

Tabla de Contenido

Índice de Tablas	vii
Índice de Ilustraciones	ix
1. Introducción	1
1.1. Maltexco S.A	1
1.2. El mercado de las cervezas y malta	1
1.3. Motivación	2
1.4. Objetivos	3
2. Marco Teórico y Antecedentes	4
2.1. La cerveza	4
2.1.1. Características de las cervezas	5
2.1.2. Tipos y estilos de cerveza	7
2.2. La malta	9
2.2.1. Composición química de la malta	10
2.2.2. El proceso de malteo	14
2.2.3. Maltas base y maltas especiales	15
2.2.4. Adjuntos	16
2.3. Proceso de elaboración de cervezas	17
2.4. Planta Piloto de cervezas y extractos de Maltexco	20
3. Metodología	26
3.1. Búsqueda bibliográfica	27
3.2. Curso de elaboración de cerveza artesanal	27
3.3. Montaje de los análisis fisicoquímicos	27
3.4. Ensayos previos a la elaboración de los lotes de cervezas	28
3.4.1. Elaboración de lote de prueba	28
3.4.2. Tiempos de fermentación a escala laboratorio	29
3.4.3. Pruebas y ensayos en equipos de la planta piloto	30
3.5. Elaboración de los lotes de cerveza	31
3.6. Análisis fisicoquímicos a las cervezas elaboradas	34
3.7. Construcción de Diagrama de Tuberías e Instrumentación (P&ID)	35
3.8. Análisis estadístico preliminar	35
3.9. Redacción de protocolo de elaboración de cervezas	35
4. Resultados y Discusión	37

4.1.	Montaje de los análisis fisicoquímicos	37
4.1.1.	Validación de los análisis fisicoquímicos	37
4.1.2.	Propuesta de análisis de turbidez, turbidez forzada y validación	38
4.2.	Ensayos previos a la elaboración de los lotes de cerveza	40
4.2.1.	Elaboración del lote de prueba	40
4.2.2.	Tiempos de fermentación a escala laboratorio	41
4.2.3.	Pruebas y ensayos en equipos de la planta piloto	42
4.3.	Elaboración y análisis de los lotes de cerveza	44
4.3.1.	Primer lote de cervezas: Problemas durante la filtración	44
4.3.2.	Segundo lote de cervezas: Fermentación extendida a dos semanas	48
4.3.3.	Tercer lote de cervezas: Pruebas con maltas especiales	51
4.4.	Cartas de control y estandarización del proceso	54
4.5.	Problemas detectados en la planta piloto	59
4.5.1.	Fallas en el Sistema de Control	59
4.5.2.	Problemas en el sistema de refrigeración de los fermentadores	59
4.5.3.	Contaminación de batches	62
4.5.4.	Baja gasificación de las cervezas	64
4.5.5.	Seguimiento de la fermentación	66
4.5.6.	Pérdida de mosto después de la clarificación	67
4.5.7.	Zonas de la planta piloto sin limpiar	67
4.6.	Procedimiento final de elaboración de cervezas	70
5.	Conclusiones y Recomendaciones	72
5.1.	Conclusiones generales	72
5.2.	Recomendaciones y trabajos futuros	74
	Bibliografía	75
	Anexos	80
	A. Estructura del grano de cebada	81
	B. Análisis fisicoquímicos de la malta y adjuntos	83
	C. Proceso de Elaboración de Cervezas	85
C.1.	Molienda del grano	85
C.2.	Maceración	85
C.3.	Filtración	90
C.4.	Cocción	92
C.5.	Fermentación	95
C.6.	Maduración	96
	D. El lúpulo	102
D.1.	Sustancias amargas	103
D.2.	Aceites del lúpulo	103
D.3.	Productos del lúpulo	104
	E. La levadura cervecera	106

E.1. Clasificación de las levaduras	106
E.2. Consumo de nutrientes	107
E.3. Fermentación alcohólica	108
F. Protocolos para los análisis fisicoquímicos de la cerveza	110
F.1. Determinación del grado alcohólico	110
F.2. Determinación del color (EBC)	111
F.3. Determinación del amargor (IBU)	112
F.4. Turbidez y turbidez forzada de la cerveza	113
F.5. Estabilidad de la espuma	114
F.6. Determinación de la viscosidad	115
F.7. Determinación del pH	116
G. Estimación de IBUs y Pitching rate de levadura	117
G.1. Estimación de los IBUs entregados por los lúpulos	117
G.2. Estimación del pitching rate de levadura	118
H. Resultados y precedimientos secundarios del trabajo de memoria	119
H.1. Elaboración del lote de prueba	119
H.2. Procedimiento para la determinación del volumen del trub en el estanque whirlpool	123
H.3. Resultados de los análisis fisicoquímicos de las cervezas elaboradas	123
I. Protocolo de elaboración de cervezas en planta piloto	125
J. Diagrama de Tuberías e Instrumentación de la planta piloto	153

Índice de Tablas

2.1. Cuadro comparativo entre cervezas <i>ale</i> y <i>lager</i>	8
2.2. Características de algunos adjuntos cerveceros.	16
3.1. Condiciones de operación del proceso productivo seguido para la fabricación del lote de prueba.	29
3.2. Condiciones de operación del proceso productivo seguido en los ensayos de laboratorio.	30
3.3. Estadísticas vitales de cervezas tipo <i>Pilsen</i> y <i>Blonde Ale</i>	32
3.4. Características de las maltas utilizadas para la elaboración de los lotes de cerveza.	32
3.5. Características de los lúpulos utilizados para la elaboración de los lotes de cerveza.	33
3.6. Características de las levaduras utilizadas en la elaboración de los lotes de cerveza.	33
3.7. Condiciones de operación del proceso productivo seguido para la elaboración del primer lote de cervezas.	33
3.8. Condiciones de operación del proceso productivo seguido para la elaboración del segundo lote de cervezas.	34
3.9. Condiciones de operación del proceso productivo seguido para la elaboración del tercer lote de cervezas.	34
4.1. Medición de grado alcohólico, color, viscosidad y estabilidad de espuma con sus respectivos valores esperados para una muestra de cerveza Carlsberg. . .	37
4.2. Extracción de azúcares utilizando dos moliendas de malta distintas.	42
4.3. Temperatura de salida del producto a distintos flujos.	43
4.4. Rangos esperados para los resultados de los análisis fisicoquímicos de las cervezas elaboradas en la planta piloto de Maltexco.	44
4.5. Seguimiento del proceso de elaboración del primer lote de cervezas en la planta piloto de Maltexco.	44
4.6. Temperaturas de los fermentadores al final del proceso de maduración del primer lote de cervezas.	46
4.7. Seguimiento del proceso de elaboración del segundo lote de cervezas en la planta piloto de Maltexco.	49
4.8. Seguimiento del proceso de elaboración del tercer lote de cervezas en la planta piloto de Maltexco.	52

4.9. Temperaturas de los fermentadores durante el proceso de maduración del tercer lote de cervezas.	52
4.10. Condiciones de operación para la elaboración de cervezas en la planta piloto.	70
B.1. Algunos parámetros de calidad para las maltas.	84
C.1. Temperatura y pH óptimos de algunas enzimas de la cebada malteada durante la maceración.	86
H.1. Seguimiento del proceso de elaboración del lote de prueba en la planta piloto de Maltexco.	120
H.2. Resultados de los análisis fisicoquímicos a las muestras del lote de prueba. . .	123
H.3. Resultados de los análisis fisicoquímicos a las muestras del primer lote de cervezas.	124
H.4. Resultados de los análisis fisicoquímicos a las muestras del segundo lote de cervezas.	124
H.5. Resultados de los análisis fisicoquímicos a las muestras del tercer lote de cervezas.	124

Índice de Ilustraciones

1.1. Producción mundial de cervezas entre los años 2000 y 2014.	2
2.1. Escala de colores EBC.	6
2.2. Diagrama de Venn para distintos estilos de cervezas.	8
2.3. Esquema de la sección longitudinal del grano de cebada.	10
2.4. Diagrama de las estructuras de amilosa y amilopectina.	11
2.5. Diagrama de las estructuras semicristalinas de las moléculas del almidón. . .	12
2.6. Representación de Haworth de una cadena de β -glucanos.	13
2.7. Diagrama de bloques del proceso de malteo.	14
2.8. Diagrama de bloques de los procesos de elaboración de maltas base y especiales.	16
2.9. Diagrama de bloques del proceso de elaboración de cervezas.	17
2.10. Crecimiento de la levadura en cultivo batch.	19
2.11. Macerador de la planta piloto.	20
2.12. Filtro vertical de la planta piloto.	21
2.13. Estanque <i>whirpool</i> de la planta piloto.	22
2.14. Concentrador de la planta piloto.	23
2.15. Fermentadores de la planta piloto.	23
2.16. Gasificador de la planta piloto.	24
2.17. Sistema de envasado de la planta piloto.	25
3.1. Esquema del proceso realizado en el trabajo de memoria.	26
3.2. Equipos e instrumentos utilizados durante el trabajo de memoria de título. .	36
4.1. Esquema del funcionamiento de un turbidímetro para la medición de la turbidez de una muestra de cerveza.	38
4.2. Medición de la absorbancia a 700 nm a cuatro cervezas con y sin adición de sulfato de sodio.	39
4.3. Fotografías a la torta formada durante la filtración de dos batches del lote de prueba.	40
4.4. Evolución temporal de las fermentaciones realizadas en el Laboratorio de Desarrollo de Maltexco.	41
4.5. Resultados de los análisis fisicoquímicos para las cervezas del primer lote. . .	47
4.6. Resultados de los análisis fisicoquímicos para las cervezas del segundo lote. .	50
4.7. Resultados de los análisis fisicoquímicos para las cervezas del tercer lote. . .	53
4.8. Carta de control para la gravedad del mosto dulce.	54
4.9. Carta de control para la gravedad original del mosto.	55
4.10. Carta de control para la gravedad final de la cerveza.	55

4.11. Carta de control para grado alcohólico de la cerveza.	56
4.12. Carta de control para grado alcohólico de la cerveza.	56
4.13. Cartas de control para la turbidez de la cerveza.	57
4.14. Cartas de control para la turbidez forzada de la cerveza.	57
4.15. Carta de control para la viscosidad de la cerveza.	57
4.16. Carta de control para la estabilidad de espuma de la cerveza.	58
4.17. Carta de control para el pH de la cerveza.	58
4.18. Fotografía al panel de control de los fermentadores durante la maduración del tercer lote de cervezas.	60
4.19. Esquema del sistema de refrigeración de la planta piloto de Maltexco.	61
4.20. Esquema del balance de energía de uno de los fermentadores.	61
4.21. Esquema del sistema de inoculación en línea propuesto para la planta piloto.	63
4.22. Comparación entre el sistema de gasificación original de la planta piloto y el usado para la elaboración de los lotes de cerveza.	65
4.23. Esquema del gasificador y el contenido de cerveza de un fermentador.	65
4.24. Configuración actual de los fermentadores de la planta piloto de Maltexco.	66
4.25. Muestras del <i>trub</i> del mosto a distintos volúmenes de recolección.	68
4.26. Esquemas de la configuración actual del <i>whirpool</i> y la configuración propuesta.	68
4.27. Comparación entre la configuración actual de la línea de alimentación hacia el gasificador y la propuesta.	69
A.1. Esquemas de la sección longitudinal y transversal del grano de cebada.	82
C.1. Comparación entre 3 programas de maceración distintos.	87
C.2. Equipos utilizados para la maceración.	89
C.3. Diagrama de una cuba-filtro.	91
C.4. Fotografía a un filtro de membrana compresora.	91
C.5. Caldera de cobre de base redonda con chaquetas calefactoras ubicadas asimétricamente.	93
C.6. Patrón de flujo ideal al interior de un estanque <i>whirpool</i>	94
C.7. Dos esquemas de estanques <i>whirpool</i>	94
C.8. Crecimiento de la levadura en cultivo batch.	95
C.9. Avance temporal de fermentaciones ale y lager.	97
C.10. Fermentador cilindrocónico.	98
C.11. Esquema de un estanque de maduración.	100
C.12. Relación entre el contenido de CO ₂ , temperatura y presión de la cerveza en condiciones de equilibrio.	100
C.13. Esquema de una unidad de carbonatación típica.	101
D.1. Morfología de los conos de lúpulo y las glándulas de lupulina.	102
D.2. Estructura general de los α y β -ácidos.	103
D.3. Comparación entre la humulona y sus 2 formas isomerizadas.	104
D.4. Fotografías a 3 productos del lúpulo utilizados en la industria cervecera.	105
E.1. Levaduras de fermentación baja y alta bajo el microscopio.	107
E.2. Vías metabólicas de la glicólisis y de la fermentación alcohólica con las respectivas enzimas involucradas en cada reacción.	109

G.1. Utilización del lúpulo a distintos tiempos.	118
H.1. Fotografías a la torta formada durante la filtración de dos batches del lote de prueba.	120
H.2. Resultados de los análisis a los 4 batches del lote de prueba.	122