</i> .....	110
5.1.3.	<i>Del Diseño Experimental en Cocimiento</i> .....	110

5.1.4.	<i>De la Caracterización del Mosto</i> .....	110
5.1.5.	<i>De las Pruebas Preliminares en Fermentación</i> .....	111
5.1.6.	<i>Del Diseño Experimental en Fermentación</i> .....	111
5.1.7.	<i>De la Caracterización de la Cerveza Verde</i> .....	111
5.1.8.	<i>De las Pruebas Preliminares en Filtración</i> .....	112
5.1.9.	<i>Del Diseño Experimental en Filtración</i> .....	112
5.1.10.	<i>De la Caracterización de la Cerveza Filtrada</i> .....	113
5.1.11.	<i>De la Reducción del Oxígeno</i> .....	113
6.2.	RECOMENDACIONES .....	113
<b>6.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>115</b>
<b>7.</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>117</b>
	ANEXO A: PROCEDIMIENTOS Y MÉTODOS .....	117
	<i>Anexo A.1. Determinación de Impurezas de Malta y Maíz</i> .....	117
	<i>Anexo A.2. Determinación de Humedad de Malta y Maíz</i> .....	117
	<i>Anexo A.3. Determinación de Proteínas en malta</i> .....	118
	<i>Anexo A.4. Determinación de Materia Grasa</i> .....	119
	<i>Anexo A.5. Determinación de Color de mosto y Cerveza</i> .....	120
	<i>Anexo A.6. Determinación de pH en mosto y Cerveza</i> .....	121
	<i>Anexo A.7. Determinación de amargor en mosto y Cerveza</i> .....	122
	<i>Anexo A.8. Determinación de Alcohol y Extracto</i> .....	123
	<i>Anexo A.9. Determinación de FAN</i> .....	125
	<i>Anexo A.10. Determinación de Dióxido de Azufre</i> .....	127
	<i>Anexo A.11. Determinación de Espuma</i> .....	131
	<i>Anexo A.12. Determinación de Nitrógeno Soluble Total</i> .....	134
	<i>Anexo A.13. Determinación de Nitrógeno Coagulable</i> .....	135
	<i>Anexo A.14. Determinación de Turbidez</i> .....	136
	<i>Anexo A.15. Determinación de Estabilidad Coloidal</i> .....	138
	<i>Anexo A.16. Determinación de Oxígeno</i> .....	141
	ANEXO B: DATOS EXPERIMENTALES .....	142
	<i>Anexo B.1. Protocolo de Malta</i> .....	142
	<i>Anexo B.2. Protocolo de Maíz</i> .....	143
	ANEXO C: DISEÑO EXPERIMENTAL.....	143
	<i>Anexo C.1. Pruebas en Cocimiento</i> .....	143

<i>Anexo C.2. Pruebas en Fermentación.....</i>	<i>144</i>
<i>Anexo C.3. Pruebas en Filtración.....</i>	<i>144</i>
ANEXO D: MEJORES CONDICIONES DE PROCESO .....	145
<i>Anexo D.1. Proceso de Hervido.....</i>	<i>145</i>
<i>Anexo D.2. Proceso de Fermentación.....</i>	<i>146</i>
<i>Anexo D.3. Proceso de Filtración .....</i>	<i>147</i>
ANEXO E: CURVAS DE FERMENTACIÓN .....	148
ANEXO F: GLOSARIO DE TÉRMINOS TÉCNICOS.....	150

## INDICE DE GRAFICOS

Contenido.....	Pág
GRÁFICO 2:1: GRANO DE CEBADA.....	25
GRÁFICO 2:2: ESTRUCTURA DE LA CEBADA.....	26
GRÁFICO 2:3: COMPOSICIÓN DE LA CEBADA.....	27
GRÁFICO 2:4: AMILOSA Y AMILOPECTINA.....	27
GRÁFICO 2:5: FLOR DE LÚPULO.....	29
GRÁFICO 2:6: COMPOSICIÓN DEL LÚPULO.....	30
GRÁFICO 2:7: ESTRUCTURA DE LA CÉLULA DE LEVADURA.....	32
GRÁFICO 2:8: PROCESO DE MALTEADO.....	34
GRÁFICO 2:9: PROCESO DE COCIMIENTO.....	36
GRÁFICO 2:10: EQUIPOS DE MACERACIÓN.....	39
GRÁFICO 2:11: DIAGRAMA DEL HERVIDOR.....	42
GRÁFICO 2:12: DIAGRAMA DE FERMENTACIÓN.....	46
GRÁFICO 2:13: DIAGRAMA DEL PROCESO DE FILTRACIÓN.....	52
GRÁFICO 3:1: DIAGRAMA DE FLUJO DE LA METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	61
GRÁFICO 3:2: DIAGRAMA DE FLUJO DEL PLAN DE MUESTREO.....	62
GRÁFICO 4:1: NITRÓGENO COAGULABLE VS TIEMPO DE HERVIDO.....	70
GRÁFICO 4:2: NITRÓGENO COAGULABLE VS TEMPERATURA.....	71
GRÁFICO 4:3: NITRÓGENO COAGULABLE VS PH.....	72
GRÁFICO 4:4: DISEÑO EXPERIMENTAL DEL HERVIDO.....	73
GRÁFICO 4:5: DIAGRAMA DE PARETO DEL HERVIDO.....	74
GRÁFICO 4:6: ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA).....	74
GRÁFICO 4:7: SUPERFICIE DE RESPUESTA.....	75
GRÁFICO 4:8: MEJORES CONDICIONES DEL PROCESO DE HERVIDO.....	76
GRÁFICO 4:9: RESULTADOS DEL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD.....	77
GRÁFICO 4:10: DIÓXIDO DE AZUFRE VS COCIMIENTOS CON DOSIFICACIÓN DE LEVADURA.....	79
GRÁFICO 4:11: DIÓXIDO DE AZUFRE VS AIREACIÓN DE MOSTO.....	80
GRÁFICO 4:12: DIÓXIDO DE AZUFRE VS CARGA ESPECÍFICA DE LEVADURA.....	81
GRÁFICO 4:13: DIÓXIDO DE AZUFRE VS GENERACIÓN DE LEVADURA.....	82

GRÁFICO 4:14: DISEÑO EXPERIMENTAL DE LA FERMENTACIÓN .....	84
GRÁFICO 4:15: DIAGRAMA DE PARETO DE LA FERMENTACIÓN.....	85
GRÁFICO 4:16: ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA).....	85
GRÁFICO 4:17: MEJORES CONDICIONES DEL PROCESO DE FERMENTACIÓN.....	87
GRÁFICO 4:18: MEJORES CONDICIONES DEL PROCESO DE FERMENTACIÓN.....	88
GRÁFICO 4:19: MEJORES CONDICIONES DEL PROCESO DE FERMENTACIÓN.....	89
GRÁFICO 4:20: REULTADOS DEL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD .....	90
GRÁFICO 4:21: RESULTADOS DEL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD.....	91
GRÁFICO 4:22: ESTABILIDAD DE ESPUMA VS DOSIFICACIÓN DE ALGINATO.....	92
GRÁFICO 4:23: ESTABILIDAD DE ESPUMA VS DOSIFICACIÓN DE PVPP.....	93
GRÁFICO 4:24: ESTABILIDAD DE ESPUMA VS DOSIFICACIÓN DE TETRAHOP .....	94
GRÁFICO 4:25: DISEÑO EXPERIMENTAL DE LA FILTRACIÓN .....	96
GRÁFICO 4:26: DIAGRAMA DE PARETO PARA LA ESTABILIDAD DE ESPUMA.....	97
GRÁFICO 4:27: ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA).....	97
GRÁFICO 4:28: DIAGRAMA DE PARETO PARA EL AMARGOR.....	98
GRÁFICO 4:29: ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA).....	99
GRÁFICO 4:30: DIAGRAMA DE PARETO PARA LA ESTABLIDAD COLOIDAL.....	100
GRÁFICO 4:31: ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA).....	100
GRÁFICO 4:32: MEJORES CONDICIONES DEL PROCESO DE FILTRACIÓN .....	102
GRÁFICO 4:33: RESULTADOS DEL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD.....	103
GRÁFICO 4:34: RESULTADOS DEL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD.....	104
GRÁFICO 4:35: RESULTADOS DEL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD.....	107
GRÁFICO 4:36: RESULTADOS DEL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD.....	107
GRÁFICO 4:37: RESULTADOS DEL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD.....	108
GRÁFICO 7:1: ANALIZADOR DE CERVEZA (ALCOLYZER) .....	124
GRÁFICO 7:2: CURVA DE CALIBRACIÓN DEL SO2 .....	130
GRÁFICO 7:3: DIAGRAMA DEL SISTEMA DE DETERMINACIÓN DE ESPUMA .....	133
GRÁFICO 7:4: TURBIDÍMETRO VOS ROTA 90 .....	138
GRÁFICO 7:5: OXÍMETRO ORBISPHERE 3100.....	141
GRÁFICO 7:6: CERTIFICADO DE ANÁLISIS DE MALTA .....	142
GRÁFICO 7:7: CERTIFICADO DE ANÁLISIS DEL MAÍZ.....	143
GRÁFICO 7:8: MEJORES CONDICIONES DE HERVIDO.....	145

GRÁFICO 7:9: MEJORES CONDICIONES DE FERMENTACIÓN .....	146
GRÁFICO 7:10: MEJORES CONDICIONES DE FILTRACIÓN.....	147
GRÁFICO 7:11: CURVA DE FERMENTACIÓN .....	148
GRÁFICO 7:12: CURVA DE FERMENTACIÓN .....	149

## INDICE DE TABLAS

<b>Contenido.....</b>	<b>Pág.</b>
TABLA 1:1: COMPOSICIÓN DE LA CERVEZA.....	17
TABLA 2:1: PARÁMETRO DE CONTROL DEL AGUA.....	31
TABLA 2:2: COMPOSICIÓN DE LA MALTA.....	35
TABLA 2:3: ANÁLISIS DE LA VARIANZA PARA EL DISEÑO FACTORIAL DE DOS FACTORES.....	58
TABLA 4:1: DATOS DE IMPUREZAS DE LA MALTA.....	67
TABLA 4:2: DATOS PARA DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DE LA MALTA.....	67
TABLA 4:3: CONTENIDO DE PROTEÍNAS DE LA MALTA.....	68
TABLA 4:4: DATOS DE IMPUREZAS DEL MAÍZ.....	68
TABLA 4:5: DATOS PARA DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DEL MAÍZ.....	69
TABLA 4:6: CONTENIDO DE MATERIA GRASA DEL MAÍZ.....	69
TABLA 4:7: FACTORES DEL DISEÑO EXPERIMENTAL.....	72
TABLA 4:8: NIVELES DE FACTORES DEL DISEÑO EXPERIMENTAL.....	73
TABLA 4:9: AJUSTE DEL MODELO EXPERIMENTAL.....	75
TABLA 4:10: MEJORES CONDICIONES DEL PROCESO DE HERVIDO.....	76
TABLA 4:11: CONDICIONES DEL PROCESO DE HERVIDO.....	77
TABLA 4:12: FACTORES DEL DISEÑO EXPERIMENTAL.....	82
TABLA 4:13: NIVELES DE FACTORES DEL DISEÑO EXPERIMENTAL.....	83
TABLA 4:14: AJUSTE DEL MODELO EXPERIMENTAL.....	86
TABLA 4:15: MEJORES CONDICIONES DEL PROCESO DE FERMENTACIÓN.....	86
TABLA 4:16: MEJORES CONDICIONES DEL PROCESO DE FERMENTACIÓN.....	87
TABLA 4:17: MEJORES CONDICIONES DEL PROCESO DE FERMENTACIÓN.....	88
TABLA 4:18: MEJORES CONDICIONES DE FERMENTACIÓN.....	90
TABLA 4:19: CONDICIONES DEL PROCESO DE FERMENTACIÓN.....	90
TABLA 4:20: FACTORES DEL DISEÑO EXPERIMENTAL.....	94
TABLA 4:21: NIVELES DE FACTORES DEL DISEÑO EXPERIMENTAL.....	95
TABLA 4:22: AJUSTE DEL MODELO EXPERIMENTAL.....	98
TABLA 4:23: AJUSTE DEL MODELO EXPERIMENTAL.....	99
TABLA 4:24: AJUSTE DEL MODELO EXPERIMENTAL.....	101

TABLA 4:25: MEJORES CONDICIONES DEL PROCESO DE FERMENTACIÓN.....	101
TABLA 4:26: CONDICIONES DEL PROCESO DE FERMENTACIÓN.....	102
TABLA 5:1: INFORME DE RESULTADOS DEL LABORATORIO DE MALTERÍA NUEVA PALMIRA .....	109
TABLA 5:2: INFORME DE RESULTADOS DEL LABORATORIO DE SANTA CRUZ .....	109
TABLA 5:3: MEJORES CONDICIONES DE HERVIDO ATMOSFÉRICO .....	110
TABLA 5:4: MEJORES CONDICIONES DE FERMENTACIÓN .....	111
TABLA 5:5: MEJORES CONDICIONES DE FILTRACIÓN.....	112
TABLA 7:1: DISEÑO EXPERIMENTAL EN COCIMIENTO.....	143
TABLA 7:2: DISEÑO EXPERIMENTAL EN FERMENTACIÓN.....	144
TABLA 7:3: DISEÑO EXPERIMENTAL EN FILTRACIÓN .....	144

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. ANTECEDENTES Y DIAGNÓSTICO

Desde la antigüedad el hombre se ha dedicado a elaborar alimentos mediante procesos fermentativos, obteniendo un sinnúmero de productos como: el pan, queso, yogurt, entre otros. Así pues, mediante la fermentación de ciertos cereales se han obtenido una variedad de bebidas fermentadas como el saque en Asia, cervezas en Europa y chicha en América. En la elaboración de este tipo de bebidas se ha utilizado una enorme variedad de materias primas como la cebada, maíz, arroz y una mezcla de las mismas. La mezcla ha dado como resultado un producto de alto contenido proteico y beneficios en ciertos aspectos como nutrientes para generar energía, hacia personas que las consumen de una forma adecuada y sin excesos.

La cerveza es una bebida alcohólica, no destilada, de sabor amargo, que se fabrica con granos de cebada germinados u otros cereales cuyo almidón se fermenta en agua con levadura (básicamente *Saccharomyces cerevisiae* o *Saccharomyces pastorianus*) y se aromatiza a menudo con lúpulo, entre otras plantas. (1)

De ella se conocen múltiples variantes con una amplia gama de matices debidos a las diferentes formas de elaboración y a los ingredientes utilizados. Generalmente presenta un color ambarino con tonos que van del amarillo oro al negro pasando por los marrones rojizos. Se la considera «gaseosa» (contiene CO<sub>2</sub> disuelto en saturación que se manifiesta en forma de burbujas a la presión ambiente) y suele estar coronada de una espuma más o menos persistente. Su aspecto puede ser cristalino o turbio. Su graduación alcohólica puede alcanzar hasta cerca de los 30 % vol., aunque principalmente se encuentra entre los 3 % y los 9 % vol. En Bolivia, la mayoría de las cervezas oscilan entre 3 a 5% de Alcohol. (1)

La composición de las Cervezas tipo Pilsen en su mayoría es la siguiente:

**Tabla 1:1: Composición de la Cerveza**

Parámetro	Unidad	Parámetros	
Mosto original	% p/p	9.72	11.88
Atenuación límite aparente	%	74.25	90.75
Alcohol	% p/p	3.33	4.07
Alcohol	% v/v	4.32	5.28
Extracto real	% p/p	3.24	3.96
Extracto aparente de la atenuación límite (EAAL)	% p/p	1.71	2.09
Extracto aparente ( EA )	% p/p	1.8	2.2
Diferencia de extracto ( EA – EAAL )	% p/p	0.09	0.11
Color	EBC	3.5	6.5
Amargo	BU57	14.0	20.0
pH		3.78	4.62
Diacetilo total (método Parnás)	ppb	≤ 100	
Butanodiona	μg/l	≤ 50	
Pentanodiona	μg/l	≤ 50	
Turbidez a 0 °C	EBC	≤ 2	
Carbonatación botellas	g/l	4.95	6,05
Estabilidad de espuma	seg. Nib.	200	350
Ésteres totales	mg/l	18	22
Alcoholes superiores totales	mg/l	≤ 150	
Dimetil sulfuro (DMS)	μg/l	≤ 100	
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	mg/l	≤ 10	
Cloruros (como Cl <sup>-</sup> )	mg/l	≤ 300	
Sulfatos (como SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/l	≤ 100	
Sodio (como Na <sup>+</sup> )	mg/l	≤ 150	
Aluminio	mg/l	≤ 0,5	
Hierro	mg/l	≤ 0,5	
Cobre	mg/l	≤ 1,0	
Cadmio	mg/l	< 0,1	
Plomo	mg/l	< 0,1	
Arsénico	μg/l	< 100	
Estabilidad coloidal	EBC	≤ 3,0	

Fuente (2)

En la actualidad la cerveza se ha caracterizado por ser un producto de alta aceptación dentro del mercado nacional e internacional. En Bolivia, las cervezas son elaboradas mediante la mezcla de cereales principalmente cebada y maíz, posteriormente adicionando el lúpulo, la levadura y otros aditivos. Si se consume con moderación, puede tener un papel preventivo en algunas enfermedades y aportar beneficios a nuestro organismo. (3)

La cerveza tiene bajo contenido calórico y posee nutrientes que hacen que pueda incluirse dentro de una alimentación saludable y se integre en la dieta mediterránea. “La cerveza es una bebida tradicional que, además de aportar ciertas sustancias nutritivas y no nutritivas, es fuente de agua para el organismo. Al tratarse de una bebida fermentada, forma parte de la cultura mediterránea, siempre teniendo en cuenta que es una bebida de adultos sanos cuyo consumo debe ser responsable y moderado”. (3)

Por consumo responsable se debe entender que no es más de 2-3 vasos de cerveza para un varón adulto al día y 1 o 2 para una mujer. Además, la ingesta no debe ser acumulada ante determinada ocasión, como los fines de semana, por ejemplo. Algunos de los beneficios que ofrece son: (3)

- 1) Acción Nutritiva
- 2) Previene infartos
- 3) Previene la osteoporosis
- 4) Minimiza infecciones en mujeres
- 5) Protección frente a enfermedades como el Alzheimer
- 6) Prolonga la vida
- 7) Prevención y control de la diabetes
- 8) Recuperar el metabolismo hormonal e inmunológico de los deportistas tras realizar ejercicio
- 9) Aporta Ácido fólico y contribuye a la hidratación en el embarazo
- 10) Bajo aporte calórico (No genera obesidad)

Por todas estas razones, en los últimos años, estamos apreciando en América un constante incremento de consumo de cerveza, principalmente la artesanal por parte de los consumidores en detrimento de la cerveza industrial. Siendo la diferencia principal entre la cerveza industrial y la artesanal el tratamiento de la materia prima en el proceso de elaboración y la eliminación de conservantes no naturales. (4)

Las cervezas artesanales no utilizan ningún aditivo artificial, simplemente agua, levadura, malta de cebada (también trigo en cervezas de este cereal) y lúpulos. El proceso de elaboración es manual o con una mínima ayuda de maquinaria desde el molido de las

maltas hasta el embotellamiento, al contrario de las grandes cerveceras industriales, donde el proceso es automático y la participación humana es mínima. Tampoco se realiza ningún proceso de filtración ni pasteurización que merme sus cualidades organolépticas, procesos habituales en el caso de las cervezas industriales. (4)

Actualmente, en la industria Cervecera Boliviana, se emplean aditivos tales como el MKS y el Alginato en el proceso de filtración previo a envasar el producto.

El MKS (Metabisulfito de Potasio) es una sal de potasio. Cuando se emplea en la industria alimentaria aparece bajo el código E 224.2. Se emplea como conservante alimentario en diferentes sectores de la industria; uno de los más corrientes en la elaboración de vino, mostos y preparados cárnicos (hamburguesas y carnes picadas) donde se emplea por su función antioxidante y antiséptica en contra de las levaduras y bacterias no deseadas; de la misma forma facilita la solubilización de las sustancias fenólicas. Este aditivo añadido al vino proporciona dióxido de azufre a la vendimia como conservante, produciendo como efecto secundario un incremento de potasio en los vinos. (5)

El Alginato es un polisacárido aniónico distribuido ampliamente en las paredes celulares de las algas marinas pardas. Estas sustancias corresponden a polímeros orgánicos derivados del ácido alginico. Su uso es muy variado. Existe una gran gama de empresas que utilizan esta sustancia como espesante para cremas, detergentes, tintas de impresión textil y una gran variedad de productos. (6)

El alginato puede modificarse químicamente por reacción con óxido de propileno para formar el ester del polipropilenglicol. Este producto se utiliza desde la década de 1940 como estabilizante en alimentos ácidos, no para obtener geles. Se comporta particularmente bien como estabilizante de la espuma de la cerveza. (7)

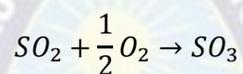
El presente trabajo tiene como finalidad la eliminación del MKS, ya que viene a ser un compuesto alergénico que actúa como conservante, y el Alginato, cuya explotación afecta a los recursos naturales, al mismo tiempo que su consumo impacta de forma económica a la compañía. Para dicho fin, se deben hacer variedad de cambios de parámetros de proceso, seguimientos al proceso de fermentación y reducción de ingreso de oxígeno en el proceso industrial.

## 1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

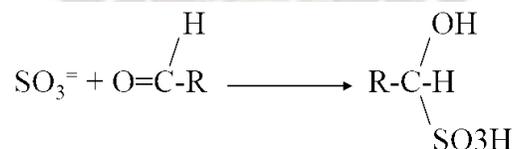
Si bien la cerveza viene a ser un producto muy noble y de muchos beneficios, en la actualidad se tienen los siguientes factores que dañan la misma: (8)

### 1.2.1. OXÍGENO

Es el principal enemigo de la cerveza porque el oxígeno es oxidación y como se sabe, eso se traduce en mal sabor. Para ello se tiene el MKS. El metabisulfito es un polvo cristalino blanco amarillento y soluble en agua. Al disolverse libera dióxido de sulfuro gaseoso, de olor sumamente desagradable que reacciona con el oxígeno según: (9)



También mediante reacciones de adición con los dobles enlaces del oxígeno bloquea grupos aldehídicos y cetónicos, reduciendo percepción de los deméritos típicos de estos compuestos (“Cartón”=Trans2Nonenal) (10)



Por otro lado, el MKS es un polvo de textura cristalina con un olor picante a sulfuro. Debe manipularse con cuidado ya que en contacto con los ojos y piel provoca irritación. La simple inhalación puede provocar edema pulmonar. Debe estar en un entorno alcalino, debe evitarse que entre en contacto con sustancias ácidas (y oxidantes) ya que libera anhídrido sulfuroso que es un gas tóxico e irritante. (5)

### 1.2.2. LUZ

La cerveza es muy sensible a la luz, significa que si tiene contacto con la luz será afectada en sabor y olor, se generará un aroma muy fuerte y un sabor que llega a ser desagradable, conocido como el Struck-Light, por lo que el envase color ámbar ayuda a mitigar además de la importancia de no tener el producto a la exposición del sol.

### **1.2.3. MOVIMIENTO**

El movimiento excesivo de la botella o de la lata va a tener impacto en el sabor de la birra. La agitación acelera el proceso de oxidación cuando el oxígeno que está en el espacio superior del envase se difunde hasta el líquido, envejeciéndolo. Teniendo en cuenta que aunque una cerveza esté embotellada, ésta seguirá madurando con el tiempo.

### **1.2.4. TEMPERATURA**

El calor también es enemigo declarado de la birra, porque la cerveza es un alimento, sí, un alimento y como tal debe mantenerse a una temperatura fresca, caso contrario la estabilidad del producto se ve alterada.

El presente trabajo, tiene como principal objetivo el eliminar los aditivos tales como el MKS y el Alginato, por lo que el foco vendrá a ser el oxígeno, así como los factores de proceso con más influencia que más adelante se detallan.

## **1.3. PRODUCCIÓN DE CERVEZA EN BOLIVIA**

Bolivia tiene variedad de fiestas y celebraciones, una de ellas es la fiesta de Carnaval y las bebidas alcohólicas no faltan. Un estudio identificó a la cerveza como la principal bebida que consumen los bolivianos. (11)

En menor importancia se encuentran el singani y el vino, de acuerdo con el estudio Análisis de Mercado Bolivia, realizado en diciembre de 2012 por Captura Consulting y encargado por Fautapo y el BID-FOMIN. De acuerdo con el documento, la cerveza es por mucho la bebida alcohólica más industrializada, masiva y popular, por lo que opaca el desempeño de las otras bebidas. (11)

En Bolivia se consumen anualmente 339 millones de litros de bebidas alcohólicas por un valor, a precios de mercado de ese año, de 740 millones de dólares. Esto es poco más del 3% del Producto Interno Bruto (PIB) que, según el Instituto Nacional de Estadística (INE), se estimaba entonces en 23.700 millones de dólares. El consumo de cerveza llegaba hasta el año 2012 a 343,5 millones de litros representando 34.25 litros por persona, de la chicha a 17.9 millones de litros, de vino a 11,2 millones de litros, de whisky a 1.7 millones de litros, de Cuba Libre a seis millones de litros. (11)

La cerveza representa el 69% de la facturación, el vino y el singani juntos el 9% (4.8% el vino y 4.2% el singani) y las otras 10 bebidas el 22%, es decir un promedio de 2.2% por cada una, detalla el documento. De acuerdo con el estudio, de los 740 millones de dólares que se consumen en Bolivia, 552 millones son producción nacional legal (75%), 49 millones son producción nacional clandestina (7%), 73 millones son importaciones legales (10%) y 66 millones son internaciones ilegales o contrabando (9%). (11)

Según un estudio realizado por Euromonitor el 2017, se tiene registrado que los bolivianos consumen 348 litros de cerveza por persona al año y el país ocupa el octavo lugar en la región, haciendo un total de 387.9 millones de litros al año. (12)

En la actualidad la Cervecería Boliviana Nacional, es parte de la compañía Anheuser-Busch InBev N.V./S.A. que es una empresa multinacional belga con sede en Lovaina, Bélgica y es la mayor fabricante mundial de cerveza, con una cuota del mercado mundial próxima al 25%. La CBN tiene en Bolivia cinco plantas cerveceras abasteciendo cerca del 70% de consumo a nivel nacional y al mismo tiempo exportando a otros países parte de la producción.

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. OBJETIVO GENERAL**

- Eliminar el MKS y el alginato empleados como aditivos en la cerveza elaborada en Planta La Paz.

### **1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar las condiciones óptimas de hervido para asegurar parámetros de nitrógeno coagulable dentro de estándar.
- Determinar las condiciones de óptimas de adición de tetrahop para asegurar parámetros de espuma dentro de estándar.
- Determinar las condiciones de óptimas de fermentación para aumentar la generación de SO<sub>2</sub>.
- Reducir hasta un límite permisible el oxígeno en el proceso de filtración y envasado.

## **1.5. JUSTIFICACIÓN**

### **1.5.1. ACADÉMICA**

Es necesario poner en práctica todos los conocimientos adquiridos, durante la formación académica en la carrera de Ingeniería de Alimentos, puesto que en este proyecto se aplicará balances másicos, preparación y cálculo de diversas soluciones, aplicación de diversos conceptos de química de alimentos aplicados a la elaboración de cerveza, desde el proceso de cocimiento, pasando por la fermentación hasta concluir con la filtración del mencionado producto.

### **1.5.2. TÉCNICA**

En la actualidad, el consumo de alimentos se torna con preferencia hacia los alimentos orgánicos. El presente proyecto tiene como fin eliminar aditivos tales como el MKS (Alérgeno) y el Alginato (Estabilizante de Espuma) sin llegar a afectar las propiedades fisicoquímicas del producto, cambiando parámetros de proceso de Cocimiento, Fermentación, Filtración y Envasado.

### **1.5.3. SOCIAL**

La cerveza tiene muchas propiedades que pueden ser aprovechadas por el ser humano. Adicionando a ello el presente proyecto pretende favorecer a los consumidores, para brindarles un producto sin aditivos, así como para reducir costos en la utilización de aditivos para la compañía cervecera.

### **1.5.4. AMBIENTAL**

Actualmente la mayoría de las plantas cerveceras emplean alginato como estabilizante de espuma en la elaboración de cerveza. Al reducir dicho aditivo se estaría comenzando a reducir el impacto sobre la explotación de las algas marrones. De esa manera, se contribuiría al desarrollo de la flora en el ecosistema.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEORICO

#### 2.1. INTRODUCCIÓN

La fabricación de la cerveza está ligada a una sucesión de tres procesos bioquímicos: la formación de enzimas en el grano de cereal germinante, la degradación de almidón a azúcar justamente por parte de esas enzimas y, a continuación, la fermentación del azúcar a alcohol y CO<sub>2</sub>.

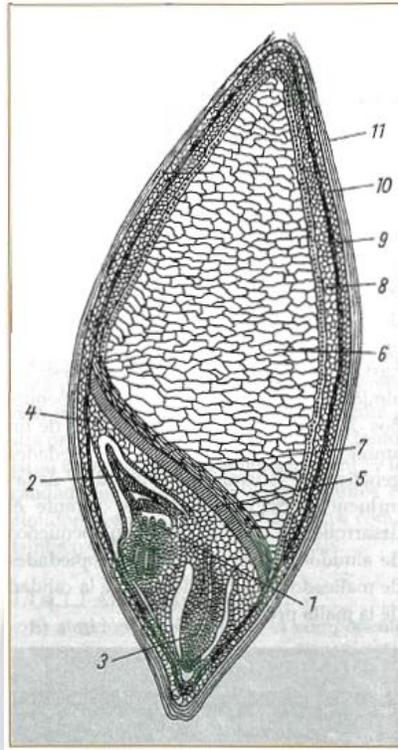
#### 2.2. MATERIAS PRIMAS

Para la fabricación de cerveza se requieren cuatro materias primas: cebada, lúpulo, agua y levadura. La calidad de estas materias primas tiene una influencia decisiva sobre la calidad de los productos fabricados. El conocimiento de las propiedades de las materias primas, de su influencia sobre el proceso y sobre el producto final proporciona el fundamento para su tratamiento y procesamiento. De esta manera, es posible controlar racionalmente el proceso tecnológico.

##### 2.2.1. CEBADA

La cebada (*Hordeum vulgare*) suministra el almidón necesario para la fabricación de cerveza, el cual es transformado posteriormente en la sala de cocción en extracto fermentable. Es necesario producir cebadas que suministren maltas ricas en extractos, por medio del cultivo de variedades adecuadas.

### Gráfico 2:1: Grano de Cebada



(1) plúmula, (2) acrospira rudimentaria, (3) raicillas, (4) escutelo, (5) capa epitelial, (6) endospermo, (7) células vacías, (8) capa de aleurona, (9) testa, (10) pericarpio, (11) cáscaras

Fuente (10)

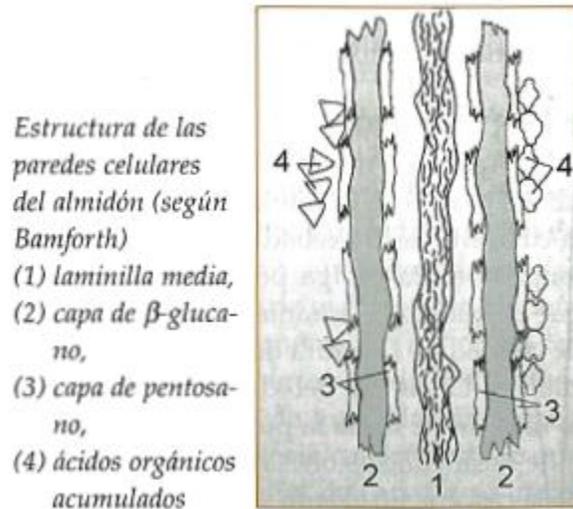
El grano de cebada (Gráfico 2.1) se divide en tres partes principales: la región germinal, el endospermo y las cubiertas del grano.

La región germinal contiene el embrión (1) con nudos de crecimiento para la acrospira (2) y las raicillas (3).

El endospermo (6) está compuesto por células estables, que contienen los granos de almidón. Éstos son de tamaño grande y pequeño; los tamaños medianos no existen en el almidón de la cebada (Gráfico 2.1). Los granos grandes de almidón (tipo A) tienen un diámetro de 20 a 30  $\mu\text{m}$ . Los granos pequeños de almidón (tipo B) tienen un diámetro de 3 a 5  $\mu\text{m}$  y representan el 70 a 95% del número total de granos de almidón en el endospermo, pero contienen solamente del 3 hasta el 10%, como máximo, del peso de almidón. La cantidad de granos pequeños de almidón puede variar dentro de un amplio rango; depende

de las propiedades genéticas de la variedad de cebada y de las influencias medioambientales durante el desarrollo del grano. Los granos pequeños de almidón influyen sobre las propiedades de malteado de la cebada y sobre la calidad de la malta producida.

### Gráfico 2:2: Estructura de la Cebada



Fuente (10)

Las paredes celulares del almidón están compuestas, primeramente, por una laminilla media de proteínas, que regulan todo tipo de intercambio de materia entre el interior y el exterior. Esta laminilla media está rodeada a ambos lados por una capa de  $\beta$ -glucano. Ésta, a su vez, está rodeada por una capa muy porosa de pentosano, que contiene diferentes sustancias, tales como ácidos orgánicos, ácido acético o ácido ferúlico. En el gráfico 2.2 se representan las distancias entre las capas de forma aumentada, a los efectos de facilitar la comprensión; en la realidad, estas capas están ubicadas estrechamente una junto a otra y pegadas entre sí. Se forma así una estructura de pared celular muy fuerte y estable.

El contenido de agua de la cebada es de 14 a 15%, en promedio. Puede variar entre el 12%, en una cosecha muy seca, y más del 20% para una cosecha húmeda. La cebada húmeda corre riesgos, en lo que respecta a su capacidad de almacenamiento y de germinación, y debe ser secada. La cebada apta para almacenamiento debe tener un contenido de agua menor que el 15%. El contenido restante se denomina materia seca. En promedio, la materia seca de la cebada tiene la siguiente composición:

### Gráfico 2:3: Composición de la Cebada

Hidratos de carbono totales:	70,0 - 85,0%
Proteínas:	10,5 - 11,5%
Substancias minerales:	2,0 - 4,0%
Grasas:	1,5 - 2,0%
Otras substancias:	1,0 - 2,0%

Fuente (10)

Los hidratos de carbono son el mayor complejo de substancias, desde el punto de vista cuantitativo. Sin embargo, se diferencian de forma importante en lo referente a sus propiedades de materia y, por lo tanto, en su importancia para el procesamiento y la calidad del producto. Son importantes el almidón, los azúcares, la celulosa, así como también la hemicelulosa y las gomas.

El almidón es el componente más importante de la cebada. El almidón se forma en el grano de cebada en una maduración lenta, por asimilación y posterior condensación de glucosa ( $C_6H_{12}O_6$ ).

Este almidón es metabolizado como reservorio de energía por parte del embrión en la primera etapa de crecimiento hasta que esté asegurada la producción propia de energía, después de la formación de clorofila y el inicio de la asimilación. El almidón es almacenado como granos de almidón en las células del endospermo.

Los granos de almidón (amiloplastos) contienen hasta 5% de lípidos y 0,5% de substancias albuminoideas y están compuestos por dos estructuras diferentes: amilosa, y amilopectina.

### Gráfico 2:4: Amilosa y Amilopectina

<i>amilopectina</i> como sustancia de cubierta (en aproximadamente 75 a 80%); insoluble en agua, forma engrudo a temperaturas mayores.	<i>amilosa</i> como material interior (en aproximadamente 20 a 25%); soluble en agua caliente, no forma engrudo.
---	---

Fuente (10)

Las hemicelulosas son los componentes principales de las paredes celulares en el endospermo. Están compuestas por B-glucanos y pentosanos, los cuales forman de manera conjunta la estructura celular rígida de las paredes celulares en el endospermo.

Los B-glucanos y los pentosanos tienen una estructura diferente y una influencia muy diversa sobre la fabricación de cerveza y la calidad, de manera que en lo sucesivo deben ser considerados separadamente.

Las hemicelulosas están compuestas en un 80 a 90% por B-glucano, y un 10 a 20% por pentosano.

El contenido de proteínas en la cebada puede variar entre 8 a 16%. Aproximadamente el 30% de las proteínas están depositadas, como proteínas de transporte, en las paredes celulares del endospermo y regulan el metabolismo. De estas sustancias albuminoideas, sólo aproximadamente un tercio llega a la cerveza terminada. Si bien la cantidad de sustancias albuminoideas en la cerveza es relativamente reducida, puede tener una influencia notable sobre la calidad.

Así, las sustancias albuminoideas ayudan notablemente a la estabilidad de la espuma. Por otro lado, pueden también estar implicadas de forma predominante en la formación de turbiedades en la cerveza. El contenido de extracto en la malta se reduce en casi la misma cantidad como crece el contenido de proteínas en la cebada.

Por ello, las exigencias comerciales usuales son de un máximo de 11.5% de proteínas en la materia seca.

Los elementos constituyentes de las sustancias albuminoideas son los aminoácidos. Las sustancias albuminoideas están formadas por 20 aminoácidos diferentes, los cuales son ordenados por el organismo en una secuencia exactamente definida. De ello resulta una diversidad impresionante de posibilidades.

Debido a su comportamiento en el proceso de elaboración de cerveza, las sustancias albuminoideas de la cebada son divididas en dos grandes grupos: las proteínas y sus productos proteolíticos, en los cuales pueden ser degradados.

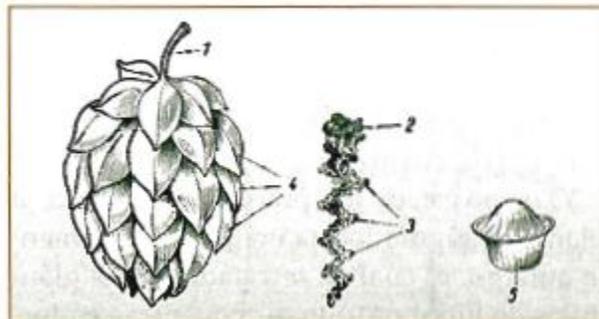
Se denomina proteínas a las sustancias albuminoideas de mayor y alto peso molecular con una masa molecular relativa de hasta varios millones, las cuales son insolubles en agua o precipitan en la cocción. Usualmente, el tamaño de molécula se expresa también en kDa (kilo Dalton), donde 1 Dalton (Da) es la masa de un protón. Con esto, la masa molecular y el Dalton tienen el mismo valor (masa molecular 10.000 = 10 kDa). Dado que el mosto es cocido en la sala de cocción, las proteínas insolubles en calor no llegan a la cerveza terminada.

Los productos de degradación de peso molecular más alto favorecen la estabilidad de la espuma de la cerveza, pero también tienen participación en las turbiedades en la cerveza por tanto favorece una mayor estabilidad coloidal.

### 2.2.2. LÚPULO

El lúpulo (*Humulus lupulus* L.) es una planta trepadora, perenne, dioica, perteneciente al grupo de las urticáceas y la familia cannabaceae. En la fábrica de cerveza se utilizan únicamente las inflorescencias de las plantas femeninas. Éstas contienen las resinas amargas y los aceites etéreos que le suministran a la cerveza los componentes amargantes y aromáticos.

**Gráfico 2:5: Flor de Lúpulo**



(1) pedúnculo, (2) raquis, (3) florecillas, (4) bráctea, (5) lupulina

Fuente (10)

La composición del lúpulo tiene una gran influencia sobre la calidad de la cerveza fabricada a partir de éste. En su materia seca, el lúpulo está compuesto por:

**Gráfico 2:6: Composición del Lúpulo**

compuestos amargos	18,5%
aceite de lúpulo	0,5%
taninos	3,5%
proteína	20,0%
Substancias minerales	8,0%

Fuente (10)

El resto está compuesto por celulosa y otras sustancias que no son de importancia para la fabricación de cerveza. Los componentes más importantes para la fabricación de cerveza son los compuestos amargos y el aceite de lúpulo.

Los compuestos amargos son los componentes más valiosos y más característicos del lúpulo. Ellos le otorgan el sabor amargo a la cerveza, benefician la estabilidad de la espuma y aumentan, por medio de sus propiedades antisépticas, la estabilidad biológica de la cerveza.

El alfa-ácido es por lejos el factor más importante, que también determina en gran parte el valor comercial del lúpulo. Por ello, se intensificó en las últimas décadas el cultivo de variedades de alto contenido de alfa-ácidos. Últimamente hay en el mercado variedades de lúpulo con un contenido de alfa-ácidos de 12 y de hasta 15%

### 2.2.3. AGUA

Cuantitativamente, el agua es la mayor porción de materia prima usada para la fabricación de cerveza. Sin embargo, solamente una parte de la cantidad de agua requerida es usada directamente en la cerveza, mientras que otra parte se requiere para limpieza, enjuague y otros propósitos. La obtención y el tratamiento del agua son de particular importancia para el cervecero, dado que la calidad del agua influye sobre la calidad de cerveza fabricada a partir de aquélla.

Primeramente, el agua para cerveza debe tener la calidad de agua potable correspondiente a la disposición de agua potable y con ello debe cumplir con todo lo que se exige de un agua potable, en lo referente a lo sensorial, físico-químico, microbiológico y químico. Aparte de ello, debe cumplir también con una serie de requisitos de tecnología cervecera, las cuales pueden tener una influencia positiva sobre la fabricación de cerveza.

La disposición de agua potable requiere del agua potable que sea incolora, inodora y libre de sustancias enturbiantes. En los parámetros para la disposición del agua potable están establecidos, con respecto al contenido y composición de las sustancias disueltas en el agua, los correspondientes valores límite para las sustancias individuales, los cuales mostramos aquí sólo de forma fragmentaria:

**Tabla 2:1: Parámetro de Control del Agua**

Parámetro	Valor límite mg/l
Nitrato	50
Nitrito	0,5
Plomo	0,01
Cobre	2
Níquel	0,02
Productos pesticidas y biocidas	0,0001
Benceno	0,001

Fuente (10)

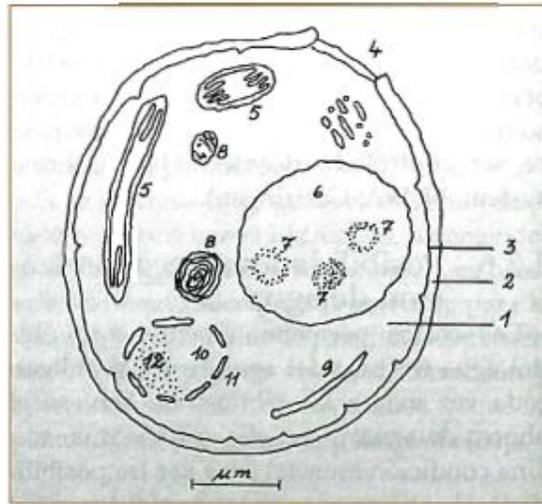
#### **2.2.4. LEVADURA**

La levadura es un sacaromiceto unicelular, el cual es capaz de cubrir su demanda de energía en presencia de oxígeno (aerobio), por respiración, y en ausencia de oxígeno (anaerobio), por fermentación.

En la fabricación de cerveza, el azúcar del mosto es fermentado por la levadura a alcohol y CO<sub>2</sub>. Para ello, en la fábrica de cerveza se utilizan hongos de levadura del tipo *Saccharomyces cerevisiae* Pastorianus. Cepas seleccionadas de estas levaduras son aisladas y cultivadas de forma sistemática, como cultivos puros de levadura para cerveza.

Dado que la levadura no realiza únicamente una fermentación alcohólica, sino que también tiene, debido a su metabolismo, una gran influencia sobre el sabor y el carácter de la cerveza, es importante el conocimiento de las sustancias contenidas en la levadura, de su metabolismo y de su reproducción. Dentro de los tipos y razas de levadura de cultivo hay una serie de características diferenciadoras.

**Gráfico 2:7: Estructura de la Célula de Levadura**



**Célula de levadura**

(según Hough, Briggs y Stevens)

(1) plasma, (2) pared celular, (3) plasmalerna, (4) cicatriz de gemación, (5) mitocondrias, (6) vacuola, (7) gránulo de polimetáfosfato, (8) gránulo lípido, (9) retículo endoplasmático, (10) núcleo (de la célula), (11) membrana nuclear, (12) nucléolo

Fuente (10)

### 2.2.5. ADJUNTO

El potencial enzimático de la malta es suficiente para degradar almidón adicional. Por eso, se substituye en algunos países una parte de la malta por lo general, 15 a 20% por cereal sin maltear. Este cereal sin maltear, que es más barato como proveedor de almidón que la malta relativamente cara, es denominado adjunto. Se consideran aquí, por sobre todas las cosas, aquellos tipos de cereales que son cultivados en gran volumen, en especial maíz, arroz y – especialmente en África - sorgo. En Bolivia, la mayoría de las plantas cerveceras han optado por usar Maíz.

El maíz es cosechado con un contenido de agua de 25 a 30% siendo llevado un contenido de agua de 10 a 14%, por secado. La materia seca del grano de maíz está compuesta en 76 a 80% por hidratos de carbono, 9 a 12% por proteínas, 4 a 5% por aceite y pequeñas cantidades de fibra cruda y minerales.

El aceite se encuentra en el embrión del grano. Debido a la preocupación causada por el efecto nocivo del aceite sobre la espuma, el maíz es desgerminado antes del procesamiento, siendo así prácticamente liberado del aceite. El maíz desgerminado tiene entonces un contenido de aceite de aproximadamente 1%. También se toleran contenidos de aceite de hasta 1.5%. El contenido de proteínas disminuye a aproximadamente 7 a 9%, durante el procesamiento a sémola y flóculos. Estas proteínas quedan también sin disolver, en gran parte, en el proceso de maceración, de manera que se debe esperar un contenido menor de proteínas, según la porción de maíz. Esto puede tener efectos sobre el suministro de proteínas de bajo peso molecular a la levadura.

El almidón de maíz es similar, también en su forma exterior, al almidón de la cebada. La temperatura de engrudamiento del almidón de maíz es también de 60 a 70°C, no debiendo esperarse problemas en el procesamiento. El contenido de extracto del maíz desgerminado es de 88 a 90% deshidratado (77 a 78% secado al aire) y en consecuencia aproximadamente igual que en la malta. (10)

### **2.3. PROCESO DE MALTEADO**

La planta de cebada en su afán por conservar su especie, prepara su descendencia de manera tal que bajo las condiciones adecuadas se desarrollen las semillas por ella producida.

Para asegurar esto, aprovisiona su germen con un cúmulo de alimento dentro de una cápsula cubierta de un material resistente, la semilla.

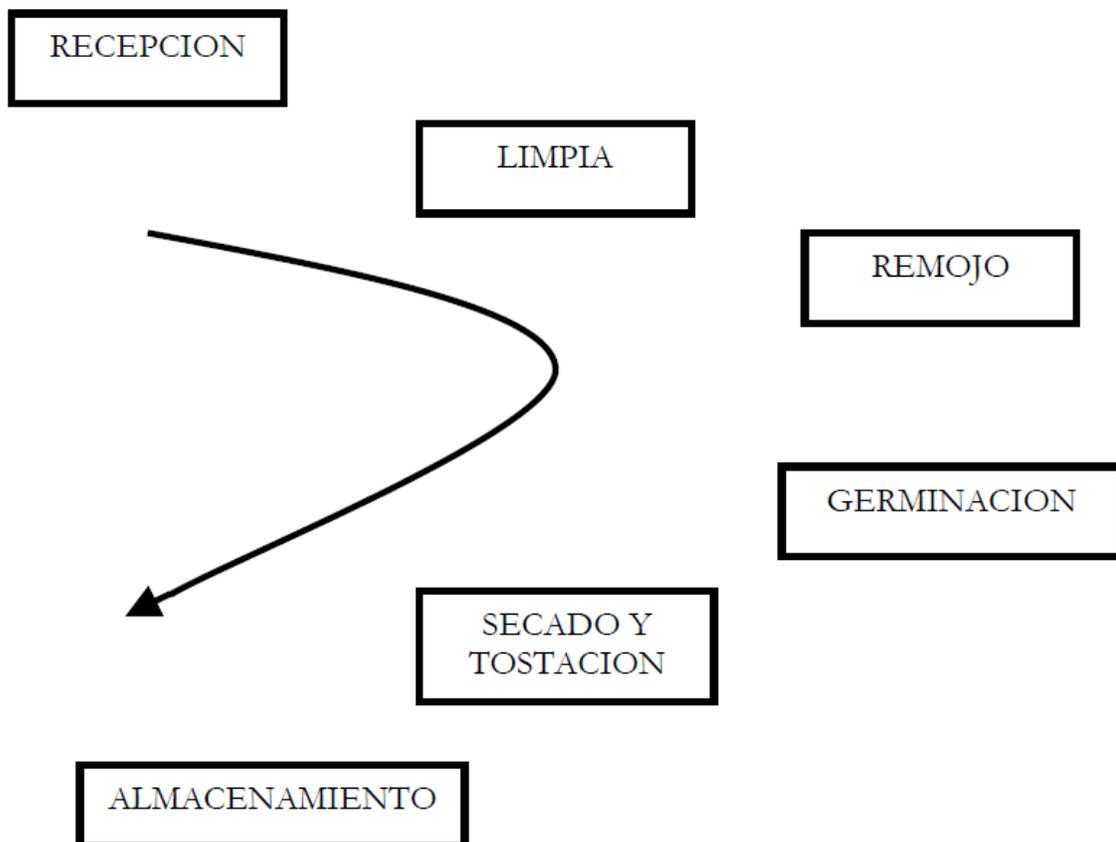
El germen como todo ser vivo requiere de energía fácilmente sintetizable a la hora de germinar. La mejor manera de proporcionar energía es por los carbohidratos y de entre ellos el más importante, el azúcar. Pero como éste es soluble no le conviene almacenarlo

de esta manera pues será fácilmente extraíble por las lluvias o atacable por insectos o microorganismos.

En la maltería no se hace otra cosa que simular las condiciones óptimas de desarrollo del grano forzando una germinación para luego interrumpirla por deshidratación.

Se conoce como maltería a la instalación en donde se realiza el malteo de un cereal. Es muy característica pues consta de varios silos o celdas en donde se almacenan grandes cantidades de cebada y malta. La maltería así como la cervecería consta de varias etapas en donde se acondiciona la materia prima para luego tratarla a fin de obtener lo que buscamos. Esquemáticamente lo podemos representar:

**Gráfico 2:8: Proceso de Malteado**



Fuente (13)

En la compañía ABIn-Bev, todas las plantas cerveceras son abastecidas por la malta procesada proveniente de Argetina, por lo que ninguna planta en Bolivia cuenta con un proceso de Malteado. Sin embargo, es importante considerar que los controles de calidad y los parámetros con los que debe llegar la malta son de vital importancia para el proceso de elaboración de cerveza.

Según Kunze (2006), una buena malta debe tener las siguientes características:

**Tabla 2:2: Composición de la Malta**

contenido de	
proteínas:	menor que 10,8%
índice Kolbach:	38 a 42%
rendimiento	
de extracto:	mayor que 82%
diferencia molienda	
fina-gruesa:	1,2 a 1,8%
viscosidad:	menor que 1,55 mPa·s
color:	menor que 3,4 EBC
color del mosto	
cocido:	menor que 5,0 EBC
N en la materia	
seca de la	
malta:	mayor que 0,65 g/100 g MTrS
valor de	
friabilímetro:	mayor que 87%
DMS-P	menor que 6 ppm
vitreosidad total:	menor que 2%
valor VZ 45°C:	37 a 41%
contenido de agua:	menor que 5,0%
borra:	menor que 0,8%

Fuente (10)

## 2.4. PROCESO DE ELABORACIÓN DE CERVEZA

La Elaboración de cerveza encierra una serie de operaciones distintas cuyas funciones, así como en maltería, son preparar el sustrato para que el verdadero fabricante de cerveza (la Levadura) se sirva del mismo y nos pueda entregar el aromático y refrescante líquido que conocemos por Cerveza.

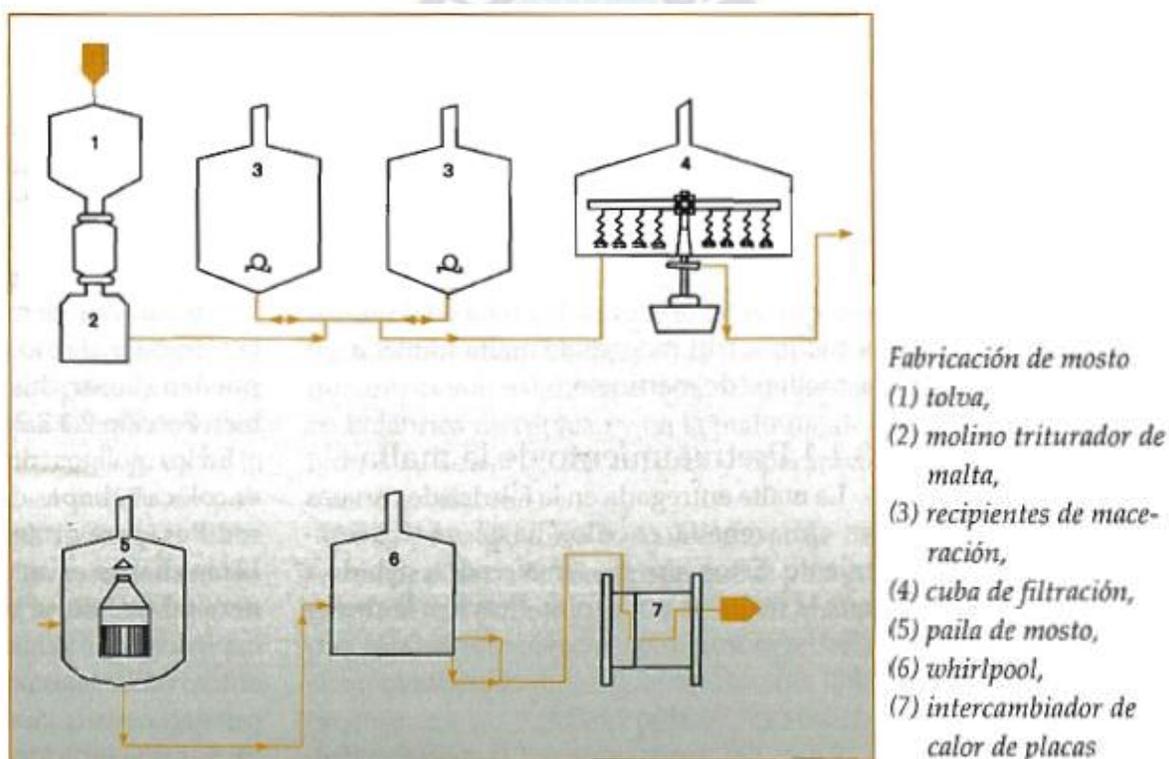
Dividiremos la Elaboración en tres grandes grupos a saber:

- COCIMIENTO
- FERMENTACION
- FILTRACION

## 2.5. PROCESO DE COCIMIENTO

Por cocimiento entenderemos a partir de ahora las operaciones desde la recepción de materia prima hasta obtener el mosto frío. Entonces las áreas que se encuentran incluyendo ésta etapa serían:

**Gráfico 2:9: Proceso de Cocimiento**



Fuente (10)

### 2.5.1. RECEPCIÓN

Tanto los granos de malta como los adjuntos (sémola de maíz o arroz) llegan a planta en camiones o contenedores y se bajan en la nave de recepción previo control y aprobación por Control de Calidad. Para ello se dispone de tolvas con transportes mecánicos que llevan los materiales a los depósitos de almacenaje conocidos como silos.

### **2.5.2. ALMACENAMIENTO**

Una vez descargados los granos son enviados a los silos donde esperan para ser utilizados. Estos silos son de forma cilindro – cónicas y de material metálico, poseen un sistema automático de carga y descarga así como un controlador permanente de nivel interno por sonar.

Los depósitos para almacenamiento de malta y adjunto deben evitar la humidificación de los mismos y el contacto con agentes externos agresores.

### **2.5.3. LIMPIEZA DE GRANOS**

En el trayecto entre la maltería y la fábrica de cerveza, la malta sufre una serie de movimientos y por tanto un frotamiento entre si, desgaste de sus envueltas, y esto produce películas finas y polvo. Igualmente, durante la manipulación del grano pueden producirse entradas de objetos extraños e impurezas diversas.

Por todo esto, es preciso eliminar y acondicionar físicamente la malta antes de pasar a la molienda. Hay que limpiar la malta. La maquinaria que se utiliza para esta operación es bastante simple y semejante a la que se emplea en la maltería en la recepción de la cebada, antes del ensilado. Se trata de un separador de cereales.

En el recorrido entre los silos y el molino, se instala una cadena de limpieza en cascada hasta este último. Asimismo, se vuelve a producir polvo. Para ello existe una aspiración general en toda la planta, para retirar este polvo y otras impurezas aspirables, y se envían hacia filtros especiales de inyección, que separan el aire y lo evacuan a la atmósfera. El polvo e impurezas sólidos se envían a otro silo.

El separador de cereales consiste en un juego de dos tamices de diferente diámetro de paso, de mayor a menor, dotado de un movimiento giratorio que provoca la separación de las impurezas anteriormente citadas.

El tamiz de mayor calibre separa las impurezas gruesas: trozos de cuerda, paja, piedras, etc. y el tamiz de diámetro de paso menor separa las impurezas más finas: arena, tierra, roturas de grano, etc.

Luego las impurezas de igual tamaño que el grano de malta son separados en un equipo llamado deschinadora (despiedradora) que lo hace por diferencia de peso específico; posteriormente el material se pesa.

Otro elemento importante que se encuentra en la cadena de limpieza del grano, y al final del circuito antes del molino, es el aparato magnético. Se trata de un dispositivo que aloja un imán permanente que atrae y retiene las impurezas metálicas, pues de no eliminarse dañarían seriamente los rodillos de los molinos, y pueden ser causa de explosiones.

#### **2.5.4. MOLIENDA**

La malta contiene en sí misma materias solubilizadas, que han sido formadas durante la germinación en el malteo y éstas se obtienen directamente en contacto con el agua durante la maceración, pero la mayor parte debe ser solubilizada por la acción enzimática.

Para facilitar el contacto y permitir una buena solubilización, es preciso efectuar una molienda del grano.

La molienda es una operación mecánica indispensable y desempeña un papel muy importante, que en ocasiones se subestima cuando por el contrario es de una necesidad básica y fundamental para una buena extracción en Sala de Cocimiento.

En definitiva, la molienda tiene por finalidad aumentar la superficie de contacto con el agua de fabricación y favorecer las reacciones enzimáticas.

#### **2.5.5. MACERACIÓN**

Una vez que disponemos de la malta molida y el adjunto preparados en sus respectivas tolvas finales, los mezclamos con agua de manera a iniciar las reacciones enzimáticas. Estas reacciones se producen respectivamente en el macerador de malta y el cocedor de adjuntos.

El objetivo principal de la maceración es transformar los almidones en azúcares fermentecibles o no para la levadura, prosiguiendo así las reacciones que se habían iniciado en la maltería y se detuvieron por desecación.

Es en éste momento, en el que se debe dar a conocer un poco más sobre la bioquímica de las reacciones que se producen en maceración.

La enzima es un compuesto proteico cuya función principal es catalizar las reacciones enzimáticas. Estas enzimas requieren de condiciones especiales para su funcionamiento, principalmente del pH y la temperatura, aunque también se ven afectada por el contenido de ciertos inhibidores y la relación agua/molienda.

**Gráfico 2:10: Equipos de Maceración**



Fuente (13)

### 2.5.6. FILTRACIÓN DE MOSTO

La finalidad esencial de la filtración consiste en la separación del mosto de la mezcla sacarificada, y de la parte insoluble de esta última, es decir el bagazo o hez de malta. Esta separación consiste en un proceso físico, aunque no exento de complejidad, es decir que en función de la técnica empleada se pueden conseguir mejores o peores resultados tanto cualitativos como cuantitativos.

La separación se realiza en dos fases bien distintas: la primera consiste en la (obtención del mosto (primer mosto - mosto denso) y la segunda el lavado (o los lavados) que permite recuperar el extracto que retiene el bagazo al máximo sin llegar a un "forzado" de la

recuperación, ya que tiene efectos perjudiciales. Estos lavados se efectúan mediante agua caliente (74 - 78°C máx.).

Llegado el momento de la filtración es conveniente elevar ligeramente la temperatura hasta 75 °C con el fin de lograr inactivar prácticamente las diastasas y conseguir una disminución de la viscosidad de la masa que permitirá una mayor filtrabilidad.

Por otra parte, como todavía el mosto va a tardar cierto tiempo en llegar a la ebullición mediante esta temperatura aseguramos una protección bacteriológica.

Se mencionó anteriormente que las envolturas (cáscaras) de la malta constituyen el lecho principal de filtración y por lo tanto su estado dará una mayor o menor permeabilidad; por lo tanto, a parte del medio de filtración que se emplee, la clarificación dependerá del grado de conservación de las envolturas. El tamaño de esta y la presencia de partículas no solubilizadas determinará la pérdida de carga, y por lo tanto la velocidad de filtración y el grado de claridad del mosto y la mejor recuperación del extracto mediante lavados.

De aquí la importancia de haber efectuado un grado de molienda adaptado al sistema de filtración, y un macerado que hubiera respetado al máximo las cáscaras sin detrimento de una buena extracción. El lavado se debe llevar hasta alcanzar un valor de extracto final lo más bajo posible, entorno a 2 °P o menos. Este valor estará relacionado con el extracto del mosto final.

### **2.5.7. EBULLICIÓN DE MOSTO**

Terminada la filtración del mosto y los lavados, el proceso que sigue en la Sala de Cocimiento es la ebullición y el lupulado. Se trata de una operación relativamente sencilla comparativamente con las fases anteriores del macerado y la filtración, sin embargo, durante la ebullición tienen lugar interacciones complejas que influyen notablemente en la composición final del mosto.

La cocción del mosto tiene como fines principales los siguientes objetivos:

- Estabilización de la composición del mosto.
- Modificación y desarrollo del sabor.
- Concentración.

La Estabilización del Mosto tiene lugar durante el proceso de ebullición en diferentes aspectos:

- Aspecto biológico: el mosto contiene microorganismos termoresistentes. La ebullición prolongada a los valores del pH (5,2 - 5,4) consigue destruir las formas más resistentes de microorganismos al calor.
- Las cualidades antisépticas de lúpulo contribuyen favorablemente a esta esterilización.
- Aspecto bioquímico: Durante la ebullición se destruyen los restos de actividad enzimática, en particular la de la alfa amilasa que resiste parcialmente a las altas temperaturas del final del macerado previas a la filtración y por ende más aún todavía si por otros motivos no se habían alcanzado esta elevada temperatura (75-76°C).
- Aspecto coloidal: mediante la ebullición se consigue una estabilización coloidal debido a la coagulación por efecto térmico de las materias nitrogenadas de naturaleza coloidal, las cuales precipitan formando coágulos para ser eliminados ulteriormente en la fase siguiente de la ebullición. Esta coagulación tiene gran importancia cervecera.

Las proteínas complejas son en parte responsables del enturbiamiento de la cerveza, razón por la cual es preciso eliminarlas; sin embargo, una eliminación total no es deseable, ya que las proteínas son responsables del "cuerpo" de la cerveza y de la estabilidad de la espuma. La ebullición no deberá llevarse a extremos en este sentido.

La inestabilidad coloidal ésta provocada por la asociación de proteínas - taninos, y no son precisamente las proteínas de mayor peso molecular los más afines a los polifenoles, y la ebullición no permitirá por lo tanto resolver totalmente la estabilidad coloidal aunque si en gran medida.

La modificación y desarrollo del sabor durante la ebullición se debe fundamentalmente a eliminación de sustancias volátiles y la disolución de los principios amargos del lúpulo, así como a la interacción entre azúcares y proteínas.

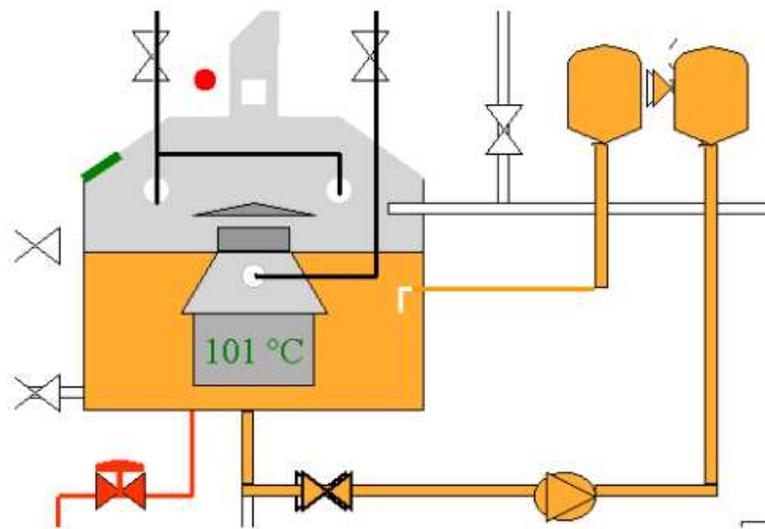
La ebullición del mosto produce una cierta caramelización de los azúcares, que inciden al sabor de la cerveza. La ebullición por el efecto de evaporación se asemeja a una destilación,

la cual permite la eliminación de sustancias volátiles indeseables, (DMS - dimetil sulfuro, aldehidos, y otros compuestos azufrados...). Estos compuestos se eliminan mediante una ebullición intensa.

La mayor modificación del sabor se debe sin embargo al efecto del lúpulo añadido en caldera. Y por otro lado los lavados durante la filtración del mosto han diluido la densidad el primer mosto. Mediante la ebullición del mosto y su evaporación se consigue llevarlo al grado de extracto requerido.

En el proceso de Hervido, dependiendo del tipo de cerveza, el lúpulo es agregado en la fase del hervido atmosférico, siendo al inicio para cervezas con características amargas y astringentes, y al final para cervezas con características más aromáticas. Por otro lado, también en el hervido atmosférico se agregan sales, tales como Cloruro de Zinc, para el crecimiento de la levadura, Ácido Fosfórico para regular el pH y Whirfloc para la precipitación de proteínas coagulables en el Whirpool. Siendo así los parámetros de mayor control, la temperatura, el pH y el tiempo.

**Gráfico 2:11: Diagrama del Hervidor**



Fuente (13)

### **2.5.8. TRATAMIENTO DEL MOSTO - WHIRPOOL**

El acondicionamiento del mosto tiene por objeto principal preparar el mosto en óptimas condiciones para la fermentación por la levadura. Constituye una fase más importante, en el proceso de fabricación de la cerveza. No se trata por lo tanto del simple enfriamiento, por otra parte indispensable. El acondicionamiento del mosto consiste fundamentalmente en las siguientes operaciones:

#### **CLARIFICACION**

El Turbio Grueso o “Turbio en caliente” es el que hemos visto que se había formado durante la ebullición del mosto. Sabemos que está compuesto por aproximadamente un 50% de proteínas, un 30 % de polifenoles y otras sustancias que le acompañan (isohumulonas<sup>1</sup>, lípidos, etc.).

El principio del Whirlpool (remolino) se basa en que las partículas sólidas en suspensión en una masa de líquido en rotación emigran hacia el centro y el fondo del recipiente. El mosto es bombeado desde la caldera de mosto y entra tangencialmente generando el movimiento de rotación; se crean zonas de diferente velocidad lineal o angular. Las partículas de turbio grueso se ven sometidas a los efectos de las fuerzas centrífuga y centrípeta; y éstas por su diferente densidad respecto al mosto, se decantan en centro y el fondo del recipiente, tornando una torta compacta.

#### **ENFRIAMIENTO**

Antes de sembrar el mosto con levadura para iniciar la fermentación, es preciso enfriar el mosto. Este se encuentra a 100°C al final de la ebullición, y la mortandad de la levadura se sitúa alrededor de los 40°C. Es preciso por lo tanto enfriar el mosto hasta valores de 8 – 10°C para los casos de fermentación “baja”.

#### **OXIGENACION – AIREACION DEL MOSTO**

El oxígeno es indispensable para la levadura y por lo tanto para la fermentación del mosto. La oxigenación del mosto se realiza generalmente mediante la aireación del mismo.

---

<sup>1</sup> La isohumulona es un ácido que se encuentra en los lúpulos, que una vez que se agrega a al mosto hecho con la malta y el agua caliente, le da uno de sus sabores característicos a la cerveza.

La aireación en caliente produce oxidación del mosto (fenómeno químico), la aireación en frío produce la oxigenación del mosto (fenómeno físico). Se persigue este último fenómeno por lo que en la práctica se airea el mosto siempre en frío. Antes del comienzo de la fermentación, el mosto debe estar saturado en oxígeno. La solubilidad de éste aumenta con la disminución de la temperatura y disminuye con el aumento de la densidad del mosto.

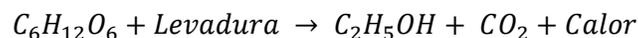
Evidentemente en los sistemas actuales de refrigeración cerrados no hay posibilidad de oxigenación con el aire del ambiente. Por lo tanto, ésta se realiza mediante la inyección de aire estéril a la salida del enfriador de placas en la tubería que conduce el mosto hacia la fermentación para aumentar el tiempo de contacto aire mosto.

La aireación del mosto es una operación muy delicada a la que no le prestamos usualmente la atención que merece. La solubilidad del aire, y específicamente del oxígeno, depende de la temperatura y la presión; pero además, como nos referimos a un líquido diferente al agua pura, también debemos tener en cuenta la densidad del mosto. A 20°C la saturación de O<sub>2</sub> en un mosto de 11,5°P y 1 bar de presión es de 8,0 mg/lit. Este valor se va modificando al bajar la temperatura, subir la presión o dosificando a mostos de diferente concentración

## 2.6. PROCESO DE FERMENTACIÓN

Dentro de lo que daremos a llamar Fermentación estarán incluidos varios procesos y etapas de fabricación. Se incluye a la levadura con su fisiología y morfología.

Tradicionalmente se ha definido la fermentación cervecera como el proceso anaeróbico mediante el cual la levadura convierte los azúcares del mosto con alcohol y gas carbónico. La fermentación alcohólica en este caso se viene representado por el desdoblamiento de la glucosa en etanol y gas carbónico con desprendimiento de calor bajo la acción de los fermentos ó enzimas de la levadura.



Sabido es que no participa únicamente la glucosa en la fermentación, sino el conjunto de los azúcares fermentecibles contenidos en el mosto. Sin embargo las reacciones son mucho más complejas y las transformaciones que tienen lugar durante la fermentación no se limitan únicamente a los azúcares, sino a todos los componentes del mosto que son

asimilados por la levadura dando lugar a numerosos productos derivados finales en la cerveza. Tales compuestos, resultantes del metabolismo de la levadura, como los alcoholes superiores, los ésteres, cetonas, aldehidos. sustancias azufradas, así como la aparición de ácidos orgánicos, y otras transformaciones tales como las que afectan a la coloración de la cerveza; a las isohumulonas y a los polifenoles juegan un papel fundamental y determinante en el sabor, en el perfil aromático y características finales de la cerveza

A pesar de toda su complejidad, la fermentación depende de tres parámetros principales:

- a) La composición del mosto.
- b) La levadura en sí misma.
- c) Las condiciones de fermentación.

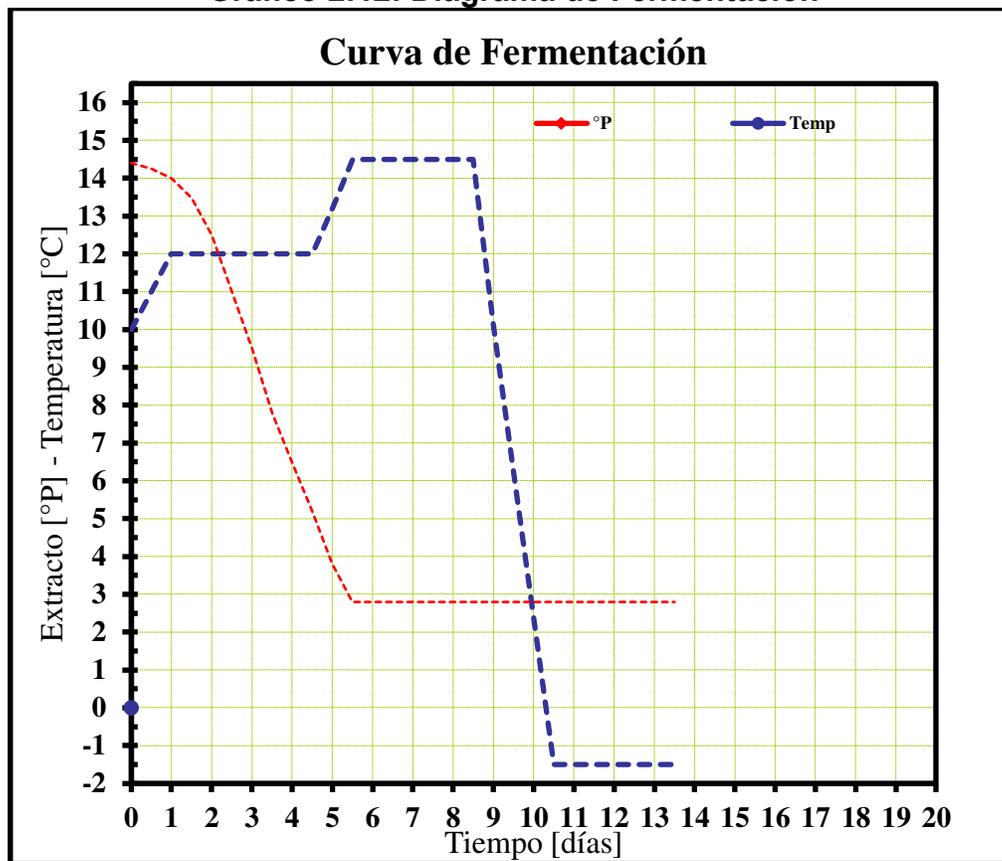
La interacción y dependencias de estos tres parámetros nos conducirán a la cerveza final deseada.

En la primera parte se estudia lo que respecta a la obtención del mosto, que contiene las sustancias nutrientes de la levadura. La raza o tipo de levadura seleccionada determinará el tipo de fermentación (alta o baja) y por consiguiente el tipo de cerveza así como las condiciones del proceso tales como el tiempo, la temperatura, la presión, el volumen y la geometría del tanque, etc.

En la práctica tradicional la fermentación se produce en dos fases o etapas separadas y sucesivas:

- La fermentación principal
- La fermentación secundaria.

Gráfico 2:12: Diagrama de Fermentación



Fuente (13)

### 2.6.1. FERMENTACIÓN PRINCIPAL

La primera etapa, fermentación principal ó tumultuosa, se caracteriza por un desprendimiento intenso gaseoso como consecuencia del anhídrido carbónico resultante de la transformación de la glucosa (que procede del desdoblamiento de la maltosa), y la disminución de la densidad del medio debido al alcohol producido y un crecimiento de la levadura con respecto a la cantidad inicial de siembra además de una importante producción de calor que se traduce en una elevación de la temperatura.

La fermentación principal abarca desde que se comienza a llenar el Tanque elevando levemente la temperatura hasta llegar a 12°C, hasta que el extracto desciende a 5.5°P donde inicia el cierre del frío para llegar a laguarda caliente a 14.5°C o fermentación secundaria.

### **2.6.2. FERMENTACIÓN SECUNDARIA**

La segunda etapa, la fermentación secundaria o guarda, mucho menos “activa” que la precedente complementa la fermentación de los carbohidratos y demás complejos resultantes de la sacarificación del almidón y presentes en el mosto original.

En la guarda caliente es donde la levadura termina de reducir el diacetilo y consumir el resto del extracto fermentescible, el momento en el cual es cosechada. Una vez que se reduce el diacetilo se procede al enfriamiento hasta llegar a la guarda fría a  $-1.5^{\circ}\text{C}$ .

Las levaduras que se emplean en la industria cervecera tienen similitudes básicas en sus propiedades y se distinguen dos especies: *Saccharomyces cerevisiae* o levadura de fermentación alta (que producen las cervezas ales, pofler y stout) y la “*Saccharomyces carlsbergensis*” o levadura de fermentación baja (que producen los tipos de cerveza “lager” Pilsen, Viena, Dormundt, etc.). Todos los demás tipos de levaduras (por ejemplo, de los géneros *Sachsaccharomyces*, *Hansenula*, *Dichia*, *Torulopsis*, *Cándida*, *Brettanomyces*, etc. y otras especies de *Saccharomyces*) han sido asociadas con alteraciones de deterioro de la cerveza y genéricamente se denominan “levaduras salvajes” o no cultivadas. (13)

### **2.6.3. DESARROLLO Y CRECIMIENTO DE LA LEVADURA**

Se entiende el crecimiento de la levadura en el aspecto de su aumento de tamaño celular y sobretodo en la proliferación o aumento de la masa celular en el mosto en fermentación. La curva de crecimiento típica de un microorganismo a la cual se asemeja la de la levadura y en la cual se ven las 5 etapas o fases diferenciales. Pues bien, desde el punto de vista práctico cervecero interesa que la fase de latencia (o adaptación) sea lo más breve posible. Esto desde un doble punto de vista; en primer lugar cuanto más breve sea, más rápidamente se inicia la fermentación y por lo tanto mayor rendimiento productivo se obtiene (eficiencia); en segundo lugar cuanto más rápidamente se inicie la fermentación, la levadura toma la delantera a cualquier otro organismo posible de infección y lo desplaza; se produce una selección.

Este aspecto está relacionado con el poder fermentativo de la levadura, su actividad fermentativa definida como, la cantidad de azúcar que la unidad de masa de levadura transforma en la unidad de tiempo.

Como se indica, este aspecto es importante y se trata de buscar una raza de levadura capaz de fermentar la máxima cantidad de azúcares del mosto en el menor tiempo posible.

Evidentemente hay factores externos como composición del mosto, oxigenación, dosis de siembra, temperatura de siembra. etc., así como otros intrínsecos de la levadura y su estado fisiológico relacionado con el modo de conservación previo a la siembra que tendrá un efecto directo sobre la curva de fermentación.

La precipitación proteica es muy grande durante la fermentación principal y la formación de complejo polifenoles-proteínas es debida a la disminución del pH y a un aumento del contenido alcohólico.

#### **2.6.4. REPOSO FRÍO O GUARDA FRÍA**

Las funciones u objetivos fundamentales del reposo tradicionalmente son los siguientes:

##### **a)- CLARIFICACION**

Al finalizar la fermentación principal, la cerveza está muy ‘cargada’ – turbia. Esta turbidez es debida principalmente al contenido de levadura en suspensión, y al velo producido por las micelas coloidales en la asociación proteínas - taninos que se forman debido al descenso de la temperatura, a la disminución del pH y a la menor solubilidad debido al aumento de la concentración de alcohol. (13)

El contenido en levadura suele ser variable y dependerá del tipo de levadura empleado (floculante o pulverulentas), del grado de atenuación principal (de la diferencia de atenuación respecto a la límite), etc.

Durante el tiempo de guarda a temperaturas bajas, a 0°C la mayor parte de la levadura en suspensión y de la turbidez de taninos/proteínas, sustancias amargas, etc. se depositan en el fondo del tanque, al final de la fase de fermentación. Esta clarificación por sedimentación por efecto de gravedad se ve mejorada por las bajas temperaturas. En cualquier caso es preciso una guarda larga y fría para conseguir un efecto de clarificación natural de la cerveza.

## **b) CARBONATACION**

Otra de las finalidades de la Guarda tradicional es lograr la carbonatación de la cerveza hasta alcanzar los niveles de contenido de CO<sub>2</sub> deseados en la cerveza final. Este contenido es variable según el tipo de cerveza y el gusto local de la clientela. (13)

Al final de la fermentación principal el contenido de CO<sub>2</sub> de la cerveza es variable y dependerá de las temperaturas de proceso, altura de la cerveza en los tanques, etc., pero puede oscilar entre 2,5 y 3,5 gr/lit.; vemos por lo tanto que se encuentra por debajo de los valores habituales en la cerveza final (4,9 – 5,3gr/lit). (13)

La solubilidad del CO<sub>2</sub> en la cerveza sigue las leyes generales de la disolución de gases en líquidos puros, si bien ésta es en cierto modo variable ya que la cerveza es un líquido complejo (agua, materias nitrogenadas, materias hidrocarbonadas, alcohol, etc.) de tal modo que no se puede llegar a un coeficiente de solubilidad exacto y constante pero de cualquier forma la disolución de CO<sub>2</sub> en cerveza está relacionado con la temperatura y la presión. Para una misma cerveza la disolución de CO<sub>2</sub> será mayor a menor temperatura y a mayor presión, e inversamente será menor a mayor temperatura, y a menor presión.

## **c) ESTABILIZACION COLOIDAL Y RESISTENCIA AL FRIO.**

La cerveza es un líquido complejo, se encuentran presentes proteínas y taninos de elevado peso molecular que tienden a combinarse lentamente y formar un velo coloidal insoluble.



Este turbio de tipo coloidal que se forma durante la fermentación en frío y durante la guarda se elimina parcialmente durante la clarificación natural que se produce durante la guarda

Tradicionalmente se considera que la guarda fría y prolongada contribuye a una buena estabilidad coloidal de la cerveza.

Para eliminar totalmente el velo coloidal de la cerveza es preciso filtrarla y alcanzar el brillo final necesario para su comercialización. Si bien después de la filtración pueden proseguir las reacciones de asociación Proteínas-Taninos y quedan suficientes en la cerveza y que contribuyen al carácter de la misma.

El turbio coloidal es reversible, es decir, es parcialmente soluble a temperaturas más elevadas que las de guarda, 20°C o más pero se vuelve a hacer insoluble cuando la cerveza se vuelve a enfriar. Para una buena estabilidad de la cerveza es preciso enfriarla antes de filtrarla con el fin de conseguir el máximo de turbio y separarlo posteriormente durante la filtración. A pesar de ello la cerveza conserva una cierta inestabilidad coloidal que por otra parte se ve reforzada por factores exteriores accidentales, tales como la presencia de oxígeno y de metales pesados (Cobre, hierro...). (13)

## **2.7. FILTRACIÓN DE CERVEZA**

La función principal de la filtración es la clarificación de la cerveza, para ello es importante tener en cuenta los siguientes aspectos a continuación:

### **2.7.1. TURBIDEZ**

La clarificación de la cerveza es una operación primordial que afecta a la producción y la estabilidad de la cerveza en sus dos variantes: coloidal y biológicamente.

El proceso debe eliminar todo tipo de partículas en suspensión ya sean de naturaleza biológica (microorganismos, generalmente células de levaduras) o de naturaleza coloidal (precipitados formados durante el reposo por la asociación proteína – polifenol).

El resultado del proceso se manifiesta por un marcado descenso de la turbidez dando al producto una brillantez característica.

Evidentemente la turbidez es el resultado de un fenómeno óptico y no debe ser tomado tan a la ligera pues depende de tantos factores que algunos de ellos escapan del conocimiento y otros pasan al campo de la óptica. De los factores de los que depende la turbidez se pueden rescatar:

- Proporción de partículas en suspensión.
- Forma de las partículas suspendidas.
- Tamaño de las mismas.
- Índice de refracción de la partícula en el medio.
- Longitud de onda de la luz que en ese momento incide.

La medición de la turbidez en planta se realiza en modernos nefelómetros (turbidímetros) a ciertos ángulos de incidencia determinados nos dan:

1 Unidad EBC<sup>2</sup> = 75Ft<sub>u</sub> = 14 Coleman (ASBC<sup>3</sup>) = 44Unidades Helm = 24 Unidades Zeiss

De forma directa podemos clasificar la cerveza según su turbidez en:

0,55 a 1EBC = Cerveza brillante

1 a 2EBC = Cerveza límpida

2 a 3EBC = Débilmente velada

3 a 4EBC = Velada

4 a 6EBC = Turbia

El objetivo perseguido por los sistemas de filtración actuales es de 0.3 a 0.6 EBC.

### 2.7.2. CARACTERÍSTICAS DE LA FILTRACIÓN

Por muchos es conocido el término “Proceso depurativo natural” que afecta durante todo el proceso de fabricación de la cerveza, y está relacionado con específicamente con dos de sus componentes: los flavonoides (polifenoles) y las proteínas.

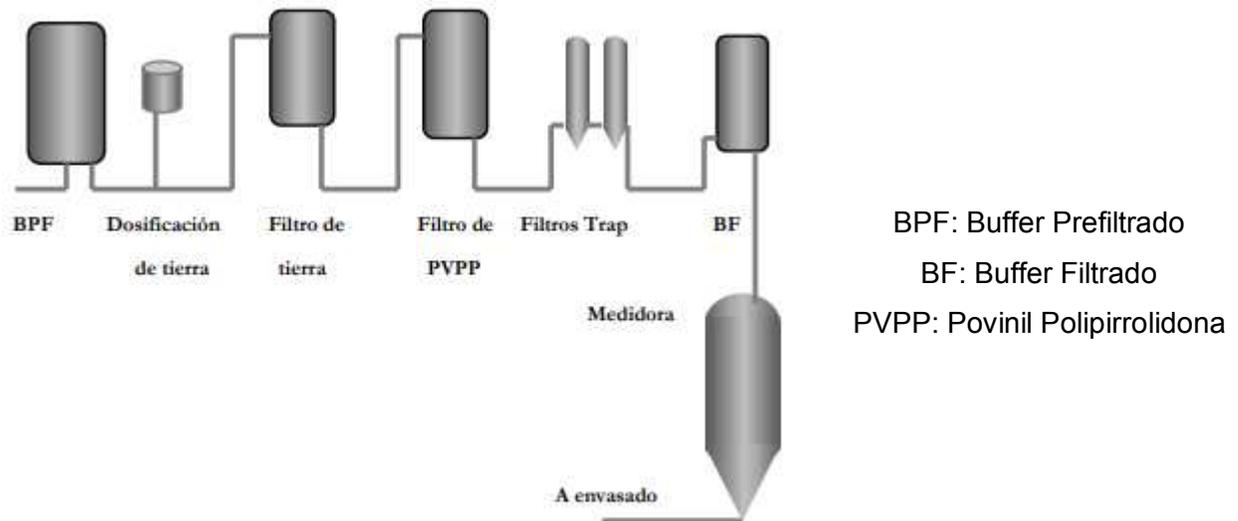
Durante el periodo de guarda y reposo podemos obtener un equilibrio coloidal y del sabor. La disminución de temperatura contribuye a la aparición de mayor cantidad de material insoluble como fenómeno físico – químico. Sin embargo la temperatura no es el factor preponderante; la eficacia del proceso depurativo natural viene dado por el binomio “Temperatura – tiempo”.

Como podemos darnos cuenta esto lleva a un conflicto con los requerimientos productivo – económicos de hoy día. Con todo esto podemos resumir que el periodo de clarificación natural no es suficiente por lo que los objetivos principales de la filtración son:

- Aportar estabilidad
- Obtener mayor brillantez del producto.

<sup>2</sup> EBC (European Brewery Convention) Unidad Europea de Medición de Utrbidez

<sup>3</sup> ASBC (American Society of Brewing Chemists) Unidad Americana de Medición de Turbidez

**Gráfico 2:13: Diagrama del Proceso de Filtración**

Fuente (13)

### 2.7.3. ADITIVOS

Existe variedad de aditivos que se pueden colocar en la filtración para conseguir alguna característica especial. A continuación, detallaremos los más empleados:

#### TIERRAS FILTRANTES

**Nombre comercial: Tierra Hyflo**

Tipo de tierra filtrante de granulometría gruesa. Diámetro de poro aproximado de 17 micras.

**Dosificación:** Se utiliza para filtración de cerveza en la primera precapa, segunda precapa y dosificación.

**Nombre: STANDARD (STD)**

Tipo de tierra filtrante de granulometría media. Diámetro de poro aproximado de 9.4 micras.

**Nombre: PVPP**

Polivinil Pirrolidona Polimerizado utilizado como estabilizante coloidal de cerveza. No se considera aditivo pues no se incorpora al producto; queda retenido en el filtro de PVPP.

**Nombre comercial: PVPP**

**Dosificación:** Se utiliza en cerveza filtrada en un equipo destinado especialmente para ello.

**Sales de sulfito**

Se dosifica a la cerveza para capturar el oxígeno que pudo haberse incorporado durante el proceso.

**Nombre comercial:** Metabisulfito de sodio o potasio (MKS)

**Dosificación:** Se prepara en el tanque de antioxidantes y se dosifica a la línea de cerveza antes de su ingreso al BPF.

**Estabilizante Coloidal**

**Nombre comercial:** Alginato de propilenglicol

**Dosificación:** Se dosifica a la salida del BF y sirve para estabilizar la espuma de la cerveza.

## 2.8. DISEÑO EXPERIMENTAL

### 2.8.1. PRINCIPIOS BÁSICOS

El diseño estadístico de experimentos se refiere al proceso para planear el experimento de tal forma que se recaben datos adecuados que puedan analizarse con métodos estadísticos que llevarán a conclusiones válidas y objetivas. El enfoque estadístico del diseño experimental es necesario si se quieren sacar conclusiones significativas de los datos. Cuando el problema incluye datos que están sujetos a errores experimentales, la metodología estadística es el único enfoque objetivo de análisis. Por lo tanto, cualquier problema experimental incluye dos aspectos: el diseño del experimento y el análisis estadístico de los datos. Estos dos aspectos se encuentran íntimamente relacionados porque el método de análisis depende directamente del diseño empleado.

En muchos experimentos interviene el estudio de los efectos de dos o más factores. En general, los diseños factoriales son los más eficientes para este tipo de experimentos. Por diseño factorial se entiende que en cada ensayo o réplica completa del experimento se investigan todas las combinaciones posibles de los niveles de los factores. Por ejemplo, si el factor A tiene "a" niveles y el factor B tiene "b" niveles, cada réplica contiene todas las "ab" combinaciones de los tratamientos. Cuando los factores están incluidos en un diseño factorial, es común decir que están cruzados.

El efecto de un factor se define como el cambio en la respuesta producido por un cambio en el nivel del factor. Con frecuencia se le llama efecto principal porque se refiere a los factores de interés primario en el experimento.

El diseño experimental es una técnica estadística que permite identificar y cuantificar las causas de un efecto dentro de un estudio experimental. En un diseño experimental se manipulan deliberadamente una o más variables, vinculadas a las causas, para medir el efecto que tienen en otra variable de interés. El diseño experimental prescribe una serie de pautas relativas qué variables hay que manipular, de qué manera, cuántas veces hay que repetir el experimento y en qué orden para poder establecer con un grado de confianza predefinido la necesidad de una presunta relación de causa-efecto.

En estadística, un experimento factorial completo es un experimento cuyo diseño consta de dos o más factores, cada uno de los cuales con distintos valores o niveles, cuyas unidades experimentales cubren todas las posibles combinaciones de esos niveles en todo los factores. Este tipo de experimentos permiten el estudio del efecto de cada factor sobre la variable respuesta, así como el efecto de las interacciones entre factores sobre dicha variable.

Si el número de combinaciones en un diseño factorial completo es demasiado alto para su procesamiento, puede optarse por un diseño factorial fraccional, en el que se omitan algunas de las combinaciones posibles.

Entonces una representación con un modelo de regresión del experimento factorial de dos factores podría escribirse como:

$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_{12}x_1x_2 + \varepsilon$$

donde  $y$  es la respuesta, las  $\beta$  son parámetros cuyos valores deben determinarse,  $x_1$  es una variable que representa al factor A,  $x_2$  es una variable que representa al factor B, y  $\varepsilon$  es un término del error aleatorio. Las variables  $x_1$  y  $x_2$  se definen en una escala codificada de -1 a +1 (los niveles bajo y alto de A y B), y  $x_1x_2$  representa la interacción entre  $x_1$  y  $x_2$ .

## 2.8.2. APLICACIONES DE LOS DISEÑOS FACTORIALES

Los métodos del diseño experimental han encontrado amplia aplicación en diversas disciplinas. De hecho, la experimentación puede considerarse parte del proceso científico y uno de los medios para conocer el funcionamiento de sistemas y procesos. En general, el aprendizaje ocurre a través de una serie de actividades en las que se hacen conjeturas acerca de un proceso, se llevan a cabo experimentos para generar datos del proceso y después se usa la información del experimento para establecer nuevas conjeturas, lo que lleva a nuevos experimentos, y así sucesivamente.

El diseño experimental es una herramienta de importancia fundamental en el ámbito de la ingeniería para mejorar el desempeño de un proceso de manufactura. También tiene múltiples aplicaciones en el desarrollo de procesos nuevos. La aplicación de las técnicas del diseño experimental en las fases iniciales del desarrollo de un proceso puede redundar en:

- Mejoras en el rendimiento del proceso.
- Variabilidad reducida y conformidad más cercana con los requerimientos nominales o proyectados.
- Reducción del tiempo de desarrollo.
- Reducción de los costos globales.

Los métodos del diseño experimental desempeñan también un papel importante en las actividades del diseño de ingeniería, donde se desarrollan productos nuevos y se hacen mejoramientos en los productos existentes. Entre las aplicaciones del diseño experimental en el diseño de ingeniería se encuentran:

- La evaluación y comparación de configuraciones de diseños básicos.
- La evaluación de materiales alternativos.
- La selección de los parámetros del diseño para que el producto tenga un buen funcionamiento en una amplia variedad de condiciones de campo, es decir, para que el producto sea robusto.
- La determinación de los parámetros clave del diseño del producto que afectan el desempeño del mismo.

El uso del diseño experimental en estas áreas puede redundar en productos cuya fabricación sea más sencilla, en productos que tengan un desempeño y confiabilidad de

campos mejorados, en costos de producción más bajos y en tiempos más cortos para el diseño y desarrollo del producto. A continuación, se presentan varios ejemplos que ilustran algunas de estas ideas.

### **2.8.3. PASOS PARA EL DISEÑO DE UN EXPERIMENTO**

Los pasos que se pueden seguir para realizar el diseño experimental son:

- Observación
- Planteamiento del problema de investigación
- Objetivos
- Hipótesis: hipótesis nula ( $H_0$ ) e hipótesis alterna
- Método (incluye la elección de los sujetos, para la conformación de la muestra; el procedimiento, es decir, el tratamiento a los sujetos; las variables consideradas: variable dependiente, variable independiente, variables extrañas)
- Resultados: aquí se describen cuáles fueron las relaciones observadas entre las variables (si los valores de la variable independiente realmente influyeron significativamente sobre los de la variable dependiente, si hubo tantas variables extrañas como se pensaba o si surgieron otras), para lo cual se añaden a dicha descripción tanto gráficas (de barras, de pastel, etc.) como cuadros.
- Conclusiones

A partir de aquí, ya es posible pensar en la elaboración del informe (publicación del experimento y sus resultados, a través de un artículo en una publicación nacional o internacional, donde se incluirán, además de las secciones ya mencionadas, las referencias bibliográficas).

### **2.8.4. DISEÑO FACTORIAL GENERAL $2^k$**

Los diseños factoriales son ampliamente utilizados en experimentos en los que intervienen varios factores para estudiar el efecto conjunto de estos sobre una respuesta. Existen varios casos especiales del diseño factorial general que resultan importantes porque se usan ampliamente en el trabajo de investigación, y porque constituyen la base para otros diseños de gran valor práctico.

El más importante de estos casos especiales ocurre cuando se tienen  $k$  factores, cada uno con dos niveles. Estos niveles pueden ser cuantitativos como sería el caso de dos valores de temperatura presión o tiempo. También pueden ser cualitativos como sería el caso de dos máquinas, dos operadores, los niveles "superior" e "inferior" de un factor, o quizás, la ausencia o presencia de un factor.

Una réplica completa de tal diseño requiere que se recopilen  $2 \times 2 \times \dots \times 2 = 2^k$  observaciones y se conoce como diseño general  $2^k$ .

El segundo caso especial es el de  $k$  factores con tres niveles cada uno, conocido como diseño factorial  $3^k$ .

Se supone que:

- a) los factores son fijos
- b) los diseños son completamente aleatorios
- c) se satisface la suposición usual de normalidad

El diseño  $2^k$  es particularmente útil en las primeras fases del trabajo experimental, cuando es probable que haya muchos factores por investigar. Conlleva el menor número de corridas con las cuales pueden estudiarse  $k$  factores en un diseño factorial completo. Debido a que sólo hay dos niveles para cada factor, debe suponerse que la respuesta es aproximadamente lineal en el intervalo de los niveles elegidos de los factores.

#### **2.8.4.1. Diseño $2^2$**

El primer diseño de la serie  $2^k$  es aquel que tiene sólo dos factores, A y B, cada uno con dos niveles. Arbitrariamente, los niveles del factor pueden llamarse "inferior" y "superior".

#### **2.9.4.2. Diseño $2^3$**

Suponga que se encuentran en estudio tres factores A, B y C, cada uno con dos niveles. Este diseño se conoce como diseño factorial,  $2^3$  y las ocho combinaciones de tratamientos pueden representarse gráficamente mediante un cubo.

Existen en realidad tres notaciones distintas que se usan ampliamente para las corridas o ejecuciones en el diseño  $2^k$ :

- La primera es la notación "+,-", llamada "geométrica".
- La segunda consiste en el uso de letras minúsculas para identificar las combinaciones de tratamientos.
- En la tercera se utilizan los dígitos 1 y 0 para denotar los niveles alto y bajo del factor, respectivamente.

El procedimiento de prueba suele resumirse en una tabla del análisis de varianza, como se muestra en la Tabla 2:3:

**Tabla 2:3: Análisis de la Varianza para el Diseño Factorial de Dos Factores**

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	$F_0$
Tratamientos $A$	$SS_A$	$a - 1$	$MS_A = \frac{SS_A}{a - 1}$	$F_0 = \frac{MS_A}{MS_E}$
Tratamientos $B$	$SS_B$	$b - 1$	$MS_B = \frac{SS_B}{b - 1}$	$F_0 = \frac{MS_B}{MS_E}$
Interacción	$SS_{AB}$	$(a - 1)(b - 1)$	$MS_{AB} = \frac{SS_{AB}}{(a - 1)(b - 1)}$	$F_0 = \frac{MS_{AB}}{MS_E}$
Error	$SS_E$	$ab(n - 1)$	$MS_E = \frac{SS_E}{ab(n - 1)}$	
Total	$SS_T$	$abn - 1$		

Fuente: Diseño y Análisis de Experimentos (Montgomery)

En lo que a los cálculos se refiere, por lo general se emplea un paquete de software de estadística para realizar el análisis de varianza. Sin embargo, no es complicado obtener fórmulas para calcular manualmente las sumas de cuadrados de la ecuación anterior. La suma de cuadrados total se calcula como de costumbre con:

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{abn}$$

Las sumas de cuadrados de los efectos principales son:

$$SS_A = \frac{1}{bn} \sum_{i=1}^a y_{i..}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{abn}$$

$$SS_B = \frac{1}{an} \sum_{i=1}^b y_{i\cdot}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{abn}$$

Es conveniente obtener  $SS_{AB}$  en dos pasos. Se calcula primero la suma de cuadrados entre los totales de las ab celdas, a la que se denomina la suma de cuadrados debida a los "subtotales":

$$SS_{Subtotales} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{ij}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{abn}$$

Esta suma de cuadrados también contiene a  $SS_A$  y  $SS_B$ . Por lo tanto, el segundo paso consiste en calcular  $SS_{AB}$  como:

$$SS_{AB} = SS_{Subtotales} - SS_A - SS_B$$

Puede calcularse  $SS_E$  por sustracción como:

$$SS_E = SS_T - SS_{AB} - SS_A - SS_B$$

$$SS_E = SS_T + SS_{Subtotales}$$

Para cuatro factores la suma de cuadrados total se calcula con:

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \sum_{m=1}^n y_{ijklm}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{abcdn}$$

Las sumas de cuadrados de los efectos principales son:

$$SS_A = \frac{1}{bcdn} \sum_{i=1}^a y_{i\dots}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{abcdn}$$

$$SS_B = \frac{1}{acdn} \sum_{j=1}^b y_{\cdot j\dots}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{abcdn}$$

$$SS_C = \frac{1}{abdn} \sum_{i=1}^c y_{..k..}^2 - \frac{y_{.....}^2}{abcdn}$$

$$SS_D = \frac{1}{abcn} \sum_{i=1}^d y_{...i.}^2 - \frac{y_{.....}^2}{abcdn}$$

Se calcula la suma de cuadrados de las interacciones de dos factores, por ejemplo AB, mediante:

$$SS_{AB} = \frac{1}{cdn} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{ij...}^2 - \frac{y_{...}^2}{abcdn} - SS_A - SS_B$$

Se calcula la suma de cuadrados de las interacciones de tres factores, por ejemplo ABC, mediante:

$$SS_{ABC} = \frac{1}{dn} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c y_{ijk..}^2 - \frac{y_{...}^2}{abcdn} - SS_A - SS_B - SS_{AB} - SS_{AC} - SS_{BC}$$

Se calculan los subtotales mediante:

$$SS_{Subtotales} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d y_{ijkl}^2 - \frac{y_{...}^2}{abcdn}$$

Puede calcularse  $SS_E$  por sustracción como:

$$SS_E = SS_T - SS_{AB} - SS_A - SS_B$$

$$SS_E = SS_T + SS_{Subtotales}$$

## CAPÍTULO III

### 3. METODOLOGÍA DEL PROCESO

#### 3.1. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA DE TRABAJO

A continuación, se detalla la Metodología de Trabajo:

**Gráfico 3:1: Diagrama de flujo de la Metodología de Trabajo**



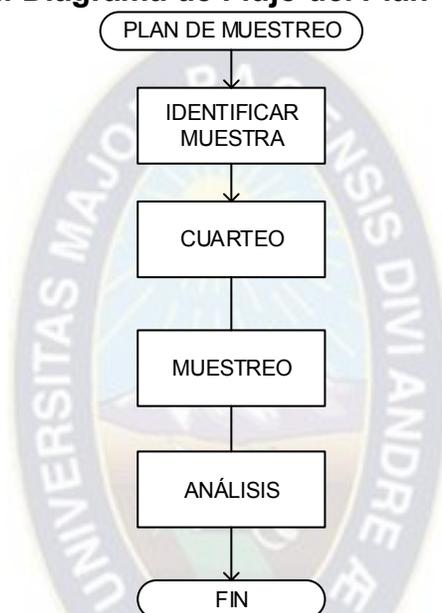
Fuente: Elaboración Propia

### 3.2. PLAN DE MUESTREO

Inicialmente, se realiza la recolección de muestras de malta y maíz. Para ello, se elige la Malta Uruguaya (MUSA) y Maíz Desgerminado proveniente de Santa Cruz. Se realiza el muestreo, obteniéndose 5 Kg de cada materia prima aproximadamente.

El procedimiento se detalla en el siguiente diagrama de flujo:

**Gráfico 3:2: Diagrama de Flujo del Plan de Muestreo**



Fuente: Elaboración Propia

### 3.3. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

#### 3.3.1. IMPUREZAS

Se determina el porcentaje de impurezas de acuerdo a la siguiente ecuación y cuyo procedimiento se halla descrito en el Anexo A.1:

$$\%Impurezas = \frac{w - m}{w} \cdot 100\%$$

Dónde:

m= peso del grano de Maíz/Malta [g]

w = peso del grano de Maíz/Malta [g]

### **3.3.2. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD**

El análisis de Contenido de Humedad se realiza en el laboratorio de Control de Calidad en la Cervecería de La Paz, donde se emplea el método de secado por infrarrojo, cuyo procedimiento está descrito en el Anexo A.2.

### **3.3.3. DETERMINACIÓN DE PROTEÍNAS**

El análisis de Proteínas se realiza en el laboratorio de Control de Calidad en la Cervecería de Quilmes en Buenos Aires, donde se emplea el método de Kjeldahl, cuyo procedimiento se describe en el Anexo A.3.

### **3.3.4. DETERMINACIÓN DE MATERIA GRASA**

El análisis de Materia Grasa se realiza en el laboratorio de Control de Calidad en la Cervecería de Quilmes en Buenos Aires, donde se empleó el método de soxhlet, cuyo procedimiento se describe en el Anexo A.4.

## **3.4. PROCESO DE COCIMIENTO**

### **3.4.1. DETERMINACIÓN DE COLOR**

El análisis de Color se realiza a las muestras de mosto frío, donde se emplea el método espectrofotométrico, cuyo procedimiento se describe en el Anexo A.5.

### **3.4.2. DETERMINACIÓN DE PH**

El análisis de pH se realiza a las muestras de mosto caliente al ingreso al proceso de hervido, cuyo procedimiento se describe en el Anexo A.6.

### **3.4.3. DETERMINACIÓN DE AMARGOR**

El análisis de Amargor se realiza a las muestras de mosto frío, donde se emplea el método espectrofotométrico, cuyo procedimiento se describe en el Anexo A.7.

### **3.4.4. DETERMINACIÓN DE EXTRACTO**

El análisis de extracto se realiza a las muestras de mosto caliente y mosto frío, donde se emplea el método por AntonPaar, cuyo procedimiento se describe en el Anexo A.8.

### **3.4.5. DETERMINACIÓN DE AMINOÁCIDOS LIBRE**

El análisis de Amoniácidos Libres (FAN) se realiza a las muestras de mosto frío, donde se emplea el método espectrofotométrico, cuyo procedimiento se describe en el Anexo A.9.

### **3.4.6. DETERMINACIÓN DE NITRÓGENOS SOLUBLES TOTALES Y COAGULABLES**

El análisis de Proteínas Solubles y Coagulables se realiza a las muestras de mosto frío, donde se emplea el método de Kjeldahl, cuyo procedimiento se describe en el Anexo A.12 y A.13.

## **3.5. PROCESO DE FERMENTACIÓN**

### **3.5.1. DETERMINACIÓN DE AMARGOR**

El análisis de Amargor se realiza a las muestras de cerveza verde, donde se emplea el método espectrofotométrico, cuyo procedimiento se describe en el Anexo A.7.

### **3.5.2. DETERMINACIÓN DE DIÓXIDO DE AZUFRE**

El análisis de dióxido de azufre se realiza a las muestras de cerveza verde, donde se emplea el método espectrofotométrico, cuyo procedimiento se describe en el Anexo A.10.

### **3.5.3. DETERMINACIÓN DE AMINOÁCIDOS LIBRE**

El análisis de Amoniácidos Libres (FAN) se realiza a las muestras de cerveza verde, donde se emplea el método espectrofotométrico, cuyo procedimiento se describe en el Anexo A.9.

## **3.6. PROCESO DE FILTRACIÓN**

### **3.6.1 DETERMINACIÓN DE AMARGOR**

El análisis de Amargor se realiza a las muestras de cerveza filtrada, donde se emplea el método espectrofotométrico, cuyo procedimiento se describe en el Anexo A.7.

### **3.6.2. DETERMINACIÓN DE OXÍGENO**

El análisis de contenido de oxígeno se realiza a las muestras de cerveza filtrada, donde se emplea el método cuyo procedimiento se describe en el Anexo A.17.

### **3.6.3. DETERMINACIÓN DE ESPUMA**

El análisis de determinación de Espuma se realiza a las muestras de cerveza envasada, donde se emplea el método del espumidímetro, cuyo procedimiento se describe en el Anexo A.11.

## **3.7. CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO**

### **3.6.4. DETERMINACIÓN DE TURBIDEZ**

El análisis de Color se realiza a las muestras de cerveza envasada, donde se emplea el método turbidimétrico, cuyo procedimiento se describe en el Anexo A.14.

### **3.6.5. DETERMINACIÓN DE ESTABILIDAD COLOIDAL**

El análisis de Estabilidad Coloidal se realiza a las muestras de cerveza envasada, donde se emplea el método turbidimétrico, cuyo procedimiento se describe en el Anexo A.15.

### **3.6.6. DETERMINACIÓN DE AMARGOR**

El análisis de Amargor se realiza a las muestras de cerveza envasada, donde se emplea el método espectrofotométrico, cuyo procedimiento se describe en el Anexo A.7.

### **3.5.4. DETERMINACIÓN DE DIÓXIDO DE AZUFRE**

El análisis de dióxido de azufre se realiza a las muestras de cerveza envasada, donde se emplea el método espectrofotométrico, cuyo procedimiento se describe en el Anexo A.10.

### **3.6.7. DETERMINACIÓN DE ESPUMA**

El análisis de determinación de Espuma se realiza a las muestras de cerveza envasada, donde se emplea el método del espumidímetro, cuyo procedimiento se describe en el Anexo A.11.

### **3.6.8. DETERMINACIÓN DE NITRÓGENOS SOLUBLES Y COAGULABLES**

El análisis de Proteínas Solubles y Coagulables se realiza a las muestras de mosto frío, donde se emplea el método de Kjeldahl, cuyo procedimiento se describe en el Anexo A.12 y Anexo 13.

### 3.6.9. DETERMINACIÓN DE OXÍGENO

El análisis de oxígeno se realiza a las muestras de cerveza envasado, donde se emplea el método cuyo procedimiento se describe en el Anexo A.16.



## CAPÍTULO IV

### 4. CÁLCULOS Y RESULTADOS

#### 4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

A continuación, se detalla los datos más representativos obtenidos en laboratorio:

##### 4.1.1. MALTA

##### 4.1.1.1. Impurezas

El porcentaje de impurezas se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 4:1: Datos de Impurezas de la Malta**

Malta Inicial [g]	Impurezas [g]	%Malta Limpia	%Impurezas
99.97	1.97	98.03	1.97
100.03	1.49	98.51	1.49
100.00	1.58	98.42	1.58
100.05	1.87	98.13	1.87
100.01	1.98	98.02	1.98
100.00	2.1	97.90	2.10
100.02	1.25	98.75	1.25
100.05	1.49	98.51	1.49
100.05	1.81	98.19	1.81
100.01	1.52	98.48	1.52

Fuente: Elaboración Propia

Con un promedio de:

$$\%Impurezas = 1.71\%$$

##### 4.1.1.2. Humedad

La determinación de la Humedad se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 4:2: Datos para Determinación de la Humedad de la Malta**

Fecha	%Humedad Malta	Fecha	%Humedad Malta
16/08/2018	5	28/08/2018	5.59
17/08/2018	4.8	28/08/2018	5.59
17/08/2018	5	29/08/2018	5
17/08/2018	5	28/08/2018	3.4
17/08/2018	4.8	31/08/2018	5.5
27/08/2018	4.2	03/09/2018	4.6
27/08/2018	4.2	03/09/2018	4.8
27/08/2018	5.59	04/09/2018	5.4

Fuente: Elaboración Propia

Teniendo un valor promedio de Humedad:

$$\%H = 4.90\%$$

#### 4.1.1.3. Proteínas

Las pruebas de caracterización de la materia prima se realizan en el laboratorio de Control de Calidad en la Maltería de Nueva Palmira (Uruguay), cuyo informe se encuentra en el Anexo C.

**Tabla 4:3: Contenido de Proteínas de la Malta**

Muestra	Malta
<b>Resultados</b>	
Ensayo Realizado	Resultados
Proteínas	10.50%

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad de Maltería de Nueva Palmira

#### 4.1.2. MAÍZ

##### 4.1.2.1. Impurezas

El porcentaje de impurezas se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 4:4: Datos de Impurezas del Maíz**

Maíz Inicial [g]	Impurezas [g]	%Maíz Limpio	%Impurezas
100.05	0.97	99.03	0.97
100.04	1.23	98.77	1.23
100.02	1.39	98.61	1.39
99.97	1.11	98.89	1.11
99.96	1.27	98.73	1.27
100.00	0.96	99.04	0.96
100.02	1.22	98.78	1.22
100.01	1.07	98.93	1.07
100.00	0.97	99.03	0.97
100.04	1.33	98.67	1.33

Fuente: Elaboración Propia

Con un promedio de:

$$\%Impurezas = 1.15\%$$

#### 4.1.2.2. Humedad

La determinación de la Humedad se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 4:5: Datos para Determinación de la Humedad del Maíz**

Fecha	%Humedad Maíz	Fecha	%Humedad Maíz
16/08/2018	13.4	28/08/2018	12.8
17/08/2018	12.7	28/08/2018	13.6
17/08/2018	12.5	29/08/2018	13.6
17/08/2018	13.3	28/08/2018	13.4
17/08/2018	11.6	31/08/2018	13.3
27/08/2018	12.5	03/09/2018	13.3
27/08/2018	13.59	03/09/2018	11.6
27/08/2018	12.8	04/09/2018	12.2

Fuente: Elaboración Propia

Teniendo un valor promedio de Humedad:

$$\%H = 12.89\%$$

#### 4.1.2.3. Materia Grasa

Las pruebas de caracterización de la materia prima se realizan en el laboratorio de Control de Calidad de Santa Cruz, cuyo informe se encuentra en el Anexo C.

**Tabla 4:6: Contenido de Materia Grasa del Maíz**

Muestra	Maíz
<b>Resultados</b>	
<b>Ensayo Realizado</b>	<b>Resultados</b>
Materia Grasa	0.49%

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad de Planta Santa Cruz

## 4.2. PRUEBAS PRELIMINARES EN COCIMIENTO

Las pruebas preliminares se realizan en el lúpulaje tomando como base la receta característica del proceso de Hervido cuyos parámetros son:

- Tiempo de Hervido Atmosférico 25 min
- Temperatura de Hervido Atmosférico 89°C
- pH en el Hervido Atmosférico de 5.2

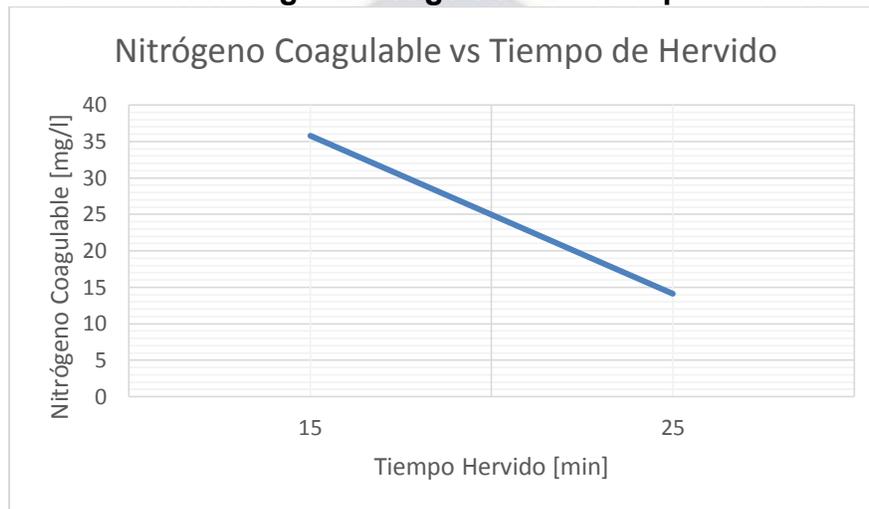
A partir de estos valores, se realizan las distintas pruebas preliminares para observar la influencia de los parámetros de hervido en la coagulación proteica.

#### 4.2.1. VARIACIÓN DEL TIEMPO

Para analizar la influencia del tiempo en el proceso de hervido atmosférico se realizan pruebas con una temperatura de 89°C y un pH de 5.1, variando los parámetros del tiempo de hervido entre 15 y 25 minutos según rangos permisibles de establecidos por la compañía.

Los resultados son graficados a continuación:

**Gráfico 4:1: Nitrógeno Coagulable vs Tiempo de Hervido**



Fuente: Elaboración Propia

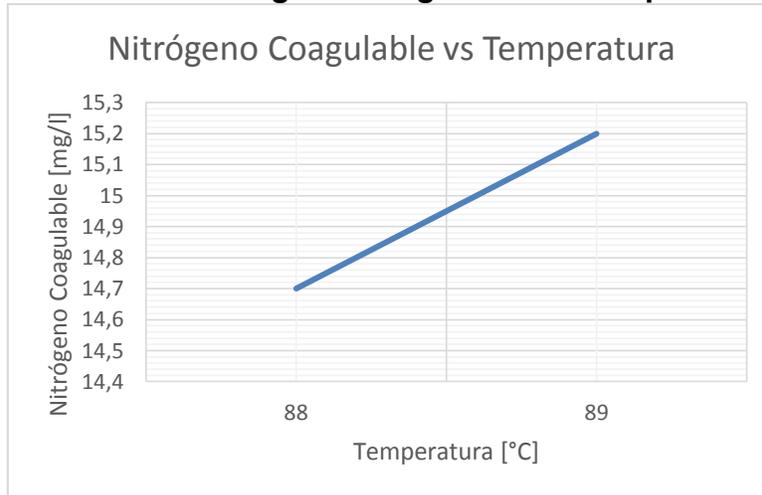
**Interpretación:** El gráfico muestra que para valores de tiempo de 25 minutos se logra el mayor grado de coagulación proteica, por lo que se plantea un diseño de dos niveles para dichos factores de tiempo.

#### 4.2.2. VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA

Para analizar la influencia de la temperatura en el proceso de hervido atmosférico se realizan pruebas con un tiempo de hervido atmosférico de 25 minutos y un pH de 5.1, variando los parámetros de temperatura entre 88 y 89°C según los rangos establecidos por la programación del PLC.

Los resultados son graficados a continuación:

**Gráfico 4:2: Nitrógeno Coagulable vs Temperatura**



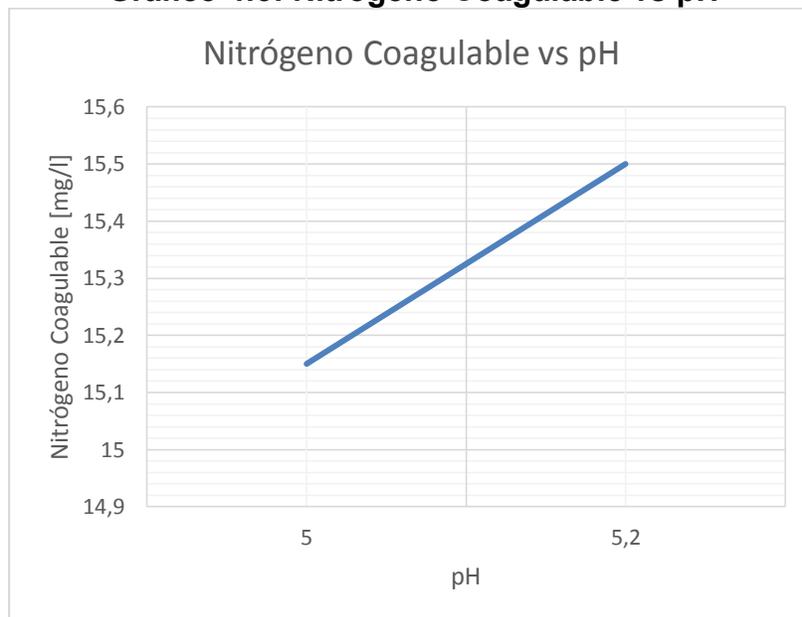
Fuente: Elaboración Propia

**Interpretación:** El gráfico muestra que no existe mucha variación con la influencia de las temperaturas y se tiene algo grado de coagulación en el rango de temperatura asignado.

#### 4.2.3. VARIACIÓN DEL PH

Para analizar la influencia del pH en el proceso de hervido atmosférico se realizan pruebas con un pH de hervido atmosférico de 25 minutos y una temperatura de 89°C, variando los parámetros de pH entre 5.0 y 5.2 según rangos óptimos que garantizan el crecimiento y desarrollo posterior de la levadura incluidos en las especificaciones de la compañía.

Los resultados son graficados a continuación:

**Gráfico 4:3: Nitrógeno Coagulable vs pH**

Fuente: Elaboración Propia

**Interpretación:** El gráfico muestra que no existe mucha variación con la influencia del pH y se tiene algo grado de coagulación en el rango de pH asignado.

#### 4.2.6. VARIABLES DEL PROCESO DE HERVIDO DE MOSTO

Para el presente proyecto se toman a continuación los siguientes factores:

**Tabla 4:7: Factores del diseño experimental**

FACTORES	
<b>A</b>	Tiempo de Hervido atmosférico (min)
<b>B</b>	Temperatura de Hervido (°C)
<b>C</b>	pH

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.7. DISEÑO EXPERIMENTAL

En el presente proyecto, se eligió trabajar con un diseño con dos niveles por cada factor, es decir diseño tipo  $2^k$ . En este caso los valores correspondientes a los dos niveles se codifican asignando al nivel más bajo el valor de 0 y al nivel alto el valor 1.

$$\#pruebas = 2^k$$

Donde:

k = número de factores

De acuerdo a las pruebas preliminares realizadas, se determina que las variables influyentes en el proceso de hervido de mosto son tres: el tiempo, la temperatura y el pH.

Como se tiene tres factores de estudio K=3:

$$\#pruebas = 2^3 = 8$$

La matriz de diseño experimental es la siguiente:

**Tabla 4:8: Niveles de factores del diseño experimental**

Niveles-Factores	BAJO	ALTO
Tiempo de Hervido atmosférico (min)	15	25
Temperatura de Hervido (°C)	88	89
pH	5.0	5.2

Fuente: Elaboración Propia

### 4.3. PROCESO DE HERVIDO

El proceso de hervido se efectuó según los niveles de factores planteados en la Tabla 4:8, mostrándose los datos experimentales obtenidos en el Anexo C.

A continuación, se muestran los resultados del contenido de Nitrógeno Coagulable del mosto de cada prueba realizada:

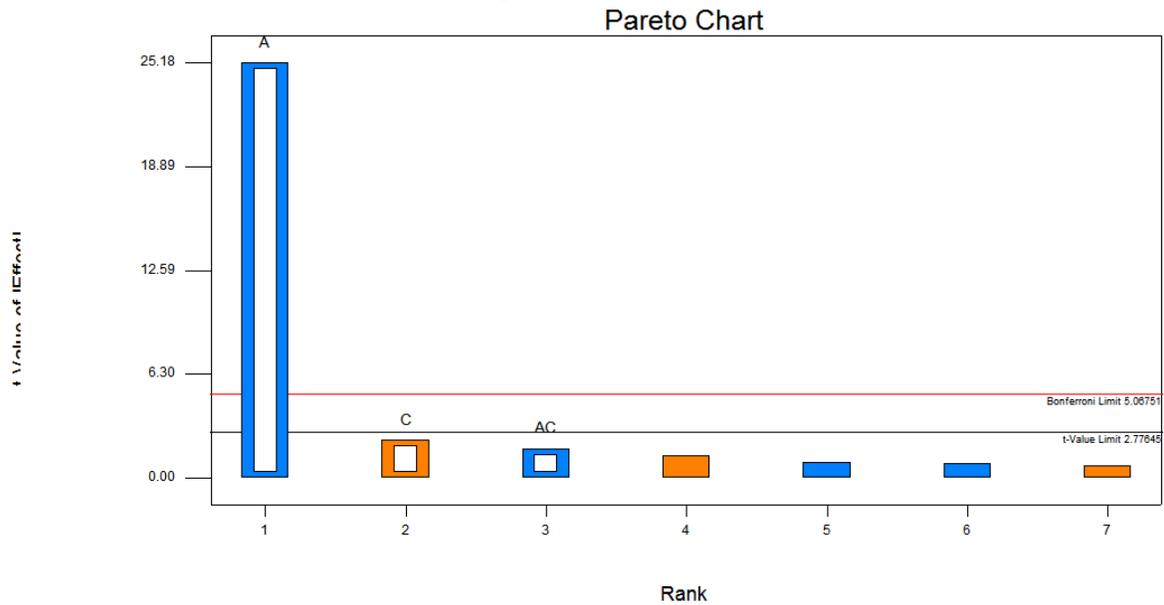
**Gráfico 4:4: Diseño Experimental del Hervido**

Run	Block	Factor 1 A:Tiempo minutos	Factor 2 B:Temperatura °C	Factor 3 C:pH	Response 1 Nitrógeno Coagulable mg/l
1	Block 1	25.00	88.00	5.20	15.2
2	Block 1	15.00	89.00	5.20	39.9
3	Block 1	15.00	88.00	5.20	36.6
4	Block 1	25.00	89.00	5.00	15.15
5	Block 1	15.00	89.00	5.00	35.1
6	Block 1	25.00	89.00	5.20	15.5
7	Block 1	25.00	88.00	5.00	14.7
8	Block 1	15.00	88.00	5.00	34.5

Fuente: Design Expert

Evaluando el Pareto de Factores con mayor influencia en el proceso de hervido se demuestra la importancia del tiempo de hervido:

**Gráfico 4:5: Diagrama de Pareto del Hervido**



Fuente: Design Expert

Empleando el software “Design Expert” tenemos la tabla ANOVA a continuación:

**Gráfico 4:6: Análisis de Varianza (ANOVA)**

ANOVA for selected factorial model					
Analysis of variance table [Partial sum of squares - Type III]					
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F
Model	926.93	3	308.98	214.15	< 0.0001
A-Tiempo	914.85	1	914.85	634.07	< 0.0001
C-pH	7.51	1	7.51	5.20	0.0847
AC	4.58	1	4.58	3.17	0.1496
Residual	5.77	4	1.44		
Cor Total	932.70	7			

Fuente: Design Expert

A continuación en el ajuste de modelo experimental tenemos los siguientes valores:

**Tabla 4:9: Ajuste del Modelo Experimental**

<b>Std. Dev.</b>	1.2	<b>R-Squared</b>	0.9938
<b>Mean</b>	25.83	<b>Adj R-Squared</b>	0.9892
<b>C.V. %</b>	4.65	<b>Pred R-Squared</b>	0.9752
<b>PRESS</b>	23.08	<b>Adeq Precision</b>	27.462

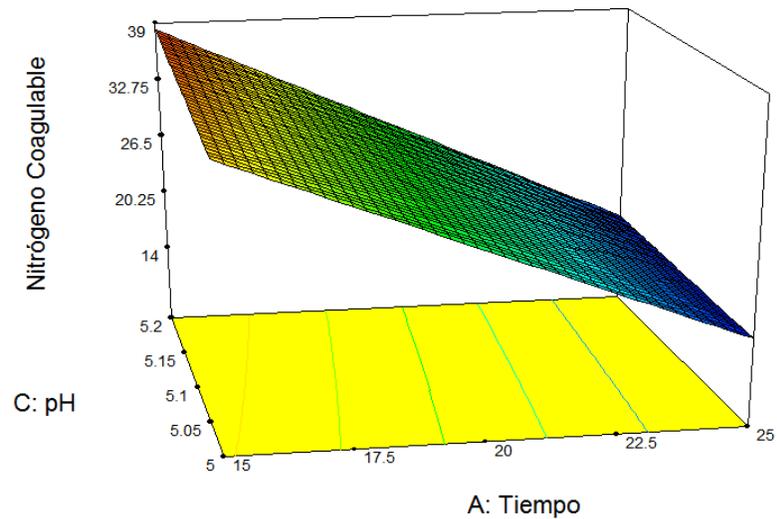
Fuente: Design Expert

Se tiene un buen grado de ajuste del modelo al ser próximo el valor a la unidad.

La superficie de Respuesta del proceso se muestra a continuación:

**Gráfico 4:7: Superficie de Respuesta**

Nitrógeno Coagulable  
 39.9  
 14.7  
 X1 = A: Tiempo  
 X2 = C: pH  
 Actual Factor  
 B: Temperatura = 88.50



Fuente: Design Expert

El modelo del proceso está descrito según la ecuación:

$$y = 25.83 - 10.69 \cdot A + 0.97 \cdot C - 0.76 \cdot AC$$

### 4.3.1. CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL PROCESO

Según la media del estándar se fija el objetivo de Nitrógeno Coagulable de 25 mg/l, para lo que los parámetros del proceso de hervido serán:

**Tabla 4:10: Mejores Condiciones del Proceso de Hervido**

FACTORES		Valores Óptimos
A	Tiempo de Hervido atmosférico (min)	20
B	Temperatura de Hervido (°C)	89
C	pH	5.1

Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico 4:8: Mejores Condiciones del Proceso de Hervido**

Criteria Solutions Graphs							
Solutions 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17							
Constraints							
Name	Goal	Lower Limit	Upper Limit	Lower Weight	Upper Weight	Importance	
Tiempo	is in range	15	25	1	1	3	
Temperatura	is target = 89.00	88	89	1	1	3	
pH	is in range	5	5.2	1	1	3	
Nitrógeno Coagu.	is target = 25	14.7	39.9	1	1	3	
Solutions							
Number	Tiempo	Temperatura	pH	Nitrógeno Coagu.	Desirability		
1	<u>20.25</u>	<u>89.00</u>	<u>5.07</u>	<u>25</u>	<u>1.000</u>		<u>Selected</u>
2	20.52	89.00	5.13	25	1.000		
3	20.36	89.00	5.09	25	1.000		
4	20.24	89.00	5.07	25	1.000		
5	20.78	89.00	5.20	25	1.000		
6	20.09	89.00	5.03	25	1.000		
7	19.97	89.00	5.01	25	1.000		
8	20.64	89.00	5.16	25	1.000		
9	20.79	89.00	5.20	25	1.000		
10	20.48	89.00	5.12	25	1.000		
11	20.45	89.00	5.12	25	1.000		
12	19.98	89.00	5.01	25	1.000		

Fuente: Design Expert

#### 4.4. CARACTERIZACIÓN DEL MOSTO

##### 4.4.1. PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS

Para la obtención del producto se realiza un cocimiento según los valores de los factores mostrados a continuación:

**Tabla 4:11: Condiciones del Proceso de Hervido**

FACTORES		Valores Óptimos
A	Tiempo de Hervido atmosférico (min)	20
B	Temperatura de Hervido (°C)	89
C	pH	5.1

Fuente: Elaboración Propia

Los parámetros fisicoquímicos determinados del mosto son:

**Gráfico 4:9: Resultados del Laboratorio de Control de Calidad**

CBN-Planta La Paz		Actualizar	Enviar	-CA-01-01 PLANILLA DE COCIMIENTO											
Semana	Lote	Tipo de mosto	TCC	Desde número de Cocimiento	Hasta número de Cocimiento	Fecha	Extracto	pH	Color	Extracto Aparente	Atenuación	Unid. de amargo	F.A.N. 12°P	Nitrogeno soluble	Nitrogeno coagulable 12 °P
							°P		EB	°P	%	BU	mg/l	mg/l	mg/l
36	135	Pilsener 14°P	17	1050-1058	1058	03-sep	14.38	5.15	7.83	2.26	84.28	27.00	190.00	843.60	25.99

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad Cervecería La Paz

Todos los parámetros se encuentran dentro de los estándares internos de mosto de la compañía.

Posteriormente viene el proceso de fermentación:

## 4.5. PRUEBAS PRELIMINARES EN FERMENTACIÓN

Las pruebas preliminares se realizan tomando como base la receta característica del proceso de fermentación empleado desde 2015 cuyos parámetros son:

- Cocimientos de dosificación de levadura 1-2-3
- Aireación de Mosto 10ppm
- Carga específica de levadura 0.94 l Levadura/hl Mosto
- Generación de Levadura (Segunda Generación)

A partir de estos valores, se realizan las distintas pruebas preliminares para observar la influencia de los parámetros en la fermentación en la generación de dióxido de azufre, algunos seguimientos a la Fermentación se muestran en el Anexo E.

### 4.5.1. VARIACIÓN DE LOS COCIMIENTOS CON DOSIFICACIÓN DE LEVADURA<sup>4</sup>

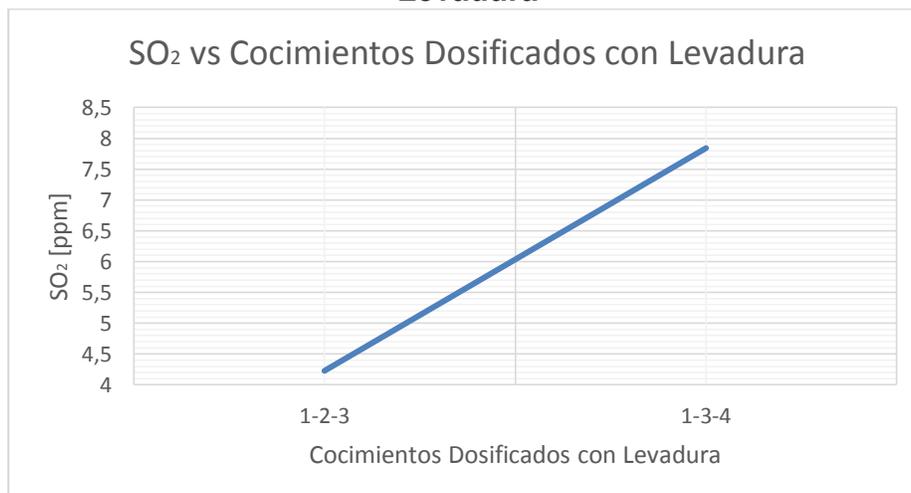
Para analizar la influencia de los cocimientos de dosificación de levadura en el proceso de fermentación se realizan pruebas con una aireación de 10 ppm, carga específica de 0.94 l/hl y Segunda Generación de levadura, variando la estrategia de dosificación de levadura entre los cocimientos N°1, 2 y 3, y los cocimientos N°1, 3 y 4 según especificaciones establecidas en la compañía.

Los resultados son graficados a continuación:

---

<sup>4</sup> Un lote consta de 9 Cocimientos, donde la levadura normalmente se adiciona a los primeros mostos. La denominación 1-2-3 indica que la levadura ha sido dosificada en los cocimientos N°1, 2 y 3. La denominación 1-3-4 indica que la levadura ha sido dosificada en los cocimientos N°1, 3 y 4.

**Gráfico 4:10: Dióxido de Azufre vs Cocimientos con Dosificación de Levadura**



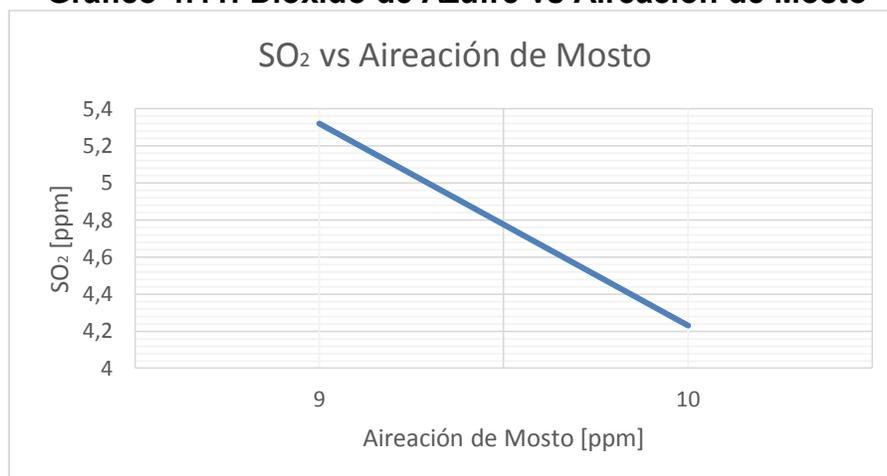
Fuente: Elaboración Propia

**Interpretación:** El gráfico muestra que para la dosificación de levadura aplicada en los cocimientos 1, 3 y 4 se logra el mayor grado de generación de dióxido de azufre, por lo que se plantea un diseño de dos niveles para dichos factores de dosificación.

#### 4.5.2. VARIACIÓN DE LA AIREACIÓN DE MOSTO

Para analizar la influencia de la aireación de mosto en el proceso de fermentación se realizan pruebas con una dosificación de levadura a los primeros 3 cocimientos, con una carga específica de 0.94 l/hl y con una segunda generación de levadura, variando los parámetros de aireación entre 9 y 10ppm según especificaciones establecidas en la compañía.

Los resultados son graficados a continuación:

**Gráfico 4:11: Dióxido de Azufre vs Aireación de Mosto**

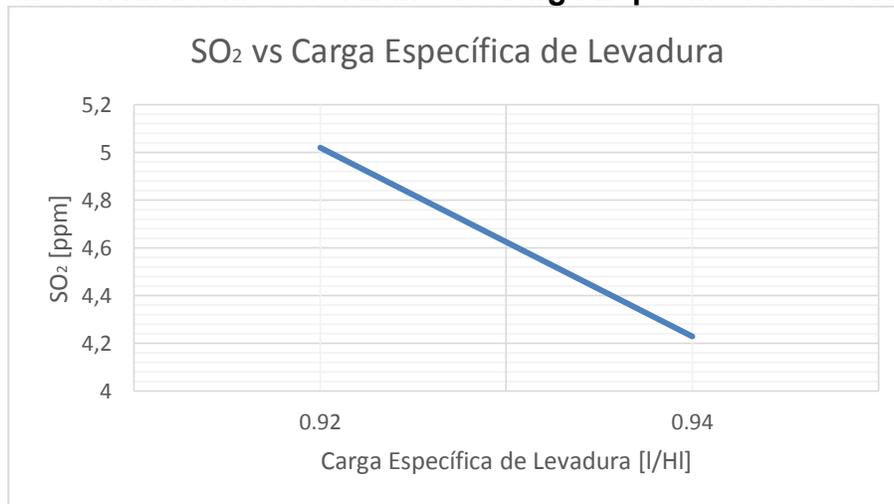
Fuente: Elaboración Propia

**Interpretación:** El gráfico muestra que para la aireación de mosto de 9 ppm se logra el mayor grado de generación de dióxido de azufre, por lo que se plantea un diseño de dos niveles para dichos factores de dosificación.

#### 4.5.3. VARIACIÓN DE LA CARGA ESPECÍFICA

Para analizar la influencia de la carga específica en el proceso de fermentación se realizaan pruebas con una dosificación de levadura en los primeros tres cocimientos, aireación de mosto de 10 ppm y segunda generación de levadura, variando los parámetros de carga específica entre 0.92 y 0.94 l/hl según especificaciones establecidas en la compañía.

Los resultados son graficados a continuación:

**Gráfico 4:12: Dióxido de Azufre vs Carga Específica de Levadura**

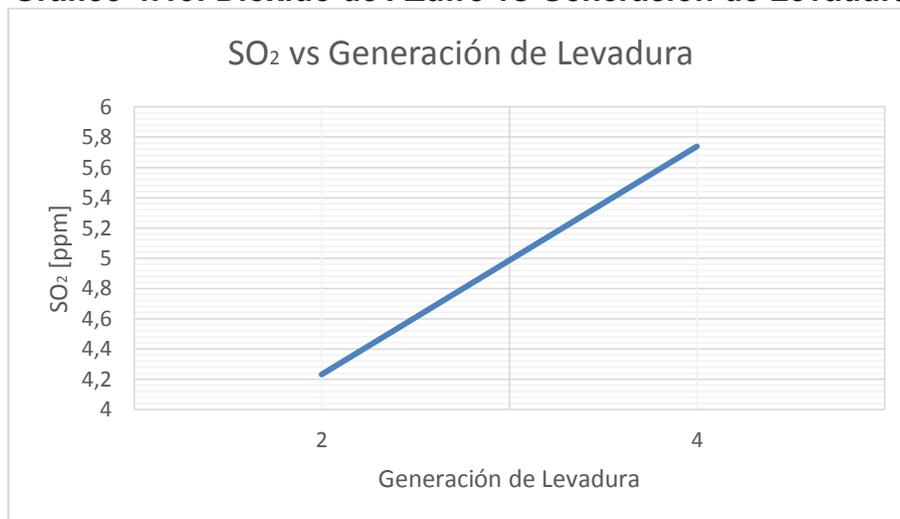
Fuente: Design Expert

**Interpretación:** El gráfico muestra que para la carga específica de levadura de 0.92 l/hl se logra el mayor grado de generación de dióxido de azufre, por lo que se plantea un diseño de dos niveles para dichos factores de dosificación.

#### 4.5.4. VARIACIÓN DE LA GENERACIÓN DE LEVADURA

Para analizar la influencia de la generación de levadura en el proceso de fermentación se realizan pruebas con una dosificación de levadura en los primeros tres cocimientos, aireación de mosto de 10 ppm y carga específica de levadura de 0.94 l/hl, variando los parámetros de generación de levadura entre la segunda y cuarta generación según rango de levaduras usadas con mayor frecuencia en la fermentación.

Los resultados son graficados a continuación:

**Gráfico 4:13: Dióxido de Azufre vs Generación de Levadura**

Fuente: Elaboración Propia

**Interpretación:** El gráfico muestra que para la levadura de cuarta generación se logra el mayor grado de generación de dióxido de azufre, por lo que se plantea un diseño de dos niveles para dichos factores de dosificación.

#### 4.5.6. VARIABLES DEL PROCESO DE FERMENTACIÓN

Para el presente proyecto se tomarán a continuación los siguientes factores:

**Tabla 4:12: Factores del diseño experimental**

FACTORES	
<b>A</b>	Cocimientos Dosificados
<b>B</b>	Aireación de Mosto (ppm)
<b>C</b>	Carga Específica de Levadura (l Levadura/hl Mosto)
<b>D</b>	Generación de Levadura

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.5.7. DISEÑO EXPERIMENTAL

En el presente proyecto, se eligió trabajar con un diseño con dos niveles por cada factor, es decir diseño tipo  $2^k$ . En este caso los valores correspondientes a los dos niveles se codifican asignando al nivel más bajo el valor de 0 y al nivel alto el valor 1.

$$\#pruebas = 2^k$$

Donde:

k = número de factores

De acuerdo a las pruebas preliminares realizadas, se determina que las variables influyentes en el proceso de fermentación son cuatro: los cocimientos a dosificar levadura, la aireación del mosto, la carga específica de levadura y la generación de levadura.

Como se tiene tres factores de estudio K=4:

$$\#pruebas = 2^4 = 16$$

La matriz de diseño experimental es la siguiente:

**Tabla 4:13: Niveles de factores del diseño experimental**

Niveles-Factores	BAJO	ALTO
Cocimientos Dosificados	1-2-3	1-3-4
Aireación de Mosto (ppm)	9	10
Carga Específica de Levadura (l Levadura/hl Mosto)	0.92	0.94
Generación de Levadura	2	4

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.6. PROCESO DE FERMENTACIÓN

El proceso de fermentación se efectúa según los niveles de factores planteados en la tabla anterior, mostrándose los datos experimentales obtenidos en el Anexo C.

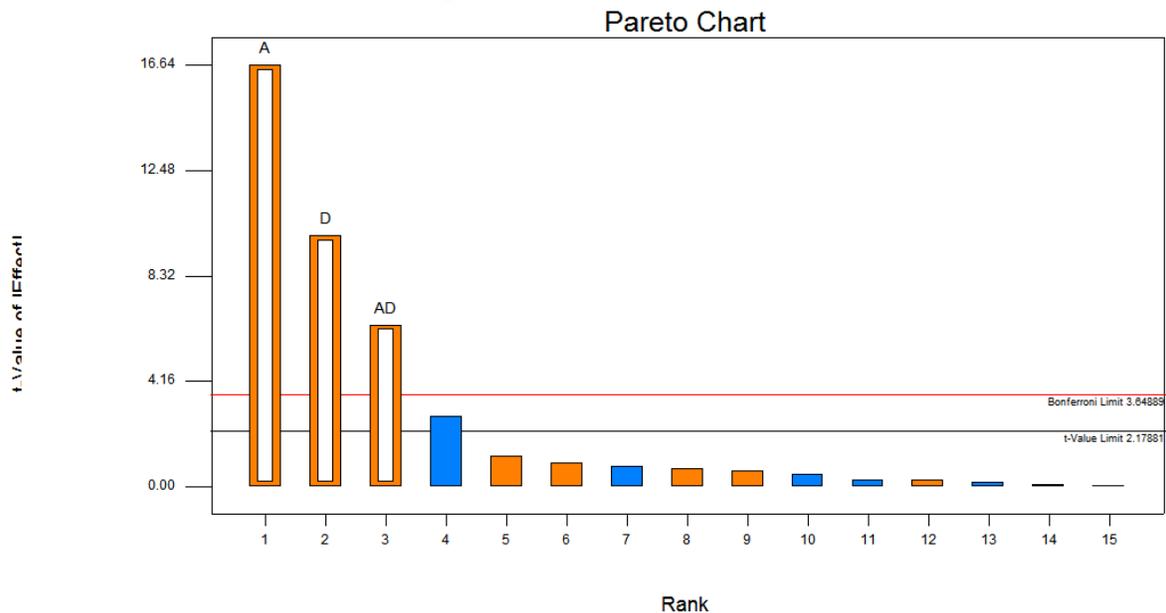
A continuación, se muestran los resultados de la generación de dióxido de azufre de cada prueba realizada:

**Gráfico 4:14: Diseño Experimental de la Fermentación**

Run	Block	Factor 1 A:Cocimientos	Factor 2 B:Aireación Me ppm	Factor 3 C:Carga Espec VHI	Factor 4 D:Generación N°	Response 1 SO2 mg/l
1	Block 1	1-3-4	9.00	0.94	2.00	8.31
2	Block 1	1-2-3	10.00	0.92	4.00	5.44
3	Block 1	1-2-3	9.00	0.92	2.00	5.58
4	Block 1	1-3-4	10.00	0.94	4.00	12.4
5	Block 1	1-2-3	9.00	0.94	4.00	6.22
6	Block 1	1-2-3	10.00	0.94	4.00	5.74
7	Block 1	1-3-4	9.00	0.92	2.00	8.14
8	Block 1	1-3-4	9.00	0.94	4.00	12.44
9	Block 1	1-2-3	9.00	0.94	2.00	5.32
10	Block 1	1-3-4	9.00	0.92	4.00	13.45
11	Block 1	1-3-4	10.00	0.94	2.00	7.84
12	Block 1	1-2-3	10.00	0.92	2.00	5.02
13	Block 1	1-3-4	10.00	0.92	4.00	11.8
14	Block 1	1-3-4	10.00	0.92	2.00	7.44
15	Block 1	1-2-3	9.00	0.92	4.00	6.725
16	Block 1	1-2-3	10.00	0.94	2.00	4.23

Fuente: Design Expert

Evaluando el Pareto de Factores con mayor influencia en el proceso de fermentación se tienen los siguientes factores:

**Gráfico 4:15: Diagrama de Pareto de la Fermentación**

Fuente: Design Expert

Empleando el software “Design Expert” tenemos la tabla ANOVA a continuación:

**Gráfico 4:16: Análisis de Varianza (ANOVA)**

Response	1	SO2				
<b>ANOVA for selected factorial model</b>						
<b>Analysis of variance table [Partial sum of squares - Type III]</b>						
	<b>Sum of</b>		<b>Mean</b>	<b>F</b>	<b>p-value</b>	
<b>Source</b>	<b>Squares</b>	<b>df</b>	<b>Square</b>	<b>Value</b>	<b>Prob &gt; F</b>	
Model	132.21	3	44.07	138.50	< 0.0001	significant
A-Cocimientos	88.10	1	88.10	276.86	< 0.0001	
D-Generación	31.18	1	31.18	97.98	< 0.0001	
AD	12.93	1	12.93	40.64	< 0.0001	
Residual	3.82	12	0.32			
Cor Total	136.03	15				

Fuente: Design Expert

A continuación, en el ajuste de modelo experimental tenemos los siguientes valores:

**Tabla 4:14: Ajuste del Modelo Experimental**

<b>Std. Dev.</b>	0.56	<b>R-Squared</b>	0.9719
<b>Mean</b>	7.88	<b>Adj R-Squared</b>	0.9649
<b>C.V. %</b>	7.16	<b>Pred R-Squared</b>	0.9501
<b>PRESS</b>	6.79	<b>Adeq Precision</b>	26.538

Fuente: Design Expert

Se tiene un buen grado de ajuste del modelo al ser próximo el valor a la unidad.

El modelo del proceso está descrito según la ecuación:

$$y = 7.88 + 2.35 \cdot A + 1.40 \cdot D - 0.90 \cdot AD$$

#### 4.6.1. CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL PROCESO

Para el objetivo del proyecto, se busca maximizar la generación de dióxido de azufre para así eliminar el MKS añadido en filtración, por lo que las mejores condiciones del proceso para una Levadura de Cuarta Generación:

**Tabla 4:15: Mejores Condiciones del Proceso de Fermentación**

FACTORES		Valores Óptimos
<b>A</b>	Cocimientos Dosificados	1-3-4
<b>B</b>	Aireación de Mosto (ppm)	9
<b>C</b>	Carga Específica de Levadura (l Levadura/hl Mosto)	0.92
<b>D</b>	Generación de Levadura	4

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 4:17: Mejores Condiciones del Proceso de Fermentación

Criteria		Solutions		Graphs															
Solutions	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
<b>Constraints</b>																			
Name	Goal	Lower Limit	Upper Limit	Lower Weight	Upper Weight	Importance													
Cocimientos Dos	is in range	1-2-3	1-3-4	1	1	3													
Aireación Mosto	is in range	9	10	1	1	3													
Carga Específica	is in range	0.92	0.94	1	1	3													
Generación de L	is in range	2	4	1	1	3													
SO2	maximize	4.23	13.45	1	1	3													
<b>Solutions for 2 combinations of categoric factor levels</b>																			
Number	Cocimientos DA	Aireación Mos	Carga Específica	Generación de	SO2	Desirability	Selected												
1	1-3-4	9.00	0.92	4.00	13.0398	0.956	Selected												
2	1-3-4	9.00	0.92	4.00	13.0383	0.955													
3	1-3-4	9.00	0.92	4.00	13.0354	0.955													
4	1-3-4	9.00	0.92	4.00	13.0325	0.955													
5	1-3-4	9.00	0.92	4.00	13.0246	0.954													
6	1-3-4	9.00	0.92	4.00	13.0169	0.953													
7	1-3-4	9.00	0.92	3.99	13.006	0.952													
8	1-3-4	9.00	0.92	4.00	12.9848	0.950													
9	1-3-4	9.00	0.93	4.00	12.9695	0.948													
10	1-3-4	9.00	0.93	4.00	12.9404	0.945													
11	1-3-4	9.00	0.93	4.00	12.9398	0.945													

Fuente: Design Expert

Para una Levadura de Tercera Generación:

Tabla 4:16: Mejores Condiciones del Proceso de Fermentación

FACTORES		Valores Óptimos
A	Cocimientos Dosificados	1-3-4
B	Aireación de Mosto (ppm)	9
C	Carga Específica de Levadura (l Levadura/hl Mosto)	0.92
D	Generación de Levadura	3

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 4:18: Mejores Condiciones del Proceso de Fermentación

		Lower	Upper	Lower	Upper		
Name	Goal	Limit	Limit	Weight	Weight	Importance	
Cocimientos Dos	is in range	1-2-3	1-3-4	1	1	3	
Aireación Mosto	is in range	9	10	1	1	3	
Carga Especifica	is in range	0.92	0.94	1	1	3	
Generación de L	is target = 3.00	2	4	1	1	3	
SO2	maximize	4.23	13.45	1	1	3	

Solutions for 2 combinations of categoric factor levels							
Number	Cocimientos D	Aireación Mos	Carga Especifica	Generación de	SO2	Desirability	
1	1-3-4	9.00	0.92	3.00	10.6973	0.837	Selected
2	1-3-4	9.01	0.92	3.00	10.6916	0.837	
3	1-3-4	9.00	0.92	3.00	10.6864	0.837	
4	1-3-4	9.01	0.92	3.00	10.6864	0.837	
5	1-3-4	9.00	0.92	3.00	10.6854	0.837	
6	1-3-4	9.00	0.92	3.00	10.6828	0.837	
7	1-3-4	9.00	0.92	3.00	10.6757	0.836	
8	1-3-4	9.04	0.92	3.00	10.6586	0.835	
9	1-3-4	9.00	0.92	3.00	10.657	0.835	
10	1-3-4	9.00	0.92	3.00	10.6558	0.835	
11	1-3-4	9.00	0.93	3.00	10.6184	0.832	
12	1-3-4	9.00	0.93	3.00	10.6121	0.832	

Fuente: Design Expert

Para una Levadura de Segunda Generación:

Tabla 4:17: Mejores Condiciones del Proceso de Fermentación

FACTORES		Valores Óptimos
A	Cocimientos Dosificados	1-3-4
B	Aireación de Mosto (ppm)	9
C	Carga Especifica de Levadura (l Levadura/hl Mosto)	0.92
D	Generación de Levadura	2

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 4:19: Mejores Condiciones del Proceso de Fermentación

Criteria							Solutions							Graphs											
Solutions							1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
<b>Constraints</b>																									
Name	Goal	Lower Limit	Upper Limit	Lower Weight	Upper Weight	Importance																			
Cocimientos Dos	is in range	1-2-3	1-3-4	1	1	3																			
Aireación Mosto	is in range	9	10	1	1	3																			
Carga Específica	is in range	0.92	0.94	1	1	3																			
Generación de L	is target = 2.00	2	4	1	1	3																			
SO2	maximize	4.23	13.45	1	1	3																			
<b>Solutions for 2 combinations of categoric factor levels</b>																									
Number	Cocimientos DA	Aireación Mos	Carga Específica	Generación de	SO2	Desirability																			
1	1-3-4	9.00	0.92	2.12	8.63947	0.670	<u>Selected</u>																		
2	1-3-4	9.00	0.92	2.13	8.65746	0.670																			
3	1-3-4	9.00	0.92	2.11	8.60657	0.670																			
4	1-3-4	9.00	0.92	2.18	8.77753	0.670																			
5	1-3-4	9.01	0.92	2.12	8.63692	0.670																			
6	1-3-4	9.00	0.92	2.14	8.68512	0.670																			
7	1-3-4	9.01	0.92	2.11	8.60933	0.670																			
8	1-3-4	9.00	0.92	2.12	8.62516	0.670																			
9	1-3-4	9.00	0.92	2.04	8.44898	0.670																			
10	1-3-4	9.01	0.92	2.07	8.50829	0.669																			
11	1-3-4	9.02	0.92	2.14	8.678	0.669																			
12	1-3-4	9.03	0.92	2.13	8.64255	0.668																			

Fuente: Design Expert

Para la eliminación del MKS, se comprueba mediante el cálculo de dilución<sup>5</sup>, cuánto estará en Producto Terminado para cada generación:

<sup>5</sup> El factor de dilución de la cerveza concentrada en filtración viene a ser aproximadamente de 1:1.33 con agua desaireada (libre de oxígeno)

**Tabla 4:18: Mejores Condiciones de Fermentación<sup>6</sup>**

Generación de Levadura	SO <sub>2</sub> en Fermentación [mg/l]	SO <sub>2</sub> en Producto Terminado [mg/l]
2	8.60	6.45
3	10.70	8.03
4	13.00	9.75

Fuente: Elaboración Propia

## 4.7. CARACTERIZACIÓN DE LA CERVEZA VERDE

### 4.7.1. PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS

Para la obtención del producto de la fermentación se realiza según los valores de los factores mostrados a continuación:

**Tabla 4:19: Condiciones del Proceso de Fermentación**

FACTORES		Valores Óptimos
A	Cocimientos Dosificados	1-3-4
B	Aireación de Mosto (ppm)	9
C	Carga Específica de Levadura (l Levadura/hl Mosto)	0.92
D	Generación de Levadura	2

Fuente: Elaboración Propia

Los parámetros fisicoquímicos determinados de la cerveza verde fueron:

**Gráfico 4:20: Reultados del Laboratorio de Control de Calidad**

CBN-Planta La Paz					Actualizar	Enviar	CA-01-01 PLANILLA DE FIN DE REPOS										
SEMANA	FECHA FR	Tipo	Lote	TCC	Color	PH	Extracto aparente	Extracto Real	Extracto Original	Atenuación	Alcohol p/p	Alcohol v/v	Unidades de amargo	RDF	Diacetilo Guarda Caliente	FAN	SO <sub>2</sub>
					EBC		°P	°P	°P	%	%PIP	%VVV	ppm		ppb		ppm
37	14-sep	Pilsener 14°P	135	17	7.04	4.18	2.73	5.17	14.02	80.53	4.89	6.26	21.69	64.85	77	75.12	8.34

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad Cervecería La Paz

<sup>6</sup> Las generaciones de levadura con las que se trabajan en la compañía abarcan desde la propagación hasta la cuarta generación en su mayoría

Y los parámetros fisicoquímicos determinados en Producto Terminado fueron:

**Gráfico 4:21: Resultados del Laboratorio de Control de Calidad**

Semana	Calibre	Tipo de cerveza	Lote Coccimiento	Lote Medidora	TCC	Medidora	Fecha de producción	Código de envasado	Color	pH	Extracto aparente	Extracto Original	Alcohol	Alcohol	SO <sub>2</sub>
									EBC		g/100g	g/100g	% p/p	% v/v	mg/l
38	620	Pilsener	135	751	17	7	21-sep-18	264P1851	5.06	4.13	2.23	10.96	3.58	4.60	6.50

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad Cervecería La Paz

Todos los parámetros se encuentran dentro de los estándares de la compañía.

Posteriormente viene el proceso de filtración:

#### 4.8. PRUEBAS PRELIMINARES EN FILTRACIÓN

Las pruebas preliminares se realizan tomando como base la receta característica del proceso de filtración empleado desde 2015 cuyos parámetros son:

- Dosificación de Alginato de 2 g/hl
- Dosificación de PVPP de 25 g/hl
- Dosificación de Tetrahop de 0 g/hl (la receta original no tiene tetrahop)

A partir de estos valores, se realizan las distintas pruebas preliminares para observar la influencia de los parámetros en la filtración principalmente en la Estabilidad de Espuma, además de las unidades de Amargor y la Estabilidad Coloidal<sup>7</sup>.

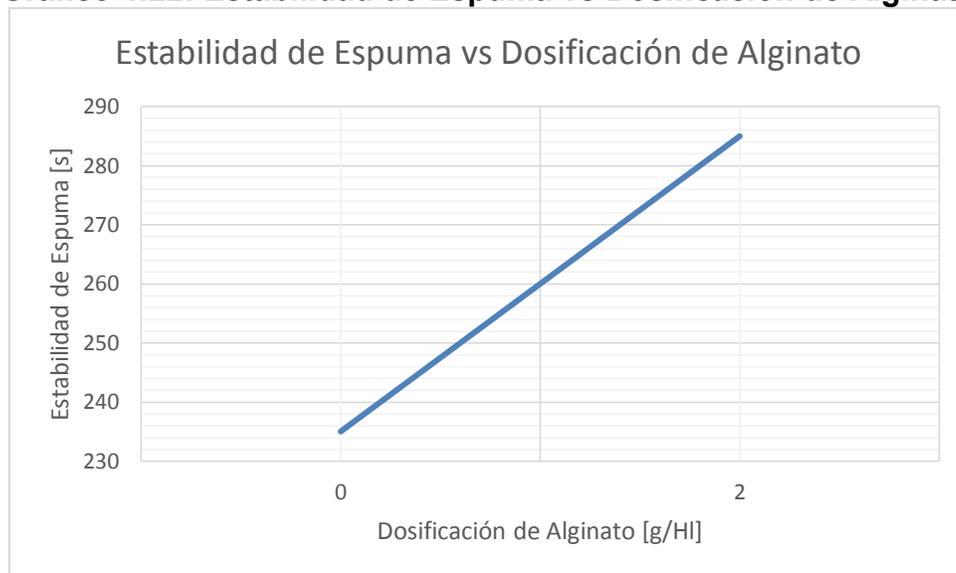
##### 4.8.1. VARIACIÓN DE LA DOSIFICACIÓN DE ALGINATO

Para analizar la influencia de la dosificación de alginato en el proceso de filtración se realizan pruebas con una dosificación de PVP de 25 g/hl y sin dosificación de Tetrahop, variando la dosis del Alginato entre 0 y 2 g/hl.

<sup>7</sup> Las unidades de amargor se incrementarán al adicionar el lúpulo tetrahop y la Estabilidad Coloidal descenderá a medida que se disminuyan los aditivos, especialmente el Alginato. Sin embargo, se evaluará la variación de la Espuma con las distintas dosificaciones de aditivos.

Los resultados son graficados a continuación:

**Gráfico 4:22: Estabilidad de Espuma vs Dosificación de Alginato**



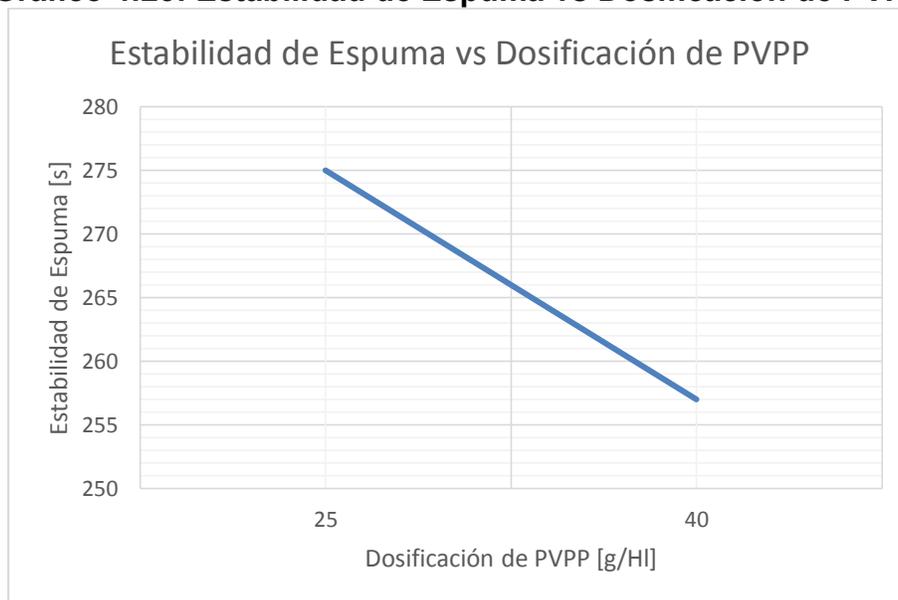
Fuente: Elaboración Propia

**Interpretación:** El gráfico muestra que para la dosificación de alginato de 2 g/hl se logra el mayor grado de estabilidad de espuma, por lo que se plantea un diseño de dos niveles para dichos factores de dosificación.

#### 4.8.2. VARIACIÓN DE LA DOSIFICACIÓN DE PVPP

Para analizar la influencia de la dosificación de PVPP en el proceso de filtración se realizaron pruebas con una dosificación de alginato de 2 g/hl y sin dosificación de Tetrahop, variando la dosis del PVPP entre 25 y 40 g/hl.

Los resultados son graficados a continuación:

**Gráfico 4:23: Estabilidad de Espuma vs Dosificación de PVPP**

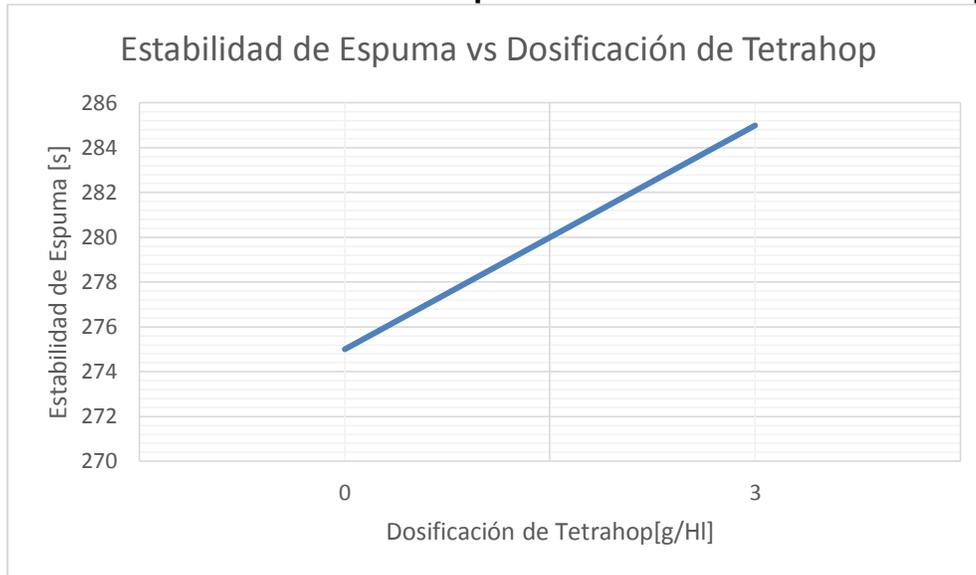
Fuente: Elaboración Propia

**Interpretación:** El gráfico muestra que para la dosificación de 25 g/hl de PVPP se logra el mayor grado de Estabilidad de Espuma, por lo que se plantea un diseño de dos niveles para dichos factores de dosificación.

#### 4.8.3. VARIACIÓN DE LA DOSIFICACIÓN DE TETRAHOP

Para analizar la influencia de la dosificación de Tetrahop en el proceso de filtración se realizan pruebas con una dosificación de alginato de 2 g/hl y dosificación de PVPP de 25 g/hl, variando la dosis de tetrahop entre 0 y 3 g/hl.

Los resultados son graficados a continuación:

**Gráfico 4:24: Estabilidad de Espuma vs Dosificación de Tetrahop**

Fuente: Elaboración Propia

**Interpretación:** El gráfico muestra que para la dosificación de 3 g/hl de Tetrahop se logra el mayor grado de Estabilidad de Espuma, por lo que se plantea un diseño de dos niveles para dichos factores de dosificación.

#### 4.8.6. VARIABLES DEL PROCESO DE FILTRACIÓN

Para el proyecto se toman a continuación los siguientes factores:

**Tabla 4:20: Factores del diseño experimental**

FACTORES	
<b>A</b>	Dosificación de Alginato (g/hl)
<b>B</b>	Dosificación de PVPP (g/hl)
<b>C</b>	Dosificación de Tetrahop (g/hl)

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.8.7. DISEÑO EXPERIMENTAL

En el proyecto, se elige trabajar con un diseño con dos niveles por cada factor, es decir diseño tipo  $2^k$ . En este caso los valores correspondientes a los dos niveles se codifican asignando al nivel más bajo el valor de 0 y al nivel alto el valor 1.

$$\#pruebas = 2^k$$

Donde:

k = número de factores

De acuerdo a las pruebas preliminares realizadas, se determina que las variables influyentes en el proceso de filtración de mosto son tres: la dosificación de alginato, PVPP y Tetrahop.

Como se tiene tres factores de estudio K=3:

$$\#pruebas = 2^3 = 8$$

La matriz de diseño experimental es la siguiente:

**Tabla 4:21: Niveles de factores del diseño experimental**

Niveles-Factores	BAJO	ALTO
Dosificación de Alginato (g/hl)	0	2
Dosificación de PVPP (g/hl)	25	40
Dosificación de Tetrahop (g/hl)	0	3

Fuente: Elaboración Propia

Las respuestas a analizar vendrán a ser por orden de importancia: la Estabilidad de Espuma, las Unidades de Amargo y la Estabilidad Coloidal.

#### 4.9. PROCESO DE FILTRACIÓN

El proceso de filtración se efectúa según los niveles de factores planteados en la tabla anterior, mostrándose los datos experimentales obtenidos en el Anexo C.

A continuación, se muestran los resultados de cada prueba realizada:

**Gráfico 4:25: Diseño Experimental de la Filtración<sup>8</sup>**

Run	Block	Factor 1 A:Alginato g/Hl	Factor 2 B:PVPP g/Hl	Factor 3 C:Tetrahop g/Hl	Response 1 Estabilidad Col EBC	Response 2 Espuma s	Response 3 Amargo IBU
1	Block 1	2.00	40.00	3.00	4.48	315	17.52
2	Block 1	0.00	25.00	3.00	1.6	285	16.74
3	Block 1	0.00	25.00	0.00	0.11	235	14.31
4	Block 1	2.00	40.00	0.00	1.71	257	14.8
5	Block 1	2.00	25.00	0.00	4.45	275	14.5
6	Block 1	2.00	25.00	3.00	4.51	285	16.84
7	Block 1	0.00	40.00	3.00	0.51	287	16.97
8	Block 1	0.00	40.00	0.00	0.45	237	14.41

Fuente: Design Expert

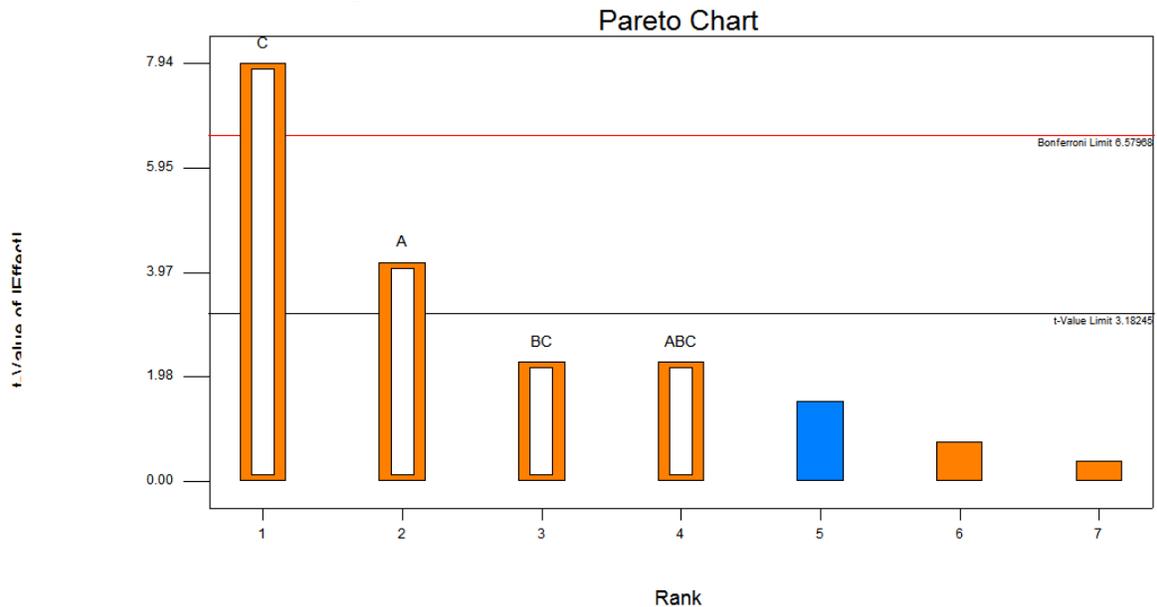
Las variables respuesta determinadas en este proceso por orden de importancia vienen a ser el Amargo, la Espuma y la Estabilidad Coloidal, ya que al eliminar el Alginato de la receta, la Espuma y la Estabilidad Coloidal bajarían, por lo que se ve la necesidad de adicionar Lúpulo Tetrahop para mejorar la Espuma. Por otro lado, la adición del PVPP permite la ruptura de enlaces de proteína-polifenol que ayudará a descender la estabilidad coloidal evitando la formación de partículas tras el envejecimiento del producto en el mercado durante el tiempo de vida útil de 6 meses.

#### 4.9.1. ESTABILIDAD DE ESPUMA

Evaluando el Pareto de Factores con mayor influencia en la Estabilidad de Espuma en el proceso de filtración se tienen los siguientes factores:

<sup>8</sup> Rango de los factores definidos por las Especificaciones Internas de la Compañía

Gráfico 4:26: Diagrama de Pareto para la Estabilidad de Espuma



Fuente: Design Expert

Empleando el software “Design Expert” tenemos la tabla ANOVA a continuación:

Gráfico 4:27: Análisis de Varianza (ANOVA)

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value	Prob > F	Significance
Model	5072.00	4	1268.00	22.64	0.0141		significant
A-Alginato	968.00	1	968.00	17.29	0.0253		
C-Tetrahop	3528.00	1	3528.00	63.00	0.0042		
BC	288.00	1	288.00	5.14	0.1081		
ABC	288.00	1	288.00	5.14	0.1081		
Residual	168.00	3	56.00				
Cor Total	5240.00	7					

Fuente: Design Expert

En el ajuste de modelo experimental se tienen los siguientes valores:

**Tabla 4:22: Ajuste del Modelo Experimental**

<b>Std. Dev.</b>	7.48	<b>R-Squared</b>	0.9679
<b>Mean</b>	272	<b>Adj R-Squared</b>	0.9252
<b>C.V. %</b>	2.75	<b>Pred R-Squared</b>	0.7720
<b>PRESS</b>	1194.67	<b>Adeq Precision</b>	12.846

Fuente: Design Expert

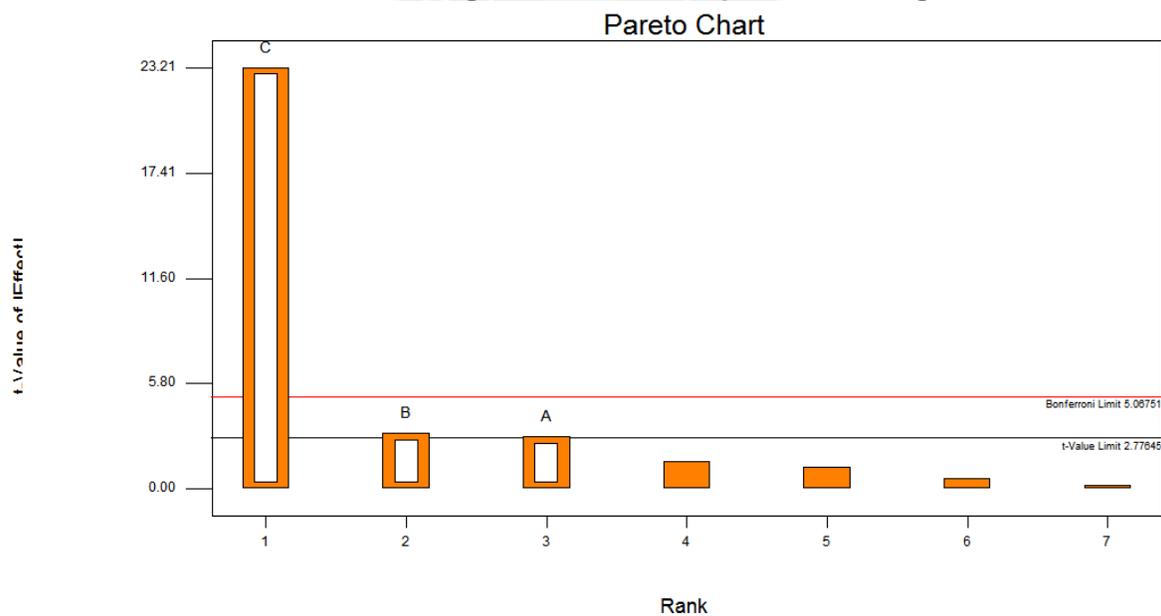
Se obtiene un buen grado de ajuste del modelo al ser próximo el valor a la unidad.

El modelo del proceso está descrito según la ecuación:

$$y = 272 + 11 \cdot A + 21 \cdot C + 6 \cdot BC + 6 \cdot ABC$$

#### 4.9.2. AMARGO

Evaluando el Pareto de Factores con mayor influencia en las unidades de Amargo en el proceso de filtración se tienen los siguientes factores:

**Gráfico 4:28: Diagrama de Pareto para el Amargor**

Empleando el software “Design Expert” tenemos la tabla ANOVA a continuación:

Gráfico 4:29: Análisis de Varianza (ANOVA)

Response 3 Amargo						
ANOVA for selected factorial model						
Analysis of variance table [Partial sum of squares - Type III]						
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	13.03	3	4.34	185.30	< 0.0001	significant
A-Alginato	0.19	1	0.19	8.07	0.0468	
B-PVPP	0.21	1	0.21	9.15	0.0390	
C-Tetrahop	12.63	1	12.63	538.68	< 0.0001	
Residual	0.094	4	0.023			
Cor Total	13.12	7				

Fuente: Design Expert

A continuación en el ajuste de modelo experimental tenemos los siguientes valores:

Tabla 4:23: Ajuste del Modelo Experimental

Std. Dev.	0.15	R-Squared	0.9929
Mean	15.76	Adj R-Squared	0.9875
C.V. %	0.97	Pred R-Squared	0.9714
PRESS	0.37	Adeq Precision	29.075

Fuente: Design Expert

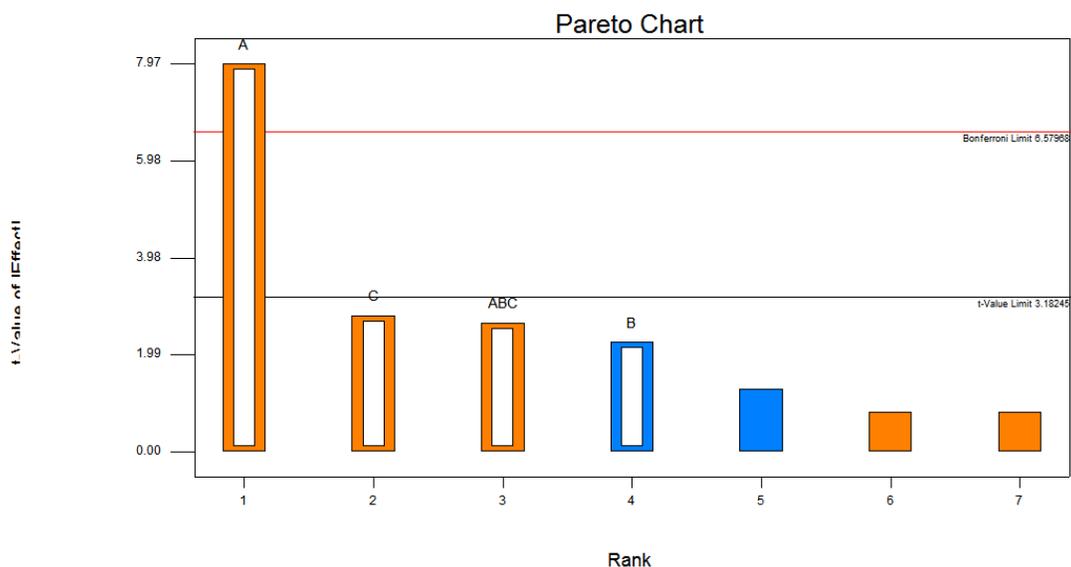
Se tiene un buen grado de ajuste del modelo al ser próximo el valor a la unidad.

El modelo del proceso está descrito según la ecuación:

$$y = 15.76 + 0.15 \cdot A + 0.16 \cdot B + 1.26 \cdot C$$

#### 4.9.3. ESTABILIDAD COLOIDAL

Evaluando el Pareto de Factores con mayor influencia en la Estabilidad Coloidal en el proceso de filtración se obtienen los siguientes factores:

**Gráfico 4:30: Diagrama de Pareto para la Estabilidad Coloidal**

Fuente: Design Expert

Empleando el software “Design Expert” se tiene la tabla ANOVA a continuación:

**Gráfico 4:31: Análisis de Varianza (ANOVA)**

ANOVA for selected factorial model						
Analysis of variance table [Partial sum of squares - Type III]						
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value	
Model	25.56	4	6.39	20.84	0.0158	significant
A-Alginato	19.47	1	19.47	63.51	0.0041	
B-PVPP	1.55	1	1.55	5.05	0.1102	
C-Tetrahop	2.40	1	2.40	7.82	0.0680	
ABC	2.14	1	2.14	6.99	0.0774	
Residual	0.92	3	0.31			
Cor Total	26.48	7				

Fuente: Design Expert

A continuación, en el ajuste de modelo experimental se tiene los siguientes valores:

**Tabla 4:24: Ajuste del Modelo Experimental**

<b>Std. Dev.</b>	0.55	<b>R-Squared</b>	0.9653
<b>Mean</b>	2.23	<b>Adj R-Squared</b>	0.9190
<b>C.V. %</b>	24.86	<b>Pred R-Squared</b>	0.7530
<b>PRESS</b>	6.54	<b>Adeq Precision</b>	9.984

Fuente: Design Expert

Se obtiene un buen grado de ajuste del modelo al ser próximo el valor a la unidad.

El modelo del proceso está descrito según la ecuación:

$$y = 2.23 + 1.56 \cdot A - 0.44 \cdot B + 0.55 \cdot C + 0.55 \cdot C + 0.52 \cdot ABC$$

#### 4.9.4. CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL PROCESO

Para el objetivo del proyecto, se busca maximizar la Estabilidad de Espuma, optimizar las unidades de Amargo en un valor promedio de 17 IBUs y minimizar la Estabilidad Coloidal, conjunto a la eliminación del Alginato en la cerveza, por lo que las mejores condiciones del proceso para la Filtración son:

**Tabla 4:25: Mejores Condiciones del Proceso de Fermentación**

<b>FACTORES</b>		<b>Valores Óptimos</b>
<b>A</b>	Dosificación de Alginato (g/hl)	0
<b>B</b>	Dosificación de PVPP (g/hl)	40
<b>C</b>	Dosificación de Tetrahop (g/hl)	3

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 4:32: Mejores Condiciones del Proceso de Filtración

Criteria		Solutions		Graphs									
Solutions		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Constraints</b>													
Name	Goal	Lower Limit	Upper Limit	Lower Weight	Upper Weight	Importance							
Alginato	is target = 0.00	0	2	1	1	3							
PVPP	is in range	25	40	1	1	3							
Tetrahop	is in range	0	3	1	1	3							
Estabilidad Coloi	minimize	0.11	4.51	1	1	3							
Espuma	maximize	235	315	1	1	3							
Amargo	is target = 17	14.31	17.52	1	1	3							
<b>Solutions</b>													
Number	Alginato	PVPP	Tetrahop	Estabilidad Col	Espuma	Amargo	Desirability						
1	0.00	40.00	2.97	0.256862	281.541	17	0.866	Selected					
2	0.00	39.94	2.97	0.264593	281.563	17	0.866						
3	0.00	39.84	2.97	0.277026	281.599	17	0.865						
4	0.00	39.56	2.98	0.31244	281.7	17	0.864						
5	0.03	40.00	2.96	0.310265	281.904	16.9996	0.862						
6	0.00	38.72	3.00	0.420916	281.99	16.9989	0.859						
7	0.05	39.93	2.96	0.368465	282.274	17	0.858						
8	0.03	38.59	3.00	0.491034	282.417	17	0.855						
9	0.09	40.00	2.95	0.43341	282.763	17	0.853						
10	0.20	40.00	2.93	0.675055	284.421	16.9997	0.834						
11	0.22	37.18	3.00	1.03407	285.263	17	0.815						
12	0.00	31.58	3.00	1.33236	282	16.8437	0.795						

Fuente: Design Expert

## 4.10. CARACTERIZACIÓN DE LA CERVEZA FILTRADA

### 4.10.1. PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS

Para la obtención del producto de la filtración se realiza según los valores de los factores mostrados a continuación:

Tabla 4:26: Condiciones del Proceso de Fermentación

FACTORES		Valores Óptimos
A	Dosificación de Alginato (g/hl)	0
B	Dosificación de PVPP (g/hl)	40
C	Dosificación de Tetrahop (g/hl)	3

Fuente: Elaboración Propia

Los parámetros fisicoquímicos determinados de la cerveza filtración son:

**Gráfico 4:33: Resultados del Laboratorio de Control de Calidad**

Semana	Calibre	Tipo de cerveza	Lote Cocimiento	Lote Medidora	TCC	Medidora	Fecha de producción	Código de envasado	Unidades de amargo	Espuma	Estabilidad Coloidal
									U.A.	s	EBC
26	620	Pilsener	87-90	512	14-11	12	29-jun-18	180P2124	16.74	287.00	0.31

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad Cervecería La Paz

Todos los parámetros se encuentran dentro de los estándares de cerveza filtrada de la compañía.

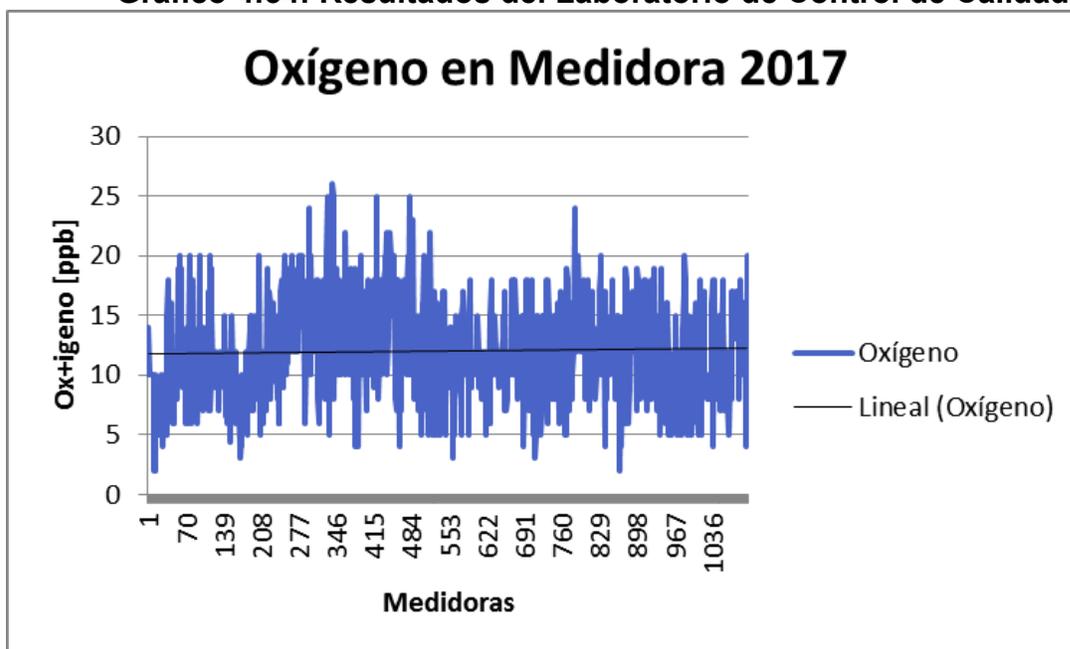
#### 4.10. REDUCCIÓN DEL OXÍGENO

Los procesos de mayor incorporación de oxígeno ocurren en la filtración y el envasado de la cerveza.

##### 4.11.1. PROCESO DE FILTRACIÓN

Según los procedimientos de Filtración que se tenían hasta el 2017 la tendencia de oxígeno en Medidora era muy inestable y con un promedio de 11.87 ppb de oxígeno.

**Gráfico 4:34: Resultados del Laboratorio de Control de Calidad**



Fuente: Laboratorio de Control de Calidad Cervecería La Paz

Evaluando los procedimientos, en su mayoría no estaban estandarizados, por lo que todos los operadores filtraban de forma diferente y los mayores problemas de oxígeno elevado se debían a errores operativos tales como la preparación del agua estándar y el inicio de ciclos de filtración.

Los procedimientos implementados son:

#### **4.11.2. PREPARACIÓN DE AGUA ESTÁNDAR**

Para la filtración de cerveza de alta gravedad (High gravity), se necesita tener disponible agua estandar para la dilución de la cerveza concentrada en normal, utilizando un equipo especial que produzca esta agua. El inicio de la preparación debe ser realizada 1 hora antes de la filtración de cerveza

La preparación de agua standard se realiza activando el Sistema DGS<sup>9</sup>, en el modo automático de la planta CENTEC. El sistema de desgasificación del agua, además incluye el enfriamiento y la carbonatación con CO<sub>2</sub>.

El agua desgasificada ó agua estándar, se conduce a un tanque de reserva donde durante el funcionamiento del régimen HGB<sup>10</sup> se usa para el procesamiento de la graduación de la cerveza

Controlar y verificar mientras se está produciendo agua estándar, que los parámetros establecidos, niveles de CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y temperatura estén dentro de estándar. Este control lo realiza el personal de turno de filtración. En el documento técnico DT EL 06 “Recetas de Filtración”, se especifican los valores internos de CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, temperatura y pH del agua estándar.

El sistema del agua estándar se encuentra enclavado para parar la filtración en caso de que el oxígeno se encuentre elevado.

#### **4.11.3. PREPARACIÓN DEL FILTRO DE TIERRA**

Verificar en la documentación técnica: DT EL 06 “Recetas de Filtración”, los porcentajes de tierras a usar y con estos valores calcular la cantidad de tierras a preparar.

Antes de armar las precapas, se deben realizar las siguientes tareas para garantizar que el filtro no se encuentre contaminado con oxígeno:

- Enviar tierra que se encuentra en el filtro de Tierra a los tanques horizontales.
- Llenar el tanque con agua caliente desde la parte inferior para esterilizar el filtro y para reducir el oxígeno en el filtro.
- Eliminar el aire en el filtro abriendo las válvulas de purga
- Inyectar CO<sub>2</sub> por la parte inferior del filtro para eliminar el oxígeno presente.
- Llenar el tanque con agua estándar.

---

<sup>9</sup> Planta de Desaireación del Agua através de cartuchos filtrantes e inyección de CO<sub>2</sub>

<sup>10</sup> Mezcla de la Cerveza concentrada con el agua de dilución

- Medir el oxígeno antes y luego de recircular. El valor de oxígeno debe ser menor a 10 ppb.

Preparar las suspensiones de la siguiente manera:

Preparación de tierra de la 1° Precapa:

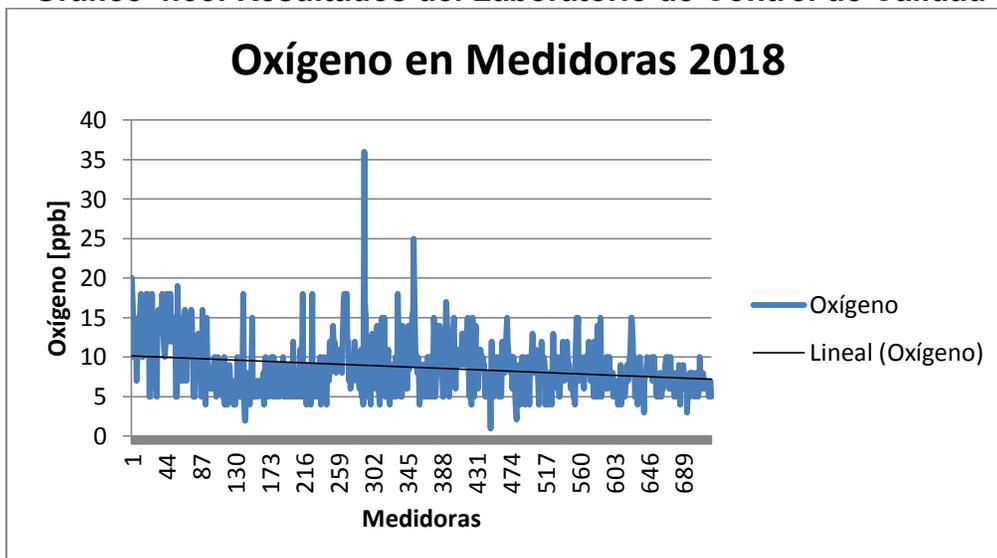
- Preparar la suspensión de tierras filtrantes en el tanque de preparación de precapa.
- Controlar que el tanque esté vacío. Caso contrario vaciar.
- Cargar agua caliente 75°C – 80°C, hasta aproximadamente la mitad.
- Cargar las tierras filtrantes convenientemente, con la agitación funcionando.
- Completar hasta 7-8 HI de volumen aproximadamente del tanque con agua caliente.

Preparación de tierra de la 2° Precapa y Dosificación Permanente.

- Preparar la 2da precapa en el tanque de preparación de precapas.
- Utilizar tierra permanente de acuerdo a la filtrabilidad de la cerveza.
- Preparar la suspensión de tierras filtrantes para la dosificación de tierra permanente en los tanques de tierra N°1 y N°2.
- Controlar el nivel del tanque de dosaje y bombear de los tanques de Tierra N°1 y N°2 de ser necesario.

#### **4.11.4. REDUCCIÓN DEL OXÍGENO EN FILTRACIÓN**

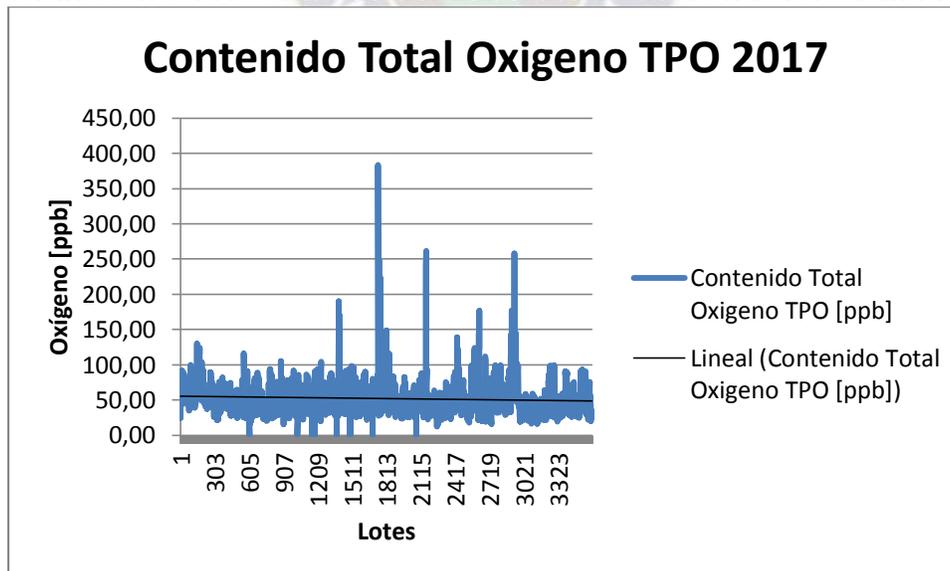
Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente gráfica de tendencias y el promedio de medidoras liberadas bajó a 8.3 ppb, dentro de los estándares requeridos por la empresa. El descenso se logró a partir de los procedimientos de carbonatación de las líneas y equipos previa la filtración desplazan así los restos de aire que pueden existir en la línea, así como el enclavamiento del sistema para que la cerveza recircule hasta que el oxígeno descienda dentro de los límites internos definido por la compañía.

**Gráfico 4:35: Resultados del Laboratorio de Control de Calidad**

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad Cervecería La Paz

#### 4.11.5. PROCESO DE ENVASADO

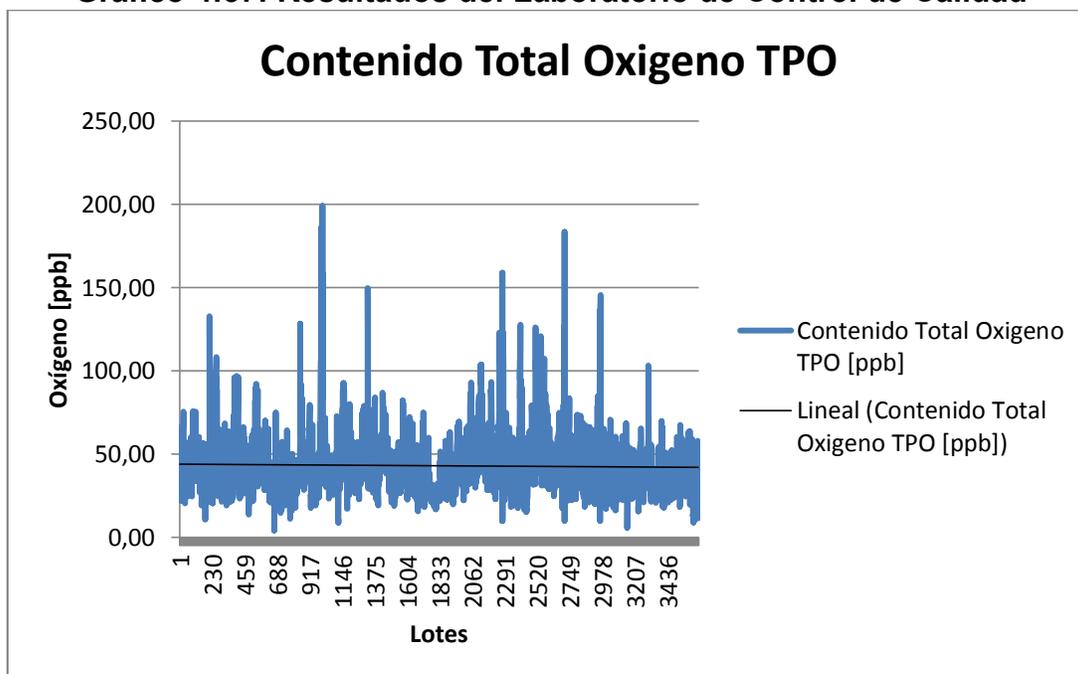
Según el proceso de Envasado se tenía hasta el 2017 la tendencia de oxígeno en Cerveza Envasada con un promedio de 52.23ppb de oxígeno.

**Gráfico 4:36: Resultados del Laboratorio de Control de Calidad**

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad Cervecería La Paz

Evaluando los procedimientos, se encuentra que la mayor causa de los problemas discurre en la presión de la bomba del agua HD<sup>11</sup> que no cumple las características requeridas. Por lo que tras la compra de una nueva bomba HD que asegure la presión del chorro de agua, conjunto a la regla de vacío de la llenadora<sup>12</sup> para la expulsión de oxígeno al llenado y el cambio de las tapas de plastisol por las de oxy scavenger<sup>13</sup>, la tendencia mejora con un promedio de 43.23 ppb de oxígeno dentro del estándar requerido por la compañía.

**Gráfico 4:37: Resultados del Laboratorio de Control de Calidad**



<sup>11</sup> Bomba de Alta Presión que inyecta agua para romper la tensión superficial de la cerveza dando paso a que el CO<sub>2</sub> del producto desplace el aire que puede haber quedado en el cuello de la botella.

<sup>12</sup> Sistema que asegura la formación del vacío en la botella previo al llenado.

<sup>13</sup> Nuevo diseño de tapas comenzadas a fabricarse en Bolivia con la característica de tener un linner capaz de absorber restos de oxígeno en el cuello de la botella.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

Las conclusiones del Trabajo Dirigido son:

##### 5.1.1. DE LA CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Se determina en la Malta:

- La cantidad de impurezas promedio de los granos de malta es de 1.71%.
- La humedad de la malta promedio es de 4.9%.
- El contenido de proteínas, según el laboratorio de Control de Calidad de Maltería Nueva Palmira – Uruguay es:

**Tabla 5:1: Informe de Resultados del laboratorio de Maltería Nueva Palmira**

Muestra	Malta
<b>Resultados</b>	
Ensayo Realizado	Resultados
Proteínas	10.50%

Fuente: Laboratorio de Maltería Nueva Palmira

Se determinó en el Maíz:

- La cantidad de impurezas promedio de los granos de maíz es de 1.15%.
- La humedad de la maíz promedio es de 12.89%.
- El contenido de acidos grasos, según el laboratorio de Control de Calidad de Planta Santa Cruz– Bolivia:

**Tabla 5:2: Informe de Resultados del laboratorio de Santa Cruz**

Muestra	Maíz
<b>Resultados</b>	
Ensayo Realizado	Resultados
Grasa	0.49%

Fuente: Laboratorio de Santa Cruz

Se comparan los valores con los estándares que maneja la compañía y se encuentran dentro de las políticas de Anheuser-Busch InBev.

### 5.1.2. DE LAS PRUEBAS PRELIMINARES EN COCIMIENTO

Se determina que los siguientes factores influyentes en el proceso:

- Tiempo de Hervido Atmosférico
- Temperatura
- pH

Se determina que la temperatura es el parámetro de mayor influencia en el proceso.

### 5.1.3. DEL DISEÑO EXPERIMENTAL EN COCIMIENTO

Se determinó:

- El ajuste del modelo con un valor de 0.99, muy próximo a la unidad, indica que los datos experimentales obtenidos se encuentran correctamente ajustados al modelo experimental.
- Las mejores condiciones de operación para el proceso de hervido son:

**Tabla 5:3: Mejores Condiciones de Hervido Atmosférico**

FACTORES		Valor
1	Tiempo de Hervido (min)	20
2	Temperatura (°C)	89
3	pH	5.1

Fuente: Design Expert

### 5.1.4. DE LA CARACTERIZACIÓN DEL MOSTO

Se determina que la cantidad promedio de Nitrógeno Coagulable en el mosto, en las mejores condiciones de operación, es de 26 mg/l de mosto, reduciendo en un 42% la cantidad de arrastre de proteína coagulada a través de la torta formada en el Whirpool con arrastre al enfriador de mosto que podían causar obstrucciones en el equipo.

### 5.1.5. DE LAS PRUEBAS PRELIMINARES EN FERMENTACIÓN

Se determina que los siguientes factores influyentes en el proceso:

- Cocimientos Dosificados con Levadura
- Aireación del Mosto
- Carga específica de Levadura
- Generación de Levadura

Se determina que la Estrategia de dosificación de Levadura es el parámetro de mayor influencia en el proceso de generación de Dióxido de Azufre.

### 5.1.6. DEL DISEÑO EXPERIMENTAL EN FERMENTACIÓN

Se determina:

- El ajuste del modelo con un valor de 0.92, muy próximo a la unidad, indica que los datos experimentales obtenidos se encuentran correctamente ajustados al modelo experimental.
- Las mejores condiciones de operación para el proceso de fermentación, aplicado a todas las generaciones de levadura son:

**Tabla 5:4: Mejores Condiciones de Fermentación**

FACTORES		Valor
1	Cocimientos de Dosificación de Levadura	1-3-4
2	Aireación de Mosto (ppm)	9
3	Carga Especifica de Levadura (l/hl)	0.92

Fuente: Design Expert

### 5.1.7. DE LA CARACTERIZACIÓN DE LA CERVEZA VERDE

Se determina que la cantidad promedio de dióxido de azufre, en las mejores condiciones de operación para segunda generación de levadura, es de 8.6mg/l, incrementando en un 54% la cantidad de generada de dióxido de azufre en la fermentación.

Se determina que la cantidad promedio de dióxido de azufre, en las mejores condiciones de operación para tercera generación de levadura, es de 10.7 mg/l, incrementando en un 91% la cantidad de generada de dióxido de azufre en la fermentación.

Se determina que la cantidad promedio de dióxido de azufre, en las mejores condiciones de operación para segunda generación de levadura, es de 13mg/l, incrementando en un 130% la cantidad de generada de dióxido de azufre en la fermentación.

Con los valores obtenidos en fermentación, ya es posible modificar la receta de filtración y anular la dosificación de MKS, con los beneficios de un ahorro para la compañía y principalmente el retirar un conservante con características alergénicas del producto.

### 5.1.8. DE LAS PRUEBAS PRELIMINARES EN FILTRACIÓN

Se determina que los siguientes factores influyentes en el proceso:

- Dosificación de Alginato (g/hl)
- Dosificación de PVPP (g/hl)
- Dosificación de Tetrahop (g/hl)

Se determina que la dosificación de Tetrahop es el parámetro de mayor influencia para la Estabilidad de Espuma y el Amargor, al mismo tiempo, la dosificación de Alginato es el parámetro de mayor influencia en la Estabilidad Coloidal.

### 5.1.9. DEL DISEÑO EXPERIMENTAL EN FILTRACIÓN

Se determina:

- El ajuste del modelo con un valor de 0.97, muy próximo a la unidad, indica que los datos experimentales obtenidos se encuentran correctamente ajustados al modelo experimental.
- Las mejores condiciones de operación para el proceso de filtración, para retirar la dosificación de alginato, son:

**Tabla 5:5: Mejores Condiciones de Filtración**

FACTORES		Valor
1	Dosificación de Alginato (g/hl)	0
2	Dosificación de PVPP (g/hl)	40
3	Dosificación de Tetrahop (g/hl)	3

Fuente: Design Expert

#### **5.1.10. DE LA CARACTERIZACIÓN DE LA CERVEZA FILTRADA**

Se determina que la cantidad promedio de estabilidad de espuma, en las mejores condiciones de operación, es de 282 s, incrementando en un 5% la cantidad de espuma generada.

Se determina que la cantidad promedio de amargor, en las mejores condiciones de operación, es de 17 IBUs, incrementando en un 6% la cantidad de amargo.

Se determina que la cantidad promedio de estabilidad coloidal, en las mejores condiciones de operación, es de 0.22 mg/l, reduciendo cerca del 90% de la estabilidad coloidal y mitigando cualquier posible problema o reclamo del mercado por presencia de partículas en suspensión en el tiempo de permanencia del producto.

#### **5.1.11. DE LA REDUCCIÓN DEL OXÍGENO**

Se cambiaron los procedimientos de preparación de agua estándar y del filtro de tierras logrando reducir el oxígeno en filtración hasta 30%.

Se gestiona la compra de una nueva bomba HD, se ajusta la regleta de vacío de la llenadora y se hacen pruebas con tapas con linner capaz de retener oxígeno, reduciendo en el envasado hasta un 17% del ingreso de oxígeno.

### **6.2. RECOMENDACIONES**

Se recomienda:

- Continuar el estudio para caracterizar el contenido de Tetrahop en la Cerveza Filtrada.
- Continuar el estudio para analizar otros compuestos secundarios de la fermentación, tales como alcoholes superiores, acetato de isoamilo, acetato de etilo, etc.
- Actualmente todas las plantas en Bolivia usan lúpulos isomerizados, por lo que se puede continuar un estudio para lúpulo no isomerizados.
- La tecnología aplicada al proceso de hervido es en función de una calandria interna, por lo que se puede mejorar el proceso a partir de una calandria externa.
- Estudiar la cinética del tetra en el proceso de cocimiento, fermentación y filtración.

- Estudiar en profundidad el proceso de fermentación, desde la glucólisis hasta el ciclo de Krebs para la formación de compuestos secundarios en la cerveza.
- Actualmente la dosificación de Tetrahop se realiza a partir de un tanque de dosificación de agua blanda, por lo que se puede mejorar el proceso si se pone en marcha el lupulador de Tetrahop.
- Actualmente, el mayor aporte de oxígeno viene siendo el proceso de envasado, por lo que mejoraría el proceso si se analiza conjunto a un especialista mecánico los equipos de la línea de envasado para minimizar el ingreso de oxígeno, cambiando los equipos obsoletos a través de una inversión.



## CAPÍTULO VI

### 6. BIBLIOGRAFÍA

1. Anónimo. Cerveza. [<https://es.wikipedia.org/wiki/Cerveza>] s.l. : Wikipedia, la enciclopedia libre, 2017.
2. ABIn-Bev. Especificación de Producto. Región BUA, 2017. Cerveza Pilsener.
3. Anónimo. Diez beneficios de la cerveza que no conocías. [<http://www.cuidateplus.com/alimentacion/nutricion/2016/03/04/diez-beneficios-cerveza-conocias-109996.html>] s.l. : Cuidate Plus, 2016.
4. —. Cerveza Artesana vs Cerveza Industrial. [<http://www.cervezagredos.com/cerveza-artesana-vs-cerveza-industrial/>] s.l. : Cerveza Gredos, 2014.
5. —. Metabisulfito de Potasio. [[https://es.wikipedia.org/wiki/Metabisulfito\\_de\\_potasio](https://es.wikipedia.org/wiki/Metabisulfito_de_potasio)] s.l. : Wikipedia, la enciclopedia libre, 2017.
6. —. Alginato. [<https://es.wikipedia.org/wiki/Alginato>] s.l. : Wikipedia, la enciclopedia libre, 2017.
7. Calvo, Miguel. Química de los alimentos: Alginato. [<http://milksci.unizar.es/bioquimica/temas/azucares/alginate.html>] s.l. : Química de los alimentos.
8. Anónimo. Factores que pueden dañar tu cerveza. [<http://www.combinaconunapolar.com/factores-que-danan-la-cerveza/>] Caracas : Combina con una Polar, 2017.
9. —. Sulfitos para el control del oxígeno. [<https://www.yamathosupply.com/blogs/news/sulfitos-para-el-control-del-oxigeno>] s.l. : Yamatho, 2017.
10. Kunze, Wolfgang. Tecnología para cerveceros y malteros. Berlín : VLB, 2006.
11. Anónimo. La Cerveza es la Bebida Alcohólica que más consumen los bolivianos. [<http://www.paginasiete.bo/economia/2016/2/7/cerveza-bebida-alcoholica-consumen-bolivianos-85988.html>] La Paz : Página Siete, Diario Nacional Independiente, 2016.
12. —. Estudio de Euromonitor: Bolivia, octavo en el consumo de cerveza de la región. [[http://www.erbol.com.bo/noticia/economia/24102017/bolivia\\_octavo\\_en\\_el\\_consumo\\_de\\_cerveza\\_en\\_la\\_region](http://www.erbol.com.bo/noticia/economia/24102017/bolivia_octavo_en_el_consumo_de_cerveza_en_la_region)] La Paz : Erbol Digital, 2017.
13. Badui, Salvador. Química de los alimentos. s.l. : Pearson, 1993.

14. Ingeniería de Procesos. Gerencia de Tecnología y Calidad. Manual de Iniciación a la Elaboración de Cerveza. Buenos Aires : Quilmes, 2016.
15. ABin-Bev. Técnicas Analíticas. Región BUA, 2017. Cerveza Pilsener.
16. Gilbert, Delos. El gran Libro de las Cervezas. España : Editors, S.A., 2002.
17. Jackson, Michel. El libro de la cerveza. Barcelona : Blume, 1994. ISBN.
18. Hough, J. H. Biotecnología de la Cerveza y de la Malta. Madrid : AMV, 2003. ISBN.
19. Verhoef, Berfy. La enciclopedia de la cerveza. Arganda del Rey : Edimat, 2003. ISBN.

## CAPÍTULO VII

### 7. ANEXOS

#### ANEXO A: PROCEDIMIENTOS Y MÉTODOS

##### ANEXO A.1. DETERMINACION DE IMPUREZAS DE MALTA Y MAÍZ

- Dividir 100 g de malta con el divisor de muestras y pesar con exactitud.
- Pasar por la zaranda y juntar de cada fracción obtenida (sobre la zaranda de 2.2 mm), lo siguiente: granos extraños, materia extraña y granos partidos previos a la entrada a proceso.
- Pesar juntas las impurezas obtenidas de las tres fracciones de la zaranda.
- Calcular la fracción de impurezas como un porcentaje del peso total:

##### ANEXO A.2. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD DE MALTA Y MAÍZ

La muestra a analizar es secada en estufa infrarroja a 105°C +/- 3°C para el maíz desgerminado y a 80°C +/- 3°C para la malta el tiempo necesario para determinar la humedad de la muestra hasta peso constante.

- Encender el analizador de humedad (Sartorius M40) con la tecla "I/O". Elegir el programa para la determinación y verificar que en la parte superior de la pantalla indique la temperatura de análisis. De no ser así, presionar la tecla "Progr" (segunda a la izquierda, abajo), seleccionar el programa indicado y cargarlo.
- Abrir la cámara de muestras con la tecla "↓↑".
- Poner un platillo limpio y seco sobre el soporte del platillo. Presionar la tecla "Tara" y aparecerá en la pantalla la indicación de peso "0.000g".
- Colocar 5.00 g de muestra homogeneizada previamente molida y distribuir la muestra en el platillo.
- Presionar la tecla "Inicio" para dar comienzo al secado.
- Una vez que la determinación ha finalizado (aproximadamente 15 minutos), sonará una señal acústica. El resultado es dado como % de humedad en la muestra. El resultado permanece en la pantalla; para una nueva determinación presionar "Nuevo" y repetir el procedimiento.

### ANEXO A.3. DETERMINACIÓN DE PROTEÍNAS EN MALTA

El nitrógeno es determinado por disgregación en ácido sulfúrico para dar sulfato de amonio. El sulfato de amonio es convertido en hidróxido de amonio por la adición de soda cáustica. El hidróxido de amonio es destilado en una solución de ácido bórico y estimado por titulación.

- Tomar alrededor de 1 gr. de muestra por duplicado de humedad conocida. Pesar rápidamente en balanza analítica (0.001 grs.), y volcar, con sumo cuidado para no perder materia, dentro de los tubos de digestión (deben estar completamente secos).
- Agregar aproximadamente 2 pastillas Kjeldahl (de Cu o de Se, ambas de 3.5 gr ó catalizador mixto: 5 kg.  $\text{SO}_4\text{K}_2$  en polvo, 625 gr.,  $\text{SO}_4\text{Cu}\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , 50 gr. Se. Negro), deslizando por las paredes para arrastrar lo que pueda haber quedado en la parte superior del tubo. De la misma manera, agregar 12.5 ml. de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado. Mezclar bien y llevar al digestor. Cuando el color marrón oscuro haya desaparecido y la muestra se vea verde brillante, retirar y dejar enfriar.
- Luego añadir alrededor de 80 ml. de agua destilada y 70 ml. de NaOH concentrado (40%p/p). Conectar inmediatamente al destilador. Recoger el destilado sobre 25 ml. de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.1 N. Cuando el volumen de destilado alcance aproximadamente los 150 ml. (4-5 min.) detener la destilación.
- Titular con NaOH 0.2N (normalidad exactamente conocida) con unas gotas de indicador mixto (disolver 0.1 gr de verde de Bromocresol en 100 ml de etanol de 95% y 0.1 gr de rojo de metilo en 100 ml de 95 %. Mezclar estas soluciones en una relación de 10+4. La mezcla es rosa en solución ácida, gris en el punto final y azul en solución alcalina).
- Hacer un blanco para corregir por el contenido de nitrógeno de los reactivos usados.
- Calcular el contenido de proteína sustancia seca, como sigue:

$$\% \text{ Proteína: } \frac{(B - T) * N * 875}{(100 - W) * P}$$

B: de NaOH gastados por el blanco.

T: de NaOH gastados por la muestra.

N: normalidad exacta del NaOH 0.2 N.

875: factor de conversión.

W: % humedad de la muestra.

p: peso exacto de muestra usada.

#### ANEXO A.4. DETERMINACIÓN DE MATERIA GRASA

- Moler el adjunto en el molino (Buhler-Miag) y homogeneizar bien.
- Pesar alrededor de 10 grs, colocarlo dentro del cartucho de extracción con cuidado de no perder nada de la muestra.
- Acoplar el aparato Soxhlet con el cartucho al matraz.
- Dejar pasar por la cápsula tanta bencina de petróleo necesaria, para que se pueda sifonear dos veces en el aparato de extracción.
- Colocar el enfriador a reflujo.
- Prender la calefacción y extraer la muestra 3 horas (aproximadamente 30 sifonadas)
- Evaporar el disolvente que se encuentra en el matraz de extracción
- Secar el residuo aproximadamente 1 hora en estufa a 105 °C.
- Enfriar el matraz en un desecador.
- Pesar el resto que queda.
- Colocar nuevamente el matraz en estufa durante 1 hora y volver a pesar. Repetir esta operación tantas veces como sea necesario para asegurar que la variación entre dos valores consecutivos de grasa no sea superior a 0.01%
- En paralelo, con un cartucho sin muestra, realizar un blanco siguiendo el mismo procedimiento en los casos que se reutilice solvente
- El porcentaje de grasas se determina mediante:

$$\%Grasa (Total) = \frac{(A - B - K) \cdot 100}{W}$$

$$\%Grasa (Base Seca) = \frac{(A - B - K) \cdot 100}{W} \cdot \frac{100}{100 - M}$$

A: peso del matraz + sust. Grasas

B: peso del matraz (tara)

K: Residuo en el Matraz "Blanco" (A-B del Blanco)

W: peso del adjunto

M: humedad de la muestra

## ANEXO A.5. DETERMINACIÓN DE COLOR DE MOSTO Y CERVEZA

### Tratamiento de las muestras

#### Mosto:

Preparar el mosto frío filtrando 50 ml a través de una membrana de 0.45 micrones. El mosto debe protegerse contra la luz intensa y la muestra debe ser analizada sin demoras para evitar cambios en el color

#### Cerveza

Atemperar las muestras a 20 +/- 2°C. Las muestras frías pueden liberar burbujas al ser analizadas, invalidando la medición.

Colocar un tapón de goma en el Erlenmeyer y agitar vigorosamente (1 a 3 veces) para degasificar la muestra. Aflojar el tapón para liberar presión y repetir hasta que no haya liberación de gas (normalmente 3 veces)

Aplicar unos suaves golpecitos al recipiente sobre una superficie dura, verificando que no queden burbujas remanentes.

La muestra se encuentra ahora lista para ser analizada

#### Procedimiento

- Verificar que las cubetas de vidrio de 10mm de espesor a utilizar estén bien limpias para evitar fuentes de error
- Ajustar la longitud de onda a  $430 \pm 0.5\text{nm}$
- Llenar la cubeta con agua destilada y ajustar la absorbancia a 0.00
- Vaciar la cubeta, llenarla con la muestra y proceder a la lectura de la absorbancia
- Se determina el color mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Color (unidades EBC)} = A_{430} \times 25$$

Donde:

$A_{430}$  = absorbancia a 430nm.

## **ANEXO A.6. DETERMINACIÓN DE PH EN MOSTO Y CERVEZA**

### **Cerveza:**

Se debe atemperar la muestra a  $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ . Colocar aproximadamente 200 ml de cerveza en un erlenmeyer y descarboxar manualmente, agitando suavemente al principio y luego en forma vigorosa varias veces la muestra, hasta que deje de escaparse gas de la misma, tapando y destapando la boca del recipiente; luego se filtra por papel de filtro.

Una sola agitación y filtrado a veces no es suficiente para obtener un valor final de pH estable, ya que la muestra puede contener una cantidad residual de  $\text{CO}_2$ . Por este motivo, una doble agitación y filtrado es el mejor procedimiento para medir pH de una muestra descarboxada.

### **Mosto:**

Atemperar la muestra a  $15\text{-}25^{\circ}\text{C}$ , trasvasar a vaso de precipitados y tomar el pH inmediatamente.

### **Procedimiento**

- Con una primera porción de muestra, tratada según se expuso anteriormente, se enjuaga el vaso de precipitado y el electrodo; se descarta este líquido y se vierte una nueva porción de muestra para realizar la medición.
- Se sumerge el electrodo en la muestra.
- El pHmetro se coloca en la posición medición. Agitar suavemente la muestra durante aproximadamente un minuto, luego dejarla reposar y proceder a la lectura del pH cuando se haya estabilizado el valor.
- Enjuagar los electrodos con agua destilada y mantenerlos en solución de cloruro de potasio

## **ANEXO A.7. DETERMINACIÓN DE AMARGOR EN MOSTO Y CERVEZA**

### **Tratamiento de las muestras**

Como las sustancias amargas se concentran en la espuma, se deben tomar todas las medidas necesarias para evitar el espumado durante el muestreo. Se puede introducir una pequeña gota de octanol dentro del recipiente y se sugiere el uso de un muestreador tipo espiral.

Las muestras se deben atemperar a 20°C antes de ser analizadas, en todos los casos, y no deben ser desgasificadas por filtración para evitar la pérdida de espuma (que contiene un gran porcentaje de compuestos de amargo).

### **Mosto**

Las muestras turbias se deben centrifugar durante 15 minutos a 3000 rpm.

### **Cerveza**

Desgasificar todas las muestras de cerveza sin perder espuma.

Agitar a velocidad media de 5 minutos con un agitador magnético

Agregar 1 gotas de antiespumante diluido en un tubo de 20x150 mm

Agregar suave y aproximadamente 15-20 ml de muestra.

Agitar la muestra para lavar cualquier espuma residual de las paredes del contenedor.

### **Procedimiento**

- Pipetear exactamente y sin espumar 10 ml de cerveza desgasificada a temperatura ambiente, o 5 ml de mosto más 5 ml de agua purificada (para una dilución adecuada) al tubo centrífuga de 50 ml, usando una pipeta volumétrica.
- Agregar 1 ml de HCl 3N (ó 0,5 ml si es 6N) usando pipeta volumétrica o dispenser calibrado (se requiere un tubo por muestra).
- Agregar 20 ml de isoctano mediante pipeta volumétrica o dispenser, tapan el tubo herméticamente.
- Inmediatamente, agitar los tubos vigorosamente en posición horizontal durante un tiempo de entre 15 y 20 minutos, asegurando la extracción adecuada, en un agitador de muñeca Burrel 75, usando los brazos extendidos, a alta velocidad.

- Permita que la emulsión se asiente durante 20 minutos o centrifugue durante 3 minutos a 3000-4000 rpm. Proceda de inmediato con el siguiente paso. La interfaz entre las dos capas debe ser inferior a 5 mm. Si no, la extracción debe repetirse en una nueva muestra. La adición de un trozo de plástico de media pulgada al tubo de centrifuga, antes de la agitación, puede ayudar a prevenir o romper emulsiones.
- Coloque la punta de la pipeta de transferencia en el extracto, aproximadamente 5 mm por encima de la interfaz entre las fases, y retire lo suficiente para llenar una cubeta de 10 mm. La cubeta debe estar > 70% llena (> 2,75 ml).
- Poner a cero el espectrofotómetro con isoctano, realizar la verificación del punto 5.2.1 (diferencia menor a 0,005 ABS al intercambiar las cubetas). Mida la absorbancia a 275 nm, usando isoctano puro en la cubeta de blanco. La medición debe realizarse dentro de los 20 minutos luego de finalizada la agitación.
- Se determina el amargo mediante la siguiente fórmula:

$$\text{IBU57 (mg/l)} = A_{275} \times 57$$

Donde:

$A_{275}$  = absorbancia a 275nm.

## **ANEXO A.8. DETERMINACIÓN DE ALCOHOL Y EXTRACTO**

En el equipo alcolyzer la medición se realiza dentro de los 4 minutos. El contenido de alcohol se mide por espectroscopía a una longitud de onda específica para etanol (1150-1200 nm). La absorbancia es convertida a concentración mediante el uso de un algoritmo. La densidad se mide con un densímetro idéntico al de Scaba (con una celda de resonancia de vidrio que modifica la frecuencia de resonancia dependiendo de la densidad).

Basado en los valores de alcohol y densidad medidos, el instrumento calcula el resto de los parámetros:

1. Extracto Original (° P)
2. Concentración de alcohol (% p/p) o (% v/v)
3. Extracto Aparente (°P)
4. Atenuación (%)

### Procedimiento

- Atemperar la cerveza a temperatura ambiente 20 a 22 °C.
- Introducir 200 ml de cerveza en un Erlenmeyer de vidrio de 500 ml. (ó 100 ml cerveza en un Erlenmeyer de 250 ml). Se va a formar una capa de espuma de unos 3 a 4 cm.
- Esperar 5 minutos.
- Agitar la cerveza hasta asegurar que no exista presencia de burbujas que puedan afectar la lectura del Alcoalyzer.
- Llenar los viales con la muestra y taparlos con tapas de silicona, proceder a leer en el equipo Alcoalyzer.

**Gráfico 7:1: Analizador de Cerveza (Alcoalyzer)**



## ANEXO A.9. DETERMINACIÓN DE FAN

### Reactivos

#### 1. Reactivos para color (preparar 200 mL):

- a) Pesar 20 gr  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$  (fosfato monosódico) y 12 gr  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  (fosfato monopotásico). Disolver en agua destilada con calor, y luego enfriar
- b) Pesar 1 gr ninhidrina y 0.6 gr fructosa. Disolver en agua destilada con calor, y luego enfriar

Mezclar las soluciones y llevar a 200 mL con agua destilada.

Este reactivo puede conservarse dos semanas si se guarda en frío y en frasco de color topacio. El pH debe ser 6,6-6,8. El ajuste de pH se efectúa por agregado de  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$ .

#### 2. Solución para diluir:

Disolver 2 gr  $\text{KIO}_3$  (yodato potásico) en 600 ml de agua destilada y transferir a un matraz aforado

Llevar a 1000 ml con etanol al 96%

Almacenar refrigerado a máx. 5°C.

#### 3. Solución standard de glicina:

Disolver 0,1072 gr de glicina en 100 ml de agua destilada.

Almacenar la 0 °C (máx. 4°C)

#### 4. Solución diluida de glicina (= 2 mg/ l free amino nitrogen)

- Diluir 10 mL de solución standard de glicina con agua destilada hasta 1000 mL

### Preparación de las Muestras

#### Mosto:

Las muestras de mosto deben conservarse bajo refrigeración hasta el momento del procesamiento. El tiempo máximo de conservación en estas condiciones es de 24 hs. En caso de ser necesaria la conservación por un tiempo mayor las muestras deberán ser congeladas.

Las muestras frescas o descongeladas deben homogeneizarse y luego clarificarse por filtración con papel de filtro.

### **Cerveza:**

Colocar aprox. 200 ml de muestra a 17-20 °C en un matraz de 500 ml. Tapar la boca con una mano y sacudir cuidadosamente primero y vigorosamente después, cuidando no perder nada de espuma, hasta eliminar el contenido de dióxido de carbono que contenga la cerveza. Deja reposar hasta que baje la espuma y luego filtrar a través de papel de filtro.

Nota: Diluir la muestra hasta una concentración de 1-3 mg de amino-nitrógeno por litro. Se recomienda una dilución para el mosto de 100 veces (1/100), y para la cerveza, 50 veces (1/50).

### **Procedimiento**

- Pipetear 2 ml de la muestra diluida en un tubo de ensayo con tapa a rosca y agregar 1 mL de reactivo de color.
- Mezclar en vortex (se puede agregar una bolita de vidrio para evitar pérdidas por evaporación). Se llevan 2 ml de la muestra standard diluida en 3 tubos de ensayo con tapa a rosca (standard)
- Calentar el tubo durante exactamente 16 minutos en un baño de agua hirviendo.
- Enfriar el tubo durante 20 (veinte) minutos en un baño de agua a 20 °C
- Agregar 5 ml de la solución para diluir. Mezclar y colocar nuevamente el tubo en el baño a 20°C durante 30 minutos
- Medir la absorbancia a 570 nm contra un blanco reactivo preparado a partir de los reactivos (1 ml de reactivo de color y 5 ml de solución para diluir) más 2 ml de agua destilada en lugar de la muestra, en cubetas de vidrio de 10 mm de paso óptico.
- Los mg/l alfa-amino-nitrógeno (FAN) vienen expresados por:

$$FAN \left[ \frac{mg}{l} \right] = \frac{(AM - AB - AF) \cdot 2 \cdot d}{AS - AB}$$

Donde:

AM: Promedio de las absorbancias de la muestra

AB: Promedio de las absorbancias del blanco

AF: Promedio de absorbancias para la corrección de mostos y cervezas oscuras.

AS: Promedio de las absorbancias de la solución standard de glicina

d: Factor de dilución de la muestra (50 o 100)

2: Cantidad de amino nitrógeno libre (mg/l) en la solución standard de glicina

## **ANEXO A.10. DETERMINACIÓN DE DIÓXIDO DE AZUFRE**

El dióxido de azufre en cerveza, estabilizado por la adición de cloruro mercuríco, es convertido a sulfito por la adición de un álcali. El  $\text{SO}_2$  es luego liberado dentro de la solución por acidificación.

El color producido por la reacción entre el  $\text{SO}_2$  y la p-rosanilina en presencia de formaldehído es medido a 550nm frente a un blanco, y comparado con un gráfico de calibración hecho de la adición de sulfito ácido (y como  $\text{SO}_2$ ) a cerveza en condiciones similares.

### **Reactivos**

- p-rosanilina: Transferir 200 mg (+/- 1 mg) de cloruro de p-rosanilina a un matraz de 500 ml y disolver en aprox. 350 ml de agua destilada (dilución ultrasónica). Mientras se encuentre en agitación adicionar 80 ml de ácido clorhídrico diluido (concentración del HCl 1:1 con agua destilada). Cuando la solución se enfrió, llevar hasta enrase con agua destilada. Dejar reposar 15 minutos a temperatura ambiente antes de usar. Conservar en frasco de color ámbar a 4°C, la solución es estable por un mes.
- Solución de formaldehído: diluir 5 ml de formaldehído (aprox. 37%) a 1 litro con agua destilada.
- Cloruro de mercurio (II): Disolver 1,360 g de cloruro de mercurio (II) ( $\text{Cl}_2\text{Hg}$ ) y 0,585 g de cloruro de sodio (CINa) en aprox. 25 ml de agua destilada en un matraz de 50 ml, llevar a volumen con agua destilada. Conservar en la oscuridad a temperatura ambiente; esta solución es estable por dos meses.
- Hidróxido de sodio 0.1 N.

- Ácido sulfúrico 0.1 N
- Solución de yodo 0.1 N (0.05 moles de  $I_2$ /litro):
- Disolver 0.5 g (+/- 0.1 gr) de yoduro de potasio (IK) en aprox. 10 ml de agua destilada en un matraz de 25 ml. Pesar 0.32 gr de yodo cristalino puro en un vidrio de reloj en una balanza (nunca en una balanza analítica), y transferir esto cuantitativamente por medio de pequeños lavados dentro de la solución concentrada de IK. Insertar la tapa al matraz y mezclar en frío hasta que todo el yodo se disuelva. Dejar que la solución llegue a temperatura ambiente y enrasar con agua destilada. La solución es estable por un mes y debe ser conservada alejada de la luz.
- Solución de yodo 0.05 N (0.025 moles de  $I_2$ /litro):
- Adicionar 50 ml de agua destilada a 50 ml de yodo 0.1 N y mezclar. Conservar en frasco tapado y oscuro
- Bisulfito de sodio p.a.
- Tiosulfato de sodio 0.1 N
- Agua destilada
- Ácido clorhídrico concentrado (aprox 37%)
- Almidón como indicador (al 1% aproximadamente en agua desionizada).

### **Tratamiento de las muestras**

Las muestras de cerveza terminada no llevan tratamiento previo y las muestras de mosto o aquellas que contengan levaduras se deben centrifugar previamente por 5 minutos a 3000 rpm en frío.

Enfriar todas las muestras en heladera (4°C) por lo menos 12 hs, o por una hora en baño de agua helada (0°C).

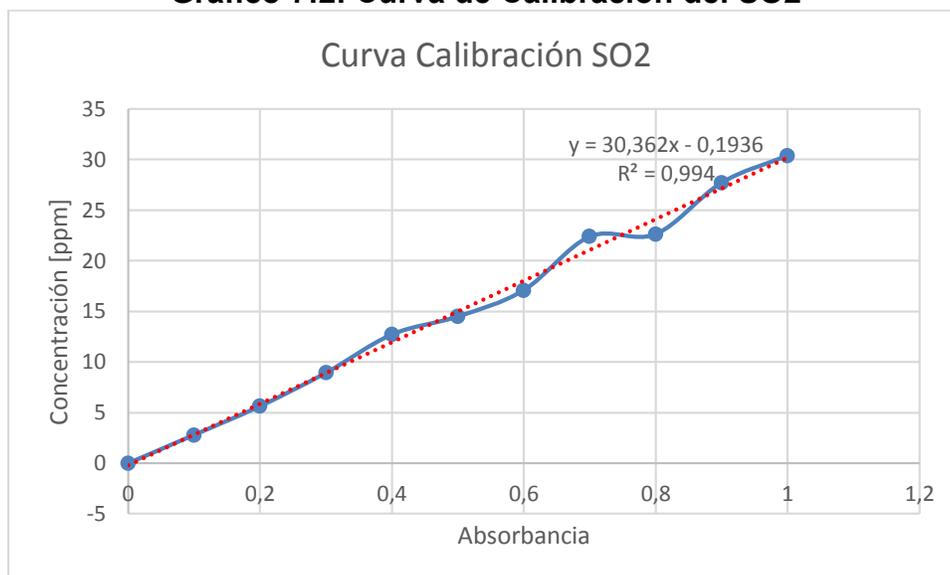
Las muestras para analizar pueden ser almacenadas hasta 72hs luego de ser abiertas, siempre y cuando se mantengan selladas y almacenadas en heladera. Pasado ese periodo de tiempo deben ser descartadas.

Cada muestra analizada necesita su correspondiente blanco, con la excepción de muestras que son de la misma marca (por ejemplo todas Stella Artois).

### **Procedimiento**

- Pipetear 1 ml de solución estabilizadora de mercurio y 2,5ml de  $H_2SO_4$  dentro de un matraz de 100 ml y mezclar.

- Cuidadosamente, pipetear 5 ml de muestra fría sin desgasificar usando una pipeta de 5 ml (previamente enfriada en heladera, esto ayuda a prevenir formación de espuma sin necesidad de usar 1-octanol como antiespumante) en el matraz de 100 ml. Tapar y mezclar con agitación circular.
- Adicionar 7,5 ml de solución de 0.1 N NaOH, tapar, mezclar nuevamente y dejar reposar por 30 seg. Luego adicionar 5 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.1 N y tapar. Mezclar por agitación circular.
- Pipetear 10 ml de p-rosanilina dentro del matraz, agitar suavemente para mezclar; pipetear 10 ml de la solución de formaldehído y agitar nuevamente. Tapar los matraces luego de cada adición.
- Llevar a volumen con agua destilada, tapar y agitar por invertido del matraz. Dejar reposar el matraz en oscuridad y a temperatura ambiente por 30 minutos previo a realizar la lectura espectrofotométrica. Comenzar a tomar el tiempo luego de la adición del formaldehído.
- La extinción de la solución es medida en el espectrofotómetro contra un blanco en una cubeta de 1 cm a una longitud de onda de 550nm.
- Preparación del blanco: Cuidadosamente transferir 5 ml de cerveza fría sin desgasificar usando una probeta de 5 ml (previamente enfriada en heladera, esto ayuda a prevenir formación de espuma sin necesidad de usar 1-octanol como antiespumante) a un matraz de 100 ml. Agregar 0.5ml del indicador de almidón al 1% y añadir gota a gota solución de yodo 0.05N hasta ver permanencia de una coloración azulada durante 3 a 5 segundos. Agregar una gota más para asegurar un pequeño exceso y permitir que permanezca hasta que la coloración desaparezca (aproximadamente un minuto). Continuar desde el punto 5.2.4
- Poner en cero el espectro con agua destilada, determinar y registrar la lectura del espectrofotómetro para el blanco a la misma longitud de onda utilizada para la curva de calibración. Luego poner en cero el espectrofotómetro con el blanco preparado en 5.2.7, realizar la lectura de la muestra y tomar el valor de SO<sub>2</sub> de la siguiente curva calibrada:

**Gráfico 7:2: Curva de Calibración del SO2**

Fuente: Elaboración Propia

## **ANEXO A.11. DETERMINACIÓN DE ESPUMA**

La medición de la estabilidad de la espuma de acuerdo al principio de Nibem, está basado en la medición del tiempo en el cual el collar de espuma desciende 10, 20 y 30 mm. En el momento que la espuma ha descendido hasta 10 mm desde el borde del vaso, el timer del equipo se enciende. Los próximos 30 mm será medidos digitalmente.

Un sistema móvil de electrodos, utiliza la conductividad de la espuma para medir el nivel de la misma. Una aguja larga está situada en el centro del sistema. Cuando una de las cuatro agujas exteriores, que también forman parte del sistema de electrodos, hace contacto con la espuma, el movimiento descendente es interrumpido. El contacto finaliza por el colapso de la espuma, cuando ha descendido un total de 40 mm.

### **Tratamiento de la muestra**

Las muestras deben ser atemperadas a 20°C ( $\pm 1^\circ\text{C}$ ) durante 30 minutos como mínimo, antes de comenzar el análisis. Muestras tomadas de tanques deben retirarse evitando el espumado.

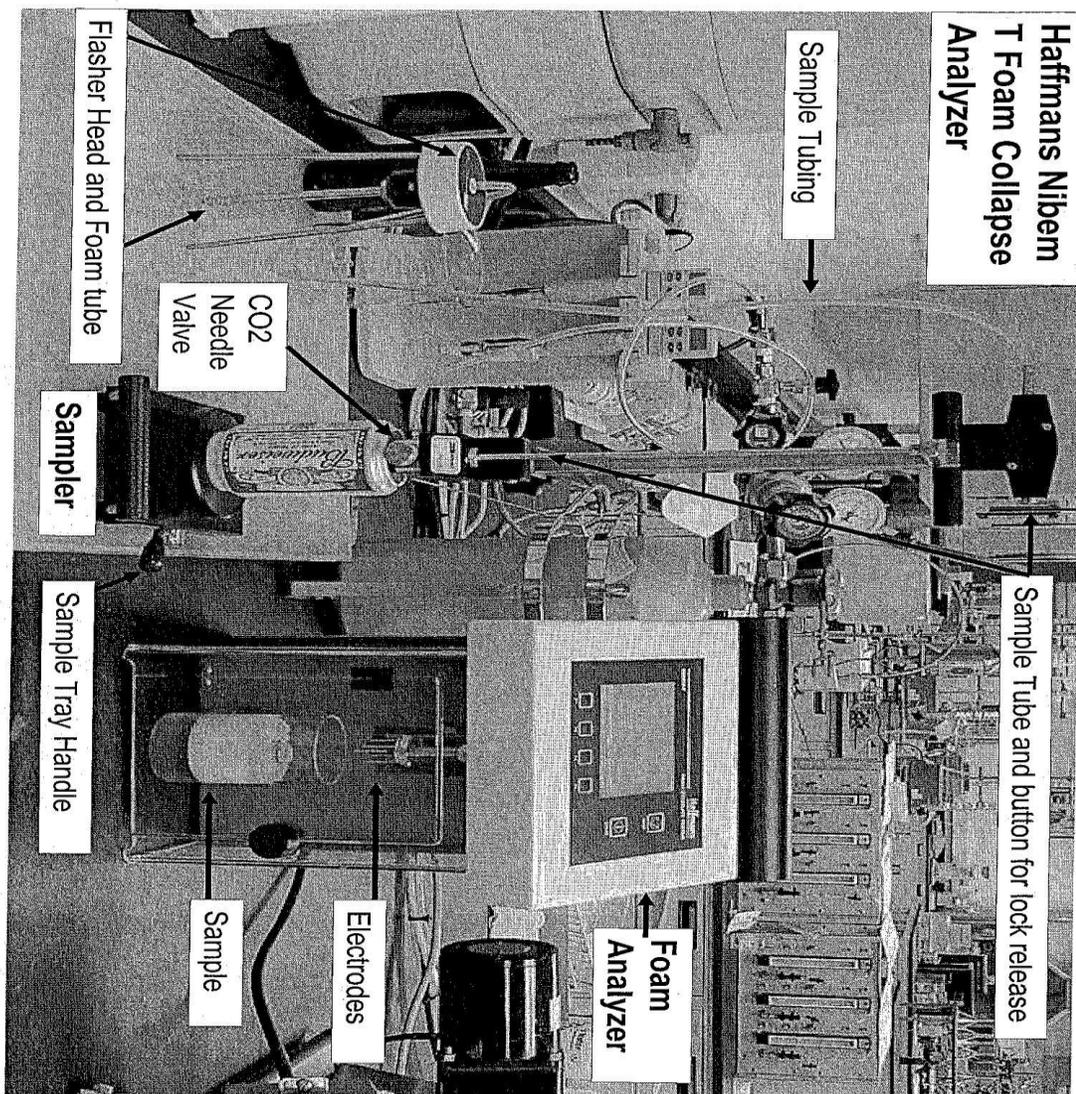
### **Procedimiento**

- Enjuagar el vaso limpio con agua desionizada y descartar
- Colocar la botella o lata atemperada sobre la bandeja de muestra (latas en posición invertida)
- Regular el cabezal del dispositivo perforador aflojando la perilla en forma de estrella ubicada en la parte posterior de la base. Posicionar el cabezal de manera que el sello de goma se encuentre a 1 a 3 mm por encima de la superficie del recipiente (tapa de botella ó base de la lata). Re-ajustar la perilla
- Utilizar la palanca de bloqueo para empujar el tubo hacia abajo hasta tocar la tapa de botella ó base de la lata. Tirar la palanca de la bandeja de muestra hacia delante perforando el recipiente. Utilizando la palanca de bloqueo, bajar el tubo del dispositivo perforador hasta llegar a la posición bloqueada (3 mm por encima del fondo)
- Abrir la válvula de CO<sub>2</sub> en el dispositivo perforador (el CO<sub>2</sub> debe estar conectado por medio de una manguerita plástica a la válvula reductora del tubo o la línea de CO<sub>2</sub> para aplicar una sobrepresión de 0,6 - 0,8 bar. El gas debe atravesar un filtro

para retener la humedad y posibles trazas de aceite antes de ingresar al formador de espuma.)

- Abrir la canilla de salida, hasta que el vaso sea llenado de espuma hasta el borde. Descartar.
- Nuevamente colocar el vaso debajo del tubo de espuma y despresurizar para llenar el vaso hasta el borde.
- Inmediatamente colocar el vaso debajo de los electrodos del equipo Nibem, asegurando que se ubique lo suficientemente atrás como para tocar los topes plásticos.
- Presionar "Start" en el equipo Nibem. Los electrodos descienden hasta el nivel de la espuma y luego miden 10 mm antes de comenzar a contar el tiempo. Este método mide el tiempo que tarda la espuma en colapsar 30 mm. Hay una señal sonora cuando se completa el test.
- Registrar el tiempo que tarda la espuma en colapsar 30 mm desde el inicio del conteo (T-30) y la temperatura de la espuma
- Expresar los resultados como el valor de Nibem 30 mm (en segundos).

Gráfico 7:3: Diagrama del Sistema de Determinación de Espuma



Fuente (14)

## ANEXO A.12. DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO SOLUBLE TOTAL

### Tratamiento de las muestras

Mosto frío:

Homogeneizar la muestra y filtrar a través de papel de filtro S&S 589 2 (banda blanca).

Cervezas:

Descarbonatar.

### Digestión

Pipetear 10 ml de mosto o cerveza, ó pesar  $0,5000 \pm 0,0001$  g de levadura seca, y colocar en los tubos de digestión de 250 ml.

Colocar luego:

- 2 tabletas catalizadoras Kjeldahl,
- Dos gotas de n-octanol (antiespumante)
- 20 ml de  $H_2O_2$  para mosto y 30 ml para cervezas
- 12.5 ml de  $H_2SO_4$  concentrado

La digestión se lleva a cabo a  $420^\circ C$  durante aproximadamente 30 minutos para mosto y cerveza, y 70 minutos para levadura seca. La misma finaliza cuando el líquido es transparente en el caso de haber usado pastillas de Se, o verde claro en caso de haber usado pastillas de Cu. Es importante regular la aspiración de vapores mediante el flujo de agua: flujo máximo durante los primeros 5 minutos de digestión (para evacuar humedad, etc) y luego disminuir la aspiración al mínimo para evitar pérdidas.

Paralelamente hacer un ensayo del blanco para corregir el valor por el nitrógeno que pueda estar contenido en los reactivos.

### Destilación

Una vez finalizada la digestión, dejar enfriar los tubos por 20 minutos aproximadamente y comenzar la destilación de muestras y blancos en la unidad de Destilación. Recolectar aproximadamente 180ml de destilado (de 4 a 5 minutos de destilación). Titular con HCl 0.1 N el erlenmeyer con la solución receptora y el destilado allí recogido hasta la aparición de color gris en el punto final de la titulación.

Para obtener el valor de N<sub>2</sub> utilizar la fórmula:

$$\text{Nitrógeno Total } \left[ \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right] = \frac{(V_2 - V_1) \cdot 14 \cdot 1000 \cdot N}{V_m}$$

Donde:

V1: ml de HCl utilizados para titular el blanco

V2: ml de HCl utilizados para titular la muestra

N: normalidad de la solución de HCl

V<sub>m</sub>: volumen de muestra (ml)

Para convertir el valor en proteínas, multiplicar el resultado de nitrógeno determinado por el factor 6.25 e informar con un decimal.

### **ANEXO A.13. DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO COAGULABLE**

Las proteínas influyen en la espuma y en la estabilidad física de la cerveza. Un alto contenido de proteínas da buenos valores de espuma y baja estabilidad física. La determinación del contenido de proteínas en el mosto da un indicio de estos dos parámetros, permitiendo predecir la estabilidad coloidal de la cerveza.

Procedimiento

#### **a) COAGULACION:**

- En un erlenmeyer o tubo de 500 ml con boca esmerilada colocar 200 ml de mosto previamente filtrado (S&S 589 o equivalente) o de cerveza descarbonatada (agitar hasta que desaparezca la espuma rica en nitrógeno coagulable) + 1 ml de la solución de ditionito + 1 gota de antiespumante + 20 perlas de vidrio. Identificar las muestras.
- Colocar sobre plancha calefactora conectada a un refrigerante Liebig de 40 cm con junta esmerilada.
- Destilar a reflujo durante 1 hs.
- Retirar el erlenmeyer y filtrar en caliente la solución resultante con papel de filtro S&S 597 (o equivalente).

- Lavar 4 veces el erlenmeyer con 10 ml de agua destilada hirviente, arrastrando el precipitado en forma cuantitativa y pasando a través del filtro. Esperar en cada oportunidad que el líquido haya drenado completamente.
- Lavar 3 veces más el filtro con 10 ml de agua destilada hirviente, esperando en cada oportunidad que el líquido haya drenado completamente.

### b) DIGESTION Y DESTILACIÓN

El papel de filtro y lo retenido por en él se colocan en equipo Kjeldahl y se procede según la técnica para Kjeldahl del método de Nitrógeno soluble total en mosto y cerveza (Anexo A.12).

### c) CALCULOS:

Se determina el contenido de nitrógeno coagulable mediante:

$$\text{Nitrógeno Coagulable} \left[ \frac{mg}{l} \right] = \frac{(V_2 - V_1) \cdot 14 \cdot 1000 \cdot N}{V_m}$$

Donde:

V1: ml de hidróxido de sodio utilizado para titular el blanco

V2: ml de hidróxido de sodio utilizado para titular la muestra

N: concentración de la solución de hidróxido de sodio

Vm: volumen de muestra

## ANEXO A.14. DETERMINACIÓN DE TURBIDEZ

La turbidez se define como la expresión de la propiedad óptica que hace que la luz se disperse y sea absorbida en lugar de propagarse en línea recta a través de la muestra. Dicha dispersión y absorción viene ocasionada por la interacción de la luz con las partículas suspendidas en la muestra. Expresado con sencillez la "turbidez" es lo contrario de la "claridad".

El turbidímetro esta diseñado para medir directamente la turbidez que puede aparecer en cerveza u otros líquidos cuya limpidez es de importancia comercial. Se requiere efectuar la medición en los recipientes recomendados por el fabricante, para cada modelo de equipo. Tanto el VOS 4000 como el VOS Rota 90 y 90/25 miden la turbidez en medidas EBC, la

que puede verse en el lector digital. El VOS 4000 (ya discontinuado) dispone de fuente de luz con luz blanca, mientras que VOS Rota se presenta con luz roja, de longitud de onda 650 nm, semejante al color de la mayoría de las cervezas y botellas de bebidas (esto permite menor absorción indeseada del haz de luz).

La turbidez medida a 90° es producida por partículas pequeñas ( $< 1 \mu\text{m}$  como proteínas y carbohidratos), mientras que a 25° se miden partículas mayores como levadura, kieselgur, PVPP y material inorgánico.

### **Preparación de la muestra**

La muestra debe tomarse después del llenado y pasteurizado de la cerveza.

Colocar la muestra en el baño termostático a 0°C durante 24 horas, contadas desde que el baño se estabiliza a 0°C.

Cumplido el tiempo, extraer la muestra del baño cuidadosamente y sin agitación

### **Desarrollo**

Llenar la cámara del turbidímetro con agua destilada hasta una altura de 3 a 4 cm. debajo del borde.

Transferir la cerveza, nuevamente sin agitación, del envase al vaso de vidrio ó cubeta con tapa a rosca, según corresponda, para lograr una muestra libre de burbujas.

Inmediatamente colocar la muestra en el turbidímetro y cerrar la tapa. Tener la precaución de no dejar huellas digitales sobre la superficie del vidrio del vaso donde incidirá el rayo de luz proveniente de la lámpara del equipo.

Presionar el botón START y leer en el display después de unos 10 segundos. Si la lectura indica "muestra inestable", eliminar las burbujas existentes y presionar nuevamente el botón START. Realizar la lectura a 90°.

**Gráfico 7:4: Turbidímetro Vos Rota 90**

## **ANEXO A.15. DETERMINACIÓN DE ESTABILIDAD COLOIDAL**

Las condiciones a las cuales una cerveza será expuesta en el mercado no pueden conocerse anticipadamente, pero para prever el comportamiento de una cerveza determinada en las condiciones adversas encontradas en el mercado, la misma es forzada a un envejecimiento más rápido que el normal mediante calentamiento a 50 °C durante 2 semanas y un enfriamiento a 0 °C durante 24 horas. Luego de enfriarse, la turbidez de la cerveza se lee en un turbidímetro, usando ángulo de 90°. Baños ó incubadoras pueden utilizarse para calentar y enfriar las muestras.

El valor obtenido permite obtener una previsión rápida con respecto a la susceptibilidad del producto a desarrollar turbidez biológica y estimar el tiempo en que una cerveza presentará opalescencia por almacenamiento prolongado (vida útil sin que la cerveza se enturbie).

### **Preparación de muestras**

Es recomendable enjuagar las muestras por inmersión de los envases en un recipiente con agua limpia, antes de colocarlos en el baño a 50°C. Esto permite mantener la conductividad del agua desionizada del baño en un valor bajo.

### **Forzado de las muestras**

De ser posible, colocar las muestras en el baño cuando este se encuentre a temperatura ambiente. Luego, setear la temperatura a 50°C y permitir que llegue a esa temperatura. Un aumento excesivo de temperatura en los envases puede ocasionar su explosión.

Si las muestras deben colocarse en el baño que ya se encuentra a 50°C, el shock térmico puede reducirse calentando suavemente las muestras en otro baño antes de someterlas a 50°C.

Las muestras deben mantenerse en el baño a 50°C durante dos semanas

La temperatura del baño es crítica y debe ser verificada con un termómetro certificado. El baño debe encontrarse a  $50 \pm 1$  °C

### **Medición de turbidez**

#### **Preparación de baños / incubadoras**

Llenar el baño termostático con propilenglicol 10%. Setear la temperatura del baño ó incubadora a 0°C. Esta temperatura es crítica y debe ser controlada con termómetro calibrado. La temperatura del baño ó incubadora debe ser  $0^\circ\text{C} \pm 0.5^\circ\text{C}$ . El nivel de líquido en el baño debe estar al menos 2 cm por encima del nivel de la cerveza contenida en las botellas.

#### **Colocando las muestras en el baño a 0°C ó incubadora**

Antes de colocar las muestras en el baño a 0°C ó incubadora, todos los envases deberían estar a la misma temperatura para que el nivel de enfriamiento no afecte la cantidad de turbios formados. Para asegurar que los envases se encuentren a la misma temperatura al ingresar en el baño ó incubadora a 0°C, se recomienda colocarlos previamente sobre una mesada durante 4 – 5 horas para alcanzar la temperatura ambiente.

Una vez que los envases ingresan en el baño o incubadora a 0°C, deben permanecer durante 24 horas, antes de proceder a la medición de turbidez.

#### **Lectura de turbidez**

Preparar el turbidímetro según lo descrito en el ítem 5.2. Extraer no más de 6 envases por vez del baño o incubadora a 0°C. Las muestras deben leerse en un plazo máximo de 10

minutos desde su extracción, caso contrario, el calentamiento de las muestras puede ocasionar disolución de los turbios y consecuentes lecturas erróneas.

Colocar la muestra en la cubeta y proceder a la lectura inmediatamente. No se debe desgasificar la muestra antes de medir. La cubeta debe mantenerse extremadamente limpia para evitar efervescencia durante la lectura.

## ANEXO A.16. DETERMINACIÓN DE OXÍGENO

- Conectar la manguera de entrada del equipo a la válvula de toma de muestra, asegurando que no exista ingreso de aire en las juntas y conexiones (Una aspiración de aire en la toma de muestra se manifiesta siempre con una fuerte variación de la señal cuando se varía el flujo de la muestra.)
- En las mediciones de cerveza no filtrada (RC, RB, cerveza fin de reposo), colocar un filtro en la manguera de entrada al equipo para evitar ingresos de sólidos que puedan dañar la membrana.
- Abrir la válvula de toma de muestra, verificando presión en el líquido que circula por la manguera de entrada al equipo (De este modo se evita espuma de burbujas en suspensión.)
- Regular el caudal de salida con la válvula propia del equipo (el caudal mínimo de salida es de 50 ml/min)
- Prender el equipo con el botón on/off. La lectura indicada en el display se estabiliza luego de unos segundos, siendo éste el resultado de la medición.
- Apagar el equipo a través del botón on/off y enjuagar, haciendo circular agua Standard por la manguera de entrada.

**Gráfico 7:5: Oxímetro Orbisphere 3100**



## ANEXO B: DATOS EXPERIMENTALES

### ANEXO B.1. PROTOCOLO DE MALTA

**Gráfico 7:6: Certificado de Análisis de Malta**

CERTIFICADO DE ANALISIS DE MALTA																												
<b>Informaciones Adicionales:</b> <b>Fecha de Fabricación</b> 01/05/2018  Especificaciones de Malta Pilsen de acuerdo con el documento número Código 102 111 TA - Revisión número 30 Abril 2018  BARCAZAS BOLIVIA U699 U706 U122 U447			<table border="1"> <tr> <td>Procedencia</td> <td>Maltaria Nueva Palmira - Musa</td> </tr> <tr> <td>Malta tipo</td> <td>Pilsen</td> </tr> <tr> <td>Fecha de Expedición</td> <td>01/06/2018</td> </tr> <tr> <td>Cantidad Total (ton)</td> <td>4.600</td> </tr> <tr> <td>Modal de Transporte</td> <td>BARCAZA</td> </tr> <tr> <td>Orden de Importación</td> <td>4504810705 / 4504898211 10 / 4504898212 10 / 4504898213 10</td> </tr> <tr> <td>Destino</td> <td>Bolivia</td> </tr> <tr> <td>Nº Lote</td> <td>29/18</td> </tr> <tr> <td>Bodega/ Barcaza</td> <td>BARCAZAS U609 U706 U122 y U447</td> </tr> <tr> <td>Nota Fiscal / Factura</td> <td>Proformas: 568 / 573 / 574 / 575</td> </tr> <tr> <td>DUA</td> <td>534599 / 534594 / 534595 / 534597</td> </tr> </table>				Procedencia	Maltaria Nueva Palmira - Musa	Malta tipo	Pilsen	Fecha de Expedición	01/06/2018	Cantidad Total (ton)	4.600	Modal de Transporte	BARCAZA	Orden de Importación	4504810705 / 4504898211 10 / 4504898212 10 / 4504898213 10	Destino	Bolivia	Nº Lote	29/18	Bodega/ Barcaza	BARCAZAS U609 U706 U122 y U447	Nota Fiscal / Factura	Proformas: 568 / 573 / 574 / 575	DUA	534599 / 534594 / 534595 / 534597
Procedencia	Maltaria Nueva Palmira - Musa																											
Malta tipo	Pilsen																											
Fecha de Expedición	01/06/2018																											
Cantidad Total (ton)	4.600																											
Modal de Transporte	BARCAZA																											
Orden de Importación	4504810705 / 4504898211 10 / 4504898212 10 / 4504898213 10																											
Destino	Bolivia																											
Nº Lote	29/18																											
Bodega/ Barcaza	BARCAZAS U609 U706 U122 y U447																											
Nota Fiscal / Factura	Proformas: 568 / 573 / 574 / 575																											
DUA	534599 / 534594 / 534595 / 534597																											
<b>Análisis</b>	<b>Grupo</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Especificaciones</b>		<b>Unidad</b>	<b>Obs.</b>	<b>Resultados</b>																					
			<b>Min.</b>	<b>Máx.</b>																								
Humedad	Extracto	IC	—	5,5	%		5,2																					
Rendimiento C.R. i.a.		Informativo	—	—	%		76,3																					
Extracto ia (moagem fina)		ICL	80,0	—	%		80,5																					
Atenuación Limite Aparente	Color	ICL	80,0	83,0	%		81,0																					
Color de Mosto		ICL	—	4,5	EBC		4,1																					
Color de Cocción		ICL	5,0	7,0	EBC		5,9																					
Proteína Total		ICL	9,5	11,5	% DM		10,5																					

Fuente: Maltería Nueva Palmira

## ANEXO B.2. PROTOCOLO DE MAÍZ

### Gráfico 7:7: Certificado de Análisis del Maíz

		<b>CERVECERIA BOLIVIANA NACIONAL S.A.</b>				
		<b>PROTOCOLO DE ANÁLISIS MAIZ DESGERMINADO</b>				
Lote AB INBEV	R062203101	Ciente:	Planta CBN –LA PAZ			
Fecha de producción	21 – 06 - 2018	Chofer camión:	JAIME MENESES ZEBALLOS			
Lote Nro.:	L172-18	Placa:	4254 - ABL			
Grupo	Propiedades	Unidad	Estándar	Tolerancia	Valor	Métodos de Análisis
REQUISITOS FISICO-QUÍMICOS						
■	Humedad	%	≤ 14	≤ 14,5	<b>13,32</b>	MP 17 / MP 21
■	Materia grasa ( s/s ) (MODIFICADO)	%	≤ 0.8	≤ 0.9	<b>0,49</b>	MP 30
	Acidez de la grasa	mg KOH	≤ 2.5	≤ 2.5	<b>0,19</b>	MP 44

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad de Santa Cruz

## ANEXO C: DISEÑO EXPERIMENTAL

### ANEXO C.1. PRUEBAS EN COCIMIENTO

Tabla 7:1: Diseño Experimental en Cocimiento

Prueba	Tiempo [min]	Temperatura [°C]	pH	Nitrógeno Coagulable [mg/l]
1	15	88	5	34.5
2	25	88	5	14.7
3	15	89	5	35.1
5	25	89	5	15.15
4	15	88	5.2	36.6
6	25	88	5.2	15.2
7	15	89	5.2	39.9
8	25	89	5.2	15.5

Fuente: Elaboración Propia

## ANEXO C.2. PRUEBAS EN FERMENTACIÓN

**Tabla 7:2: Diseño Experimental en Fermentación**

Prueba	Cocimientos Dosificados	Aireación de Mosto	Carga de Levadura	Generación Levadura	SO <sub>2</sub> [ppm]
1	1-2-3	9	0.92	2	5.58
2	1-3-4	9	0.92	2	8.14
3	1-2-3	10	0.92	2	5.02
5	1-3-4	10	0.92	2	7.44
4	1-2-3	9	0.94	2	5.32
6	1-3-4	9	0.94	2	8.31
7	1-2-3	10	0.94	2	4.23
8	1-3-4	10	0.94	2	7.84
9	1-2-3	9	0.92	4	6.725
10	1-3-4	9	0.92	4	13.45
11	1-2-3	10	0.92	4	5.44
13	1-3-4	10	0.92	4	11.8
12	1-2-3	9	0.94	4	6.22
14	1-3-4	9	0.94	4	12.44
15	1-2-3	10	0.94	4	5.74
16	1-3-4	10	0.94	4	12.4

Fuente: Elaboración Propia

## ANEXO C.3. PRUEBAS EN FILTRACIÓN

**Tabla 7:3: Diseño Experimental en Filtración**

Prueba	Alginato [g/Hl]	PVPP [g/Hl]	Tetrahop [g/Hl]	Espuma [s]	Amargo [IBU]	Estabilidad Coloidal [EBC]
1	0	25	0	235	14.31	0.11
2	2	25	0	275	14.5	4.45
3	0	40	0	237	14.41	0.45
5	2	40	0	257	14.8	1.71
4	0	25	3	285	16.74	1.6
6	2	25	3	285	16.84	4.51
7	0	40	3	287	16.97	0.51
8	2	40	3	315	17.52	4.48

Fuente: Elaboración Propia





## ANEXO D.3. PROCESO DE FILTRACIÓN

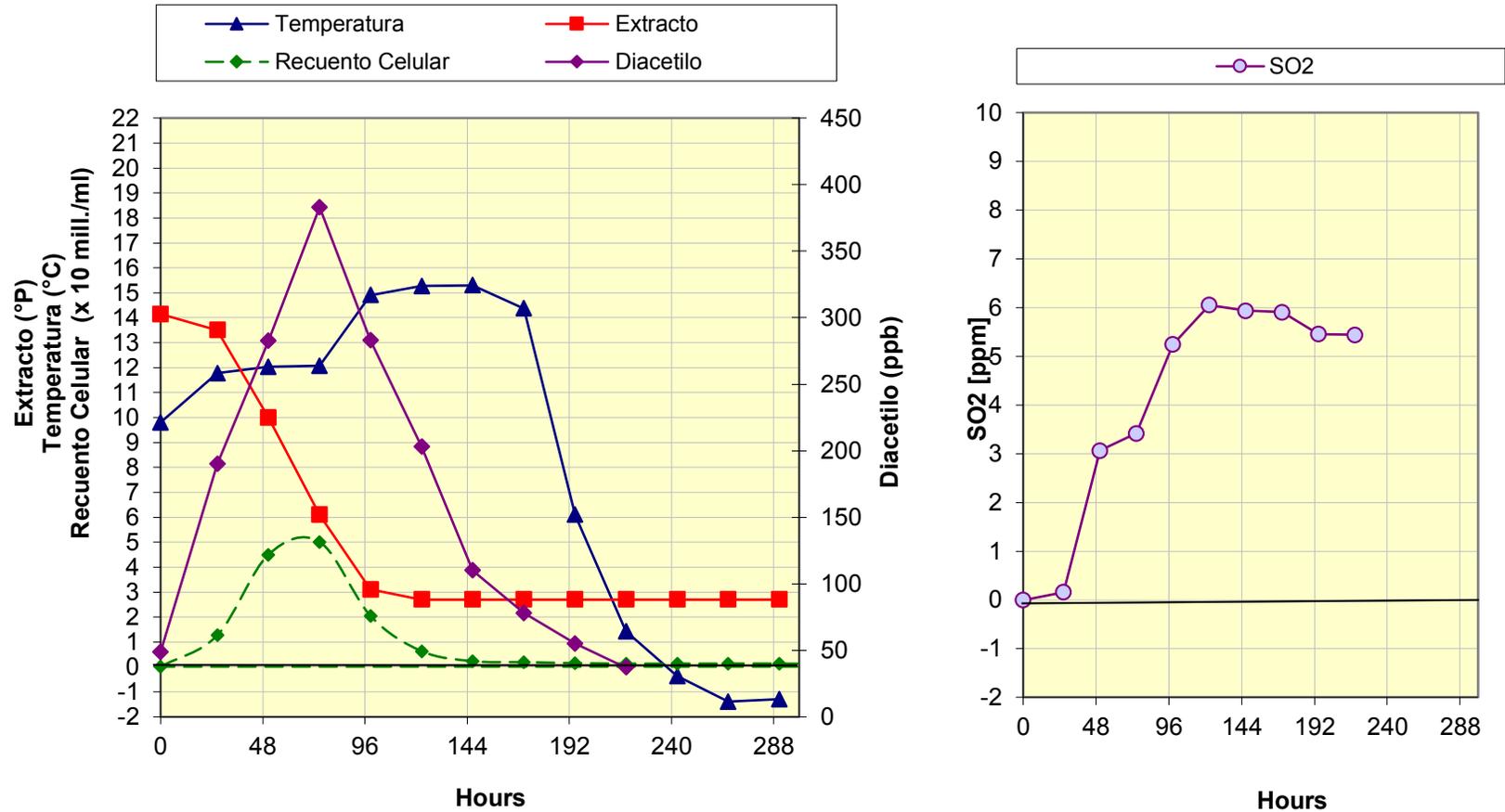
### Gráfico 7:10: Mejores Condiciones de Filtración

Criteria		Solutions		Graphs									
Solutions		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Constraints</b>													
			Lower	Upper	Lower	Upper							
<b>Name</b>	<b>Goal</b>		<b>Limit</b>	<b>Limit</b>	<b>Weight</b>	<b>Weight</b>	<b>Importance</b>						
Alginato	is target = 0.00		0	2	1	1	3						
PVPP	is in range		25	40	1	1	3						
Tetrahop	is in range		0	3	1	1	3						
Estabilidad Coloi	minimize		0.11	4.51	1	1	3						
Espuma	maximize		235	315	1	1	3						
Amargo	is target = 17		14.31	17.52	1	1	3						
<b>Solutions</b>													
	<b>Number</b>	<b>Alginato</b>	<b>PVPP</b>	<b>Tetrahop</b>	<b>Estabilidad Col</b>	<b>Espuma</b>	<b>Amargo</b>	<b>Desirability</b>					
	1	<u>0.00</u>	<u>40.00</u>	<u>2.97</u>	<u>0.256862</u>	<u>281.541</u>	<u>17</u>	<u>0.866</u>					<u>Selected</u>
	2	0.00	39.94	2.97	0.264593	281.563	17	0.866					
	3	0.00	39.84	2.97	0.277026	281.599	17	0.865					
	4	0.00	39.56	2.98	0.31244	281.7	17	0.864					
	5	0.03	40.00	2.96	0.310265	281.904	16.9996	0.862					
	6	0.00	38.72	3.00	0.420916	281.99	16.9989	0.859					
	7	0.05	39.93	2.96	0.368465	282.274	17	0.858					
	8	0.03	38.59	3.00	0.491034	282.417	17	0.855					
	9	0.09	40.00	2.95	0.43341	282.763	17	0.853					
	10	0.20	40.00	2.93	0.675055	284.421	16.9997	0.834					
	11	0.22	37.18	3.00	1.03407	285.263	17	0.815					
	12	0.00	31.58	3.00	1.33236	282	16.8437	0.795					

Fuente: Design Expert

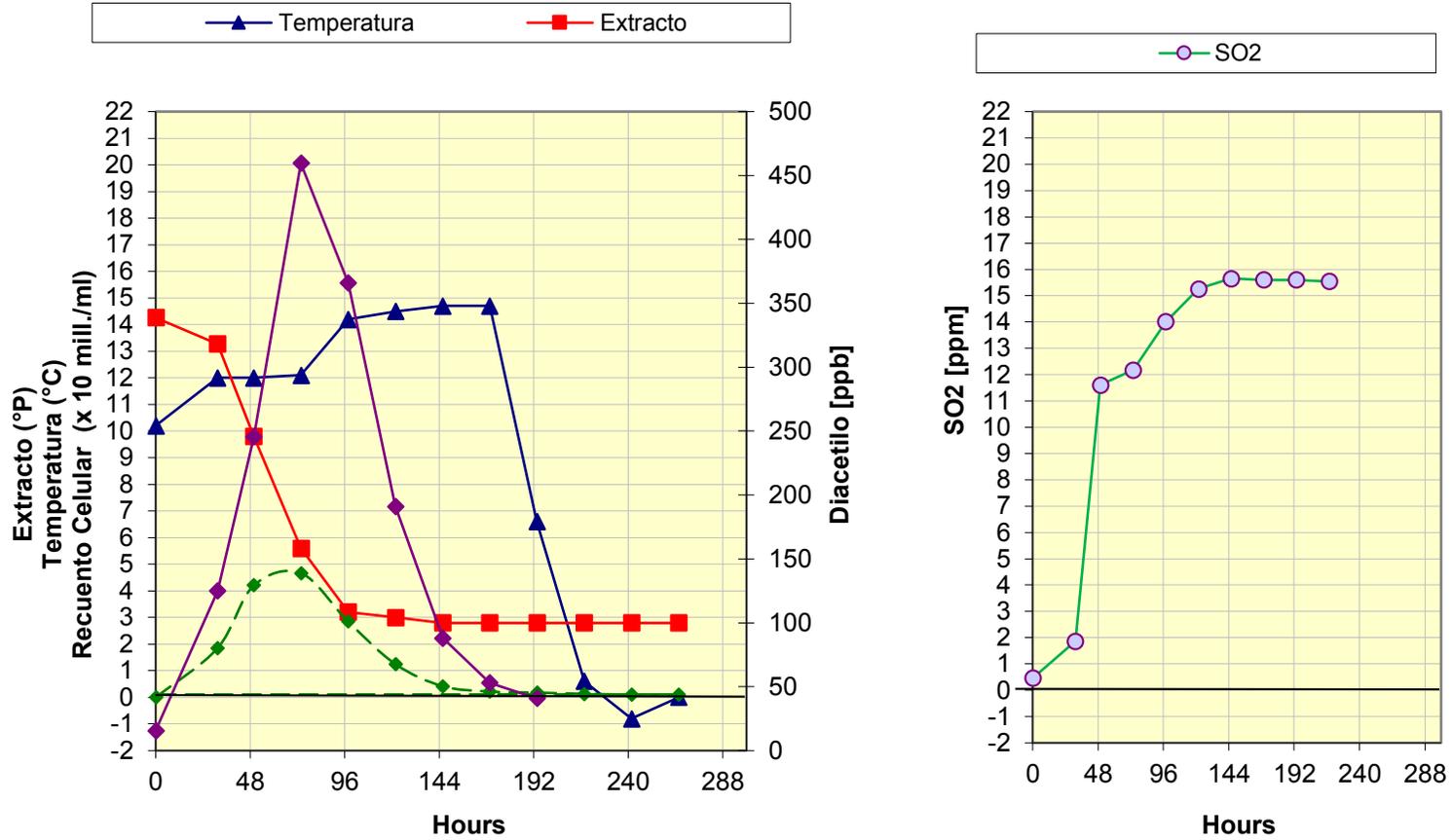
**ANEXO E: CURVAS DE FERMENTACIÓN**

**Gráfico 7:11: Curva de Fermentación**



Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico 7:12: Curva de Fermentación Prueba de Generación de SO<sub>2</sub>**



Fuente: Elaboración Propia

## ANEXO F: GLOSARIO DE TÉRMINOS TÉCNICOS

**Alginato:** Aditivo empleado en la cerveza para aumentar la estabilidad de la espuma en el producto.

**BPF:** Buffer Prefiltrado. Recipiente utilizado como pulmón para contener la cerveza verde antes de ingresar al filtro. El objetivo es el de mantener constante el caudal y presión para ingreso a filtro de cerveza.

**BF:** Buffer Filtrado. Recipiente utilizado como pulmón para contener la cerveza filtrada luego de ingresar al filtro de tierras.

**Cocimiento:** Proceso de obtención de mosto frío listo para fermentar a partir de la materia prima e insumo utilizado para el efecto/ (Sala de ..) Lugar físico donde se realiza el cocimiento.

**Dosificación:** Cantidad del material que se utiliza referido a un volumen o peso determinado, se deben expresar las unidades.

**Fermentación:** Proceso de obtención de cerveza disponible para filtrar a partir de mosto frío. / (Sala de ..) Lugar físico donde se realiza la fermentación.

**Estabilidad coloidal:** Propiedad de la cerveza que mide el tiempo en el que los coloides o las partículas de proteínas pueden comenzar a precipitar en la cerveza.

**Filtración de cerveza:** Proceso de obtención de cerveza lista para envasar a partir de cerveza verde disponible. / (Sala de..) Lugar físico donde se realiza la filtración.

**Grado Plato:** Se refiere a la concentración de glucosa en gGlucosa/100ml de Solución.

**Granos:** Nombre genérico con que se denominan a los cereales contenidos en los silos, sean malta o adjunto

**Insumo:** Material utilizado para proporcionar o coadyuvar al producto a poseer una característica determinada. La ausencia del insumo no representa la pérdida de la esencia del producto. El insumo no pasa a formar parte del producto final ya sea disuelto o suspendido.

**Kieselguhr:** También llamada tierra de diatomea, son rocas sedimentarias constituidas por restos esqueléticos de plantas microscópicas. Es utilizado como medio filtrante en filtración de cerveza.

**Lecho de filtración:** Material constituido principalmente por bagazo que se depositan en el falso fondo de la cuba filtro.

**Levadura:** Hongo unicelular que se reproduce por gemación y es el responsable de la transformación de los azúcares durante la fermentación.

**Materia prima:** Material utilizado para la elaboración de un producto sin el cual se pierde la esencia del mismo.

**Medidora:** Recipiente destinado a contener la cerveza filtrada y lista para su envío a envasado.

**MKS:** Metabisulfito de Potasio, es un aditivo que se emplea como conservante de la cerveza.

**Mosto:** Solución del extracto en agua. Se denomina de ésta manera al producto en proceso a partir de la filtración de mosto en cocimiento.

**Mosto caliente:** Mosto al final de la ebullición en el proceso de cocimiento.

**Mosto frío:** Mosto a la salida del enfriamiento del mosto e ingreso a fermentación.

**Propagación:** Proceso de obtención de levadura a escala industrial a partir de un cultivo madre.

**Tetrahop:** Tipo de lúpulo conocido como “tetra” que por sus características se añade en el último proceso de filtración.

**TCC:** Tanque Cilindro Cónico. Recipiente donde se realiza el proceso de fermentación, constituye un batch de producción.

**TL:** Tanque de almacenaje de levadura

**Trap:** Filtro pulidor instalado “in line” para retener partículas que accidentalmente pudiera atravesar el filtro de tierras.

**Tratamiento de mosto:** En cocimiento etapa en la que se acondiciona el mosto filtrado de manera a obtener el mosto frío listo para fermentar. Comprende la ebullición, la decantación de turbios en el Whirlpool y el enfriamiento.

**Turbios:** Material separado del mosto en el whirlpool y que se encuentra constituido principalmente por sustancias nitrogenadas y restos de lúpulo. / Trub.

**Trub:** Turbios arrastrados por el mosto frío constituido principalmente por sustancias nitrogenadas y restos de lúpulo.