

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**ELABORACIÓN DE CERVEZA ARTESANAL ESTILO MILK
STOUT CON CASCARILLA DE CACAO.**

Por:

JULIO CESAR QUIROGA CARDOZO

**Modalidad de graduación: Proyecto de Grado Investigación Aplicada
presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN
MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de
Licenciatura en Ingeniería Química.**

Julio de 2025

TARIJA – BOLIVIA

VºBº

M.Sc. Ing. Marcelo Segovia Cortez

DECANO FACULTAD DE
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

M.Sc. Ing. Fernando Erick Cortez Michel

VICEDECANO FACULTAD DE
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

M.Sc. Ing. Rene Emilio Michel Cortes

DIRECTOR DE CARRERA

APROBADA POR:

TRIBUNAL:

ING. JUAN CARLOS VEGA KNEZ

ING. MARIO YERKO SFARCICH VARAS

ING. PAOLA CÉSPEDES GIRA

Advertencia

El tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo esta responsabilidad del autor.

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi madre y a mi hermana, por haber estado siempre a mi lado, incluso en los momentos más difíciles. Su amor, fortaleza y fe en mí me sostuvieron cuando más lo necesité. A mis amigos, que nunca dejaron de creer en mí. Su apoyo y palabras de aliento fueron una luz en los días más oscuros. A mis docentes, por sus buenos deseos, su guía y su confianza a lo largo de este proceso. Y a mi Maya, mi fiel compañera de batalla, por acompañarme en silencio en cada jornada, regalándome paz y cariño cuando más lo necesitaba. A todos ustedes, gracias por inspirarme a seguir y llegar hasta aquí.

Agradecimientos

A mi madre y a mi hermana, por estar presentes en todo momento. Su apoyo, tanto emocional como práctico, fue clave para que pudiera llegar hasta aquí.

También agradezco a mis docentes y miembros del tribunal, por compartir su conocimiento y por su acompañamiento durante este proceso académico.

Pensamiento

Para hacer algo especial, debes creer que es especial.

“Sr. Ping”

Un alma decidida puede lograr lo que miles temen intentar.

“Sylvanas Brisaveloz”

El destino puede ser incierto, pero el corazón firme nunca se perderá en la tormenta.

“Tyrande Susurravientos “

Contenido	
Advertencia	
Dedicatoria	
Agradecimientos	
Pensamiento	

INTRODUCCIÓN

Antecedentes	1
Objetivos	3
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos	3
Justificación del proyecto.....	4
Justificación tecnológica	4
Justificación económica	4
Justificación social	4
Justificación ambiental.....	5

CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO

1.1 Definición de cerveza	6
1.2 Características de la cerveza	6
1.3 Clasificación de las cervezas.....	8
1.3.1 Cervezas de alta fermentación	8
1.3.2 Cervezas de alta baja fermentación.....	8
1.4 Propiedades identificables en la cerveza.....	8
1.4.1 Propiedades visuales	8
1.4.1.1 Color.....	8
1.4.1.2 Claridad	9

1.4.1.3 Espuma.....	9
1.4.2 Propiedades olfativas	9
1.4.2.1 Aroma.....	9
1.4.2.2 Intensidad	9
1.4.2.3 Complejidad	10
1.4.2.4 Perfil aromático	10
1.4.3 Propiedades gustativas	10
1.4.3.1 Sabor	10
1.4.3.2 Dulzura.....	10
1.4.3.3 Amargor	10
1.4.4 Propiedades táctiles	10
1.4.4.1 Sensación en la boca	10
1.4.4.2 Temperatura	11
1.5 Unidades de medida para la caracterización de cerveza	11
1.5.1 Atenuación	11
1.5.2 Alcohol.....	11
1.5.3 Amargor	12
1.5.4 Grados Plato	13
1.5.5 Color.....	14
1.5.6 Fermentación alcohólica	15
1.6 Requisitos generales.....	15
1.6.1 Requisitos fisicoquímicos	16
1.6.2 Requisitos microbiológicos.....	16
1.7 Proceso de elaboración de cerveza.....	17
1.7.1 Molienda	17

1.7.2 Macerado.....	18
1.7.3 Extracto	19
1.7.3.1 Contenido del extracto	19
1.7.4 Tipos de maceración	19
1.7.4.1 Maceración simple	20
1.7.4.2 Maceración escalonada	20
1.7.5 Influencia del pH y la temperatura.....	21
1.7.6 Primera filtración	24
1.7.6.1 Filtrado por presión	25
1.7.8 Cocción	25
1.7.9 Clarificación.....	26
1.7.9.5 Tipos de clarificantes	27
1.7.10 Enfriado y segunda filtración	28
1.7.11 Fermentación primaria	29
1.7.12 Tercera filtración.....	30
1.7.13 Carbonatación	30
1.7.13.1 Por adición de azúcar (Prim Ming)	30
1.7.13.2 Fuentes de azúcar para carbonatar	33
1.7.13.3 Por disolución de CO ² (Kegging)	34
1.7.14 Maduración y embotellado.....	35
1.8 Materia prima empleada en la elaboración de cerveza artesanal	35
1.8.1 Cebada.....	35
1.8.2 Malta de cebada.....	37
1.8.2.1 Malta base	38
1.8.2.2 Maltas especiales.....	38

1.8.3 Lúpulo	38
1.8.3.1 Lúpulo amargo	39
1.8.3.1 Lúpulo aromático	39
1.8.4 Levadura cervecera	39
1.8.4.1 <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	40
1.8.4.2 <i>Saccharomyces pastorianus</i>	40
1.8.5 Agua	40
1.8.6 Adjuntos cerveceros	41
1.8.6.1 Avena como adjunto cervecero	41
1.8.6.2 Cascara de cacao como adjunto cervecero	43
1.8.6.3 Lactosa como adjunto cervecero	45
1.9 Sanitización e higiene	46

CAPÍTULO II PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Descripción y análisis de materia prima	50
2.1.1 Maltas	50
2.1.1.1 Malta Pale Ale	50
2.1.1.2 Malta Biscuit	51
2.1.1.2 Malta Chocolate	52
2.1.1.3 Malta Negra	54
2.1.1.4 Cebada Tostada	55
2.1.1.5 Malta Caramelo 120	56
2.1.2 Lúpulo	57
2.1.2.1 Lúpulo Fuggle	57
2.1.3 Adjuntos cerveceros	58
2.1.3.1 Cascarilla de cacao	58

2.1.3.2 Avena en hojuelas	59
2.1.3.3 Lactosa	60
2.1.4 Levadura.....	61
2.1.4.1 Levadura SafeAle US-05	61
2.2 Descripción del método de investigación	63
2.2.1 Metodología de investigación de datos históricos	63
2.3 Diseño factorial	63
2.3.1 Tratamientos.....	64
2.3.2 Variable respuesta	65
2.4 Procedimiento y técnicas empleadas.....	66
2.4.1 Molienda	67
2.4.2 Maceración en frio	67
2.4.3 Maceración.....	68
2.4.4 Lavado.....	69
2.4.5 Mezclado	70
2.4.6 Recirculado	70
2.4.7 Filtrado	71
2.4.8 Cocción	72
2.4.9 Enfriado.....	73
2.4.10 Primera fermentación	74
2.4.11 Maduración	75
2.4.12 Embotellado y segunda fermentación	76
2.4.12.1 Cálculo de la cantidad de azúcar necesaria:	76
2.4.13 Almacenamiento	77
2.5 Análisis del producto obtenido.....	78

2.5.1 Análisis Fisicoquímicos	78
2.5.2 Análisis fisicoquímicos de caracterización de producto final.....	79
2.5.3 Análisis microbiológicos.....	80
2.6 Caracterización del producto obtenido según la guía BJCP	80
2.6.1 Atributos del producto obtenido de acuerdo a la guía BJCP	80
2.6.2 Estadísticas Vitales.....	82

CAPÍTULO III RESULTADOS

3.1 Análisis de resultados.....	84
3.1.1 % Alcohol del producto final	84
3.2 Estadísticos descriptivos	85
3.2.1 Análisis de varianza	85
3.2.2 Anova del modelo de regresión.....	85
3.2.3 Coeficientes del modelo de regresión	86
3.3 Balance de materia	88
3.3.1 Balance de materia general	88
3.3.1.1 Balance de materia en la molienda.....	89
3.3.1.2 Balance de materia en el macerado en frio	89
3.3.1.3 Balance de materia en la maceración	90
3.3.1.4 Balance de materia en el lavado	90
3.3.1.5 Balance de materia en el mezclado	92
3.3.1.6 Balance de materia en el recirculado	92
3.3.1.7 Balance de materia en el filtrado.....	93
3.3.1.8 Balance de materia en la cocción	94
3.3.1.9 Balance de materia en el enfriado	94
3.3.1.10 Balance de materia en la fermentación	95

3.3.1.11 Balance de materia en la maduración.....	96
3.3.1.12 Balance de materia en el embotellado y segunda fermentación	96
3.3.2 Tabla de resultados en el balance de materia del proceso.....	97
3.4 Balance de energía	101
3.4.1 Balance de energía en la maceración	101
3.4.2 Balance de energía en la cocción	102
3.4.3 Balance de energía en el enfriado	103
3.4.4 Tabla de resultados del balance de energía	104
3.5 Evaluación sensorial	105
3.5.1 Evaluación sensorial del atributo COLOR de la cerveza artesanal.....	105
3.5.2 Evaluación sensorial del atributo ESPUMA de la cerveza artesanal.....	107
3.5.3 Evaluación sensorial del atributo INTENSIDAD AROMATICA de la cerveza artesanal	108
3.5.4 Evaluación sensorial del atributo MALTA de la cerveza artesanal.....	109
3.5.5 Evaluación sensorial del atributo SABOR de la cerveza artesanal.....	111
3.5.6 Evaluación sensorial del atributo AMARGOR de la cerveza artesanal.	112
3.5.7 Aceptación del producto	114
3.6 Diagrama de flujo técnico a escala industrializada.....	115
3.7 Costos de elaboración del proyecto final	117

CAPÍTULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones	123
4.2 Recomendaciones.....	124
4.3 Bibliografía	126
4.4 Anexos	130
Anexo 1. Equipos y materiales	130

Anexo 2. Test de evaluación sensorial.....	150
Anexo 3. Memorias fotográficas durante la elaboración de la Cerveza Artesanal	155
Anexo 4. Control de la densidad	161
Anexo 5. Resultados SPSS.....	171
Anexo 6. Resultados de laboratorio CEANID	173

Índice de Tablas

Tabla I-1. Características Nutricionales de la Cerveza.....	6
Tabla I-2. Composición de la Cerveza.....	7
Tabla I-3. Escalas de amargor en IBU.....	7
Tabla I-4. Requisitos Fisicoquímicos.....	13
Tabla I-5. Requisitos Microbiológicos.....	16
Tabla I-6 Condiciones óptimas y recomendadas para las enzimas.....	16
Tabla I-7 Contenido de CO ₂ según el Estilo.....	31
Tabla I-8 CO ₂ residual según temperatura de fermentación.....	32
Tabla I-9 Requisitos físico-organolépticos.....	41
Tabla I-10 Composición general de la cascarilla de cacao.....	44
Tabla I-11 Compuestos bioactivos de la cascarilla de cacao.....	44
Tabla I-12 Caracterización bioquímica y organoléptica de la lactosa.....	46
Tabla I-13 Lavado de equipos, utensilios y zona de trabajo.....	47
Tabla I-14 Sanitización de equipos, utensilios y zona de trabajo.....	49
Tabla II-1 Ficha técnica Malta Pale Ale.....	51
Tabla II-2 Ficha técnica Malta Biscuit.....	52
Tabla II-3 Ficha técnica Malta Chocolate.....	53

Tabla II-4 Ficha técnica Malta Negra.....	54
Tabla II-5 Ficha técnica Cebada Tostada.....	55
Tabla II-6 Ficha técnica Malta Caramelo 120.....	57
Tabla II-7 Características Lúpulo Fuggle (pellets)	58
Tabla II-8 Características de la cascarilla de cacao.....	59
Tabla II-9 Características Avena en hojuelas.....	60
Tabla II-10 Características Lactosa.....	61
Tabla II-11 Características Levadura SafeAle US-05.....	62
Tabla II-12 Tratamientos.....	65
Tabla II-13 Conversión de cantidades de malta a libras.....	71
Tabla II-14 Cálculo de MCU por cada malta.....	72
Tabla II-15 Análisis Fisicoquímicos.....	78
Tabla II-16 Análisis fisicoquímicos del producto final.....	79
Tabla II-17 Volumen de CO2.....	79
Tabla II-18 Análisis microbiológicos.....	80
Tabla II-19 Caracterización del Producto obtenido de acuerdo a la guía BJCP...80	
Tabla II-20 Estadísticas Vitales Guía BJCP.....	82
Tabla II-21 Estadísticas Vitales del producto obtenido.....	82
Tabla III-1. % Alcohol en todos los tratamientos y sus réplicas.	84
Tabla III-2 Análisis de varianza	85
Tabla III-3 Anova	86
Tabla III-4 Coeficientes.....	86
Tabla III-5 Resultados del balance de materia.....	97
Tabla III-6 Resultados del balance de energía	104
Tabla III-7 Evaluación sensorial del atributo color.....	105

Tabla III-8 Evaluación sensorial del atributo espuma.....	107
Tabla III-9 Evaluación sensorial del atributo intensidad aromática.....	108
Tabla III-10 Evaluación sensorial del atributo malta.....	109
Tabla III-11 Evaluación sensorial del atributo sabor.....	111
Tabla III-12 Evaluación sensorial del atributo amargor.....	112
Tabla III-13 Aceptación del producto.....	114
Tabla III-14 Costo de materia prima e insumos.....	117
Tabla III-15 Costo de equipos y materiales de laboratorio.....	118
Tabla III-16 Costo de equipos y materiales de elaboración.....	119
Tabla III-17 Costo de embotellado y almacenamiento.....	120
Tabla III-18 Costo de reactivos.....	120
Tabla III-19 Costo de materiales de limpieza.....	121
Tabla III-20 Costo de análisis de laboratorio para el producto final.....	121
Tabla III-21 Costos extras.....	122
Tabla III-22 Costo total del proyecto.....	122
Tabla IV-1 Características molino de granos.....	130
Tabla IV-2 Características Olla de maceración.....	131
Tabla IV-3 Características Olla de maceración secundaria.....	132
Tabla IV-4 Características Serpentín enfriador.....	132
Tabla IV-5 Características Filtro de olla maceradora.....	133
Tabla IV-6 Características Cocina a gas.....	134
Tabla IV-7 Características Botellón fermentador.....	134
Tabla IV-8 Características pH-metro.....	135
Tabla IV-9 Características Papel indicador de pH.....	136
Tabla IV-10 Características Colador.....	137

Tabla IV-11 Características Utensilios de madera.....	137
Tabla IV-12 Características Colador secundario.....	138
Tabla IV-13 Características Densímetro triple escala.....	139
Tabla IV-14 Características Tapadora de botellas.....	139
Tabla IV-15 Características Probeta.....	140
Tabla IV-16 Características Probeta.....	141
Tabla IV-17 Características Termómetro digital.....	142
Tabla IV-18 Características Balanza analítica.....	143
Tabla IV-19 Características Trampa de aire.....	144
Tabla IV-20 Características Cepillo de cerdas.....	144
Tabla IV-21 Características Povidona rex.....	145
Tabla IV-22 Características Botella ámbar.....	146
Tabla IV-23 Características Tapas corona.....	147
Tabla IV-24 Características Freezer.....	148
Tabla IV-25 Características Bomba dispensadora.....	149
Tabla IV-26 Control de la densidad Tratamiento 1 y replicas.....	161
Tabla IV-27 Control de la densidad Tratamiento 2 y replicas.....	163
Tabla IV-28 Control de la densidad Tratamiento 3 y replicas.....	166
Tabla IV-29 Control de la densidad Tratamiento 4 y replicas.....	168
Tabla IV-30 Alcohol observado Vs Alcohol Modelo.....	171

Índice de Figuras

Figura I-1 Proceso de elaboración de cerveza.....	17
Figura I-2 Influencia de las enzimas.....	21
Figura I-3 Actividad enzimática.....	24
Figura I-4 Sistema de carbonatación clásico.....	34

Figura II-1 Diagrama de Flujo de Elaboración De Cerveza Artesanal.....	66
Figura III-1 Gráfico P-P de residuos estandarizados.....	87
Figura III-2 Evaluación sensorial del atributo color.....	106
Figura III-3 Evaluación sensorial del atributo espuma.....	107
Figura III-4 Evaluación sensorial del atributo intensidad aromática.....	109
Figura III-5 Evaluación sensorial del atributo malta.....	110
Figura III-6 Evaluación sensorial del atributo sabor.....	112
Figura III-7 Evaluación sensorial del atributo amargor.....	113
Figura III-8 Aceptación del producto.....	115
Figura III-9 Diagrama de flujo técnico a escala industrializada.....	116
Figura IV-1 Control de la densidad Tratamiento 1.....	161
Figura IV-2 Control de la densidad Tratamiento 1 - Replica 1.....	162
Figura IV-3 Control de la densidad Tratamiento 1 - Replica 2.....	162
Figura IV-4 Control de la densidad Tratamiento 1 - Replica 3.....	163
Figura IV-5 Control de la densidad Tratamiento 2.....	164
Figura IV-6 Control de la densidad Tratamiento 2 - Replica 1.....	164
Figura IV-7 Control de la densidad Tratamiento 2 - Replica 2.....	165
Figura IV-8 Control de la densidad Tratamiento 2 - Replica 3.....	165
Figura IV-9 Control de la densidad Tratamiento 3.....	166
Figura IV-10 Control de la densidad Tratamiento 3 - Replica 1.....	167
Figura IV-11 Control de la densidad Tratamiento 3 - Replica 2.....	167
Figura IV-12 Control de la densidad Tratamiento 3 - Replica 3.....	168
Figura IV-13 Control de la densidad Tratamiento 4.....	169
Figura IV-14 Control de la densidad Tratamiento 4 - Replica 1.....	169
Figura IV-15 Control de la densidad Tratamiento 4 - Replica 2.....	170

Figura IV-16 Control de la densidad Tratamiento 4 - Replica 3.....	170
Figura IV-17 Alcohol observado Vs Alcohol Modelo.....	172
Figura IV-18 % Error.....	172

Índice de Ilustraciones

Ilustración I-1 Espiga de una variedad de cebada.....	36
Ilustración I-2 Malta de cebada.....	37
Ilustración I-3 Lúpulo.....	39
Ilustración I-4 Avena en hojuelas.....	42

Índice de Fotografías

Fotografía II-1 Malta Pale Ale.....	50
Fotografía II-2 Malta Biscuit.....	51
Fotografía II-3 Malta Chocolate.....	53
Fotografía II-4 Malta Negra.....	54
Fotografía II-5 Cebada Tostada.....	55
Fotografía II-6 Malta Caramelo 120.....	56
Fotografía II-7 Lúpulo Fuggle.....	57
Fotografía II-8 Cascarrilla de cacao.....	58
Fotografía II-9 Avena en hojuelas.....	60
Fotografía II-10 Lactosa.....	61
Fotografía II-11 Levadura SafeAle US-05.....	62
Fotografía II-12 Molienda.....	67
Fotografía II-13 Maceración en frío.....	67
Fotografía II-14 Maceración.....	68
Fotografía II-15 Prueba de yodo.....	69
Fotografía II-16 Lavado.....	69

Fotografía II-17 Mezclado.....	70
Fotografía II-18 Recirculado.....	70
Fotografía II-19 Cocción.....	73
Fotografía II-20 Enfriado.....	74
Fotografía II-21 Fermentación.....	75
Fotografía II-22 Embotellado y segunda fermentación.....	77
Fotografía IV-1 Molino de granos.....	130
Fotografía IV-2 Olla de maceración.....	131
Fotografía IV-3 Olla de maceración secundaria.....	131
Fotografía IV-4 Serpentin enfriador.....	132
Fotografía IV-5 Filtro de olla maceradora.....	133
Fotografía IV-6 Cocina a gas.....	133
Fotografía IV-7 Botellón fermentador.....	134
Fotografía IV-8 pH-metro.....	135
Fotografía IV-9 Papel indicador de pH.....	136
Fotografía IV-10 Colador.....	136
Fotografía IV-11 Utensilios de madera.....	137
Fotografía IV-12 Colador secundario.....	138
Fotografía IV-13 Densímetro triple escala.....	138
Fotografía IV-14 Tapadora de botellas.....	139
Fotografía IV-15 Probeta.....	140
Fotografía IV-16 Probeta.....	141
Fotografía IV-17 Termómetro digital.....	142
Fotografía IV-18 Balanza digital.....	142
Fotografía IV-19 Trampa de aire.....	143

Fotografía IV-20 Cepillo de cerdas.....	144
Fotografía IV-21 Povidona rex.....	145
Fotografía IV-22 Botella ámbar.....	146
Fotografía IV-23 Tapas corona.....	147
Fotografía IV-24 Freezer.....	148
Fotografía IV-25 Bomba dispensadora.....	149
Fotografía IV-26 Memorias fotográficas Test de evaluación sensorial.....	154
Fotografía IV-27 Maltas molidas.....	155
Fotografía IV-28 Preparación del agua de maceración.....	155
Fotografía IV-29 Activación de levadura.....	156
Fotografía IV-30 Medición de la densidad.....	157
Fotografía IV-31 Limpieza y secado de botellas.....	158
Fotografía IV-32 Embotellado.....	158
Fotografía IV-33 Medición de pH.....	159
Fotografía IV-34 Producto final.....	160