

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**OBTENCIÓN DE BIOETANOL A ESCALA LABORATORIO POR
FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA A PARTIR DE LA REMOLACHA ROJA
PRODUCIDA EN EL DEPARTAMENTO DE TARIJA**

Por:

LIZETH MELISSA ZARATE SANTANDER

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

Junio del 2021

TARIJA-BOLIVA

V°B°

.....
M. Sc. Ing. Ernesto Álvarez Gózalvez

DECANO

Facultad de Ciencias y Tecnología

.....
M. Sc. Lic. Elizabeth Castro Figueroa

VICEDECANA

Facultad de Ciencias y Tecnología

APROBADO POR:

.....
Ing. Pastor Gutiérrez Barea

TRIBUNAL

.....
Ing. Abraham Anahue Flores

TRIBUNAL

.....
Ing. Alejandra Echeverria Arce

TRIBUNAL

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

A Dios a mis padres, familiares,
docentes y amigos.

Muchísimas gracias a cada una de las personas que formaron parte de este proyecto. En primer lugar, a Dios por brindarme salud más aun en estos tiempos de pandemia, a mis padres por el apoyo incondicional en toda mi etapa de formación académica, a mi hermano que en paz descanse Oscar Renato Zarate Santander porque fue mi impulso para poder salir adelante, al Ing. Braulio Huayta por su paciencia y apoyo en la elaboración de este proyecto, y a mis familiares, docentes y amigos que me motivaron en cada momento.

La confianza en sí mismo es el primer
secreto del éxito.

Por: Ralph Waldo Emerson

ÍNDICE GENERAL

ADVERTENCIAS.....	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
PENSAMIENTO.....	iv
RESUMEN	v

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1.ANTECEDENTES.....	1
1.2.BIOENERGÍA	1
1.3.EL BIOETANOL COMO ADITIVO DE LA GASOLINA.....	2
1.3.1ALCOHOL ANHIDRO DESNATURALIZADO.....	3
1.3.2. MEZCLAS COMUNES DE ETANOL Y COMBUSTIBLES MEZCLADOS CON ETANOL.....	4
1.4. LA IMPORTANCIA DE LA MATERIA PRIMA.....	4
1.5. POLITICAS GUBERNAMENTALES PARA LA PRODUCCION DE BIOCOMBUSTIBLE EN BOLIVIA.....	5
1.5.1. LEY N° 303/2018-2019 DE ADICTIVOS DE ORIGEN VEGETAL.....	5
1.6. PRODUCCION DE REMOLACHA ROJA EN LATINOAMERICA.....	6
1.7. PRODUCCIÓN DE REMOLACHA ROJA EN TARIJA.....	6
1.8. OBJETIVOS.....	7
1.8.1. OBJETIVO GENERAL.....	7
1.8.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
1.9. JUSTIFICACION.....	7

CAPITULO II MARCO TEÓRICO

2.1. DESCRIPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA.....	9
2.1.1. DESCRIPCIÓN TAXONÓMICA DE LA PLANTA DE REMOLACHA.....	10
2.1.2. TIPOS DE REMOLACHA.....	11
2.1.2.1. REMOLACHAS ROJAS O MORADAS.....	11
2.1.2.2. REMOLACHA FORRAJERA.....	12
2.1.2.3. REMOLACHA RAYADA.....	12
2.1.2.4. REMOLACHA AMARILLA.....	13
2.1.2.5. REMOLACHA AZUCARERA.....	14
2.1.3. COMPOSICIÓN FISICOQUÍMICA DE LA REMOLACHA ROJA.....	14
2.2. CARBOHIDRATOS.....	16
2.2.1. CLASIFICACIÓN DE CARBOHIDRATOS.....	16
2.2.1.1. MONOSACARIDOS.....	17
2.2.1.2. POLISACARIDOS.....	18
2.2.1.3. OLIGOSACARIDOS.....	19
2.3. FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA.....	21
2.3.1. CINÉTICA DE FORMACIÓN DEL ALCOHOL ETÍLICO.....	22
2.3.1.1. GLUCÓLISIS.....	22
2.3.1.2. VÍAS ANAERÓBICAS.....	29
2.3.1.3. FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA.....	29
2.3.1.4. FERMENTACIÓN LÁCTICA.....	29
2.4. LEVADURAS EN LA FERMENTACIÓN.....	30
2.4.1. LA LEVADURA SACCHAROMYCES CEREVISIAE.....	30
2.4.2. LA LEVADURA SACCHAROMYCES CARLSBERGENSIS.....	31
2.4.3. LA LEVADURA SACCHAROMYCES PASTORIANUS.....	31
2.4.4. LA LEVADURA WILLIA ANÓMALA.....	31
2.5. TIPOS DE FERMENTACION.....	31
2.5.1. FERMENTACIÓN DISCONTINUA.....	32
2.5.2. FERMENTACIÓN CONTINÚA.....	32
2.6. DESTILACIÓN.....	33
2.6.1. DESTILACIÓN SIMPLE.....	33
2.6.1.1. DIFERENCIAL O ABIERTA.....	33
2.6.1.2. CERRADA O DE EQUILIBRIO.....	34
2.6.2. DESTILACIÓN POR RECTIFICACIÓN.....	34
2.7. METODO PARA LA ELABORACION DE ALCOHOL A PARTIR DE LA REMOLACHA.....	35

CAPITULO III

PARTE EXPERIMENTAL

3.1. ANÁLISIS DE LA MATERIA PRIMA REMOLACHA ROJA.....	39
3.2. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	39
3.3. HIPÓTESIS.....	40
3.4. PROCESO DE FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA.....	40
3.4.1. BALANCE DE MATERIA GENERAL.....	42
3.5. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA A PARTIR DE LA REMOLACHA ROJA.....	43
3.5.1. LAVADO.....	43
3.5.2. CORTADO Y PESADO.....	43
3.5.3. EXTRACCIÓN DEL JUGO DE REMOLACHA.....	44
3.5.4. ESTABILIZACIÓN DEL pH.....	44
3.5.5. CALENTAMIENTO DEL JUGO.....	45
3.5.6. CLARIFICADO.....	46
3.5.7. ESTERILIZACIÓN Y ENFRIAMIENTO DE LOS MATERIALES.....	47
3.5.8. PREPARACIÓN DEL MOSTO.....	48
3.5.8.1. ACTIVACIÓN DE LA LEVADURA SACCHAROMYCES BAYANUS..	48
3.5.9. FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA.....	49
3.5.9.1. DISEÑO FACTORIAL PARA LA FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA..	50
3.5.10. FILTRADO DEL MOSTO.....	52
3.6. CALCULO DEL ALCOHOL EN EL MOSTO FILTRADO.....	54
3.7. PROCESO DE DESTILACIÓN.....	54
3.8. BALANCE DE MATERIA GENERAL.....	56
3.8.1. DISEÑO FACTORIAL PARA EL PROCESO DE DESTILACIÓN.....	57

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CUANTIFICACIÓN DE CANTIDAD DE MATERIA ORGÁNICA QUE SE PIERDE EN EL PROCESO DE OBTENCIÓN DE BIOETANOL.....	59
4.2. RESULTADOS DEL PROCESO DE FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA.....	60
4.2.1. DATOS OBTENIDOS EN LA PRIMERA FERMENTACIÓN.....	60
4.2.2. DATOS OBTENIDOS DE LA SEGUNDA FERMENTACIÓN.....	63
4.2.3. DATOS OBTENIDOS EN LA TERCERA FERMENTACIÓN.....	65
4.2.4. DATOS OBTENIDOS DE LA CUARTA FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA.....	67
4.4. CUANTIFICACIÓN DEL ALCOHOL PRESENTE EN EL MOSTO FILTRADO.....	69
4.5. RESULTADOS DEL PROCESO DESTILACIÓN ALCOHÓLICA.....	70
4.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DEL DISEÑO FACTORIAL DE LA FERMENTACIÓN ALCOHOL.....	71
4.7. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA VARIABLE RESPUESTA GRADOS BRIX FINAL.....	76
4.8. ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL, MÚLTIPLE.....	73
4.9. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DEL DISEÑO FACTORIAL DEL PROCESO DE DESTILACIÓN ALCOHOL.....	75
4.10. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA VARIABLE RESPUESTA GRADOS ALCOHÓLICO FINAL.....	77
4.11. ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL, MÚLTIPLE.....	78

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES	80
5.2. RECOMENDACIONES	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Proceso de fotosíntesis.....	2
Figura 2-1 La remolacha (beta vulgaris).....	9
Figura 2-2 Remolacha roja.....	11
Figura 2-3 Remolacha forrajera.....	12
Figura 2-4 Remolacha Rayada.....	13
Figura 2-5 Remolacha Amarilla.....	13
Figura 2-6 Remolacha azucarera.....	14
Figura 2-7 Clasificación de Carbohidratos.....	16
Figura 2-8 Isómeros de monosacáridos.....	17
Figura 2-9 Estructura de la amilosa.....	19
Figura 2-10 Estructura molecular de la lactosa.....	19
Figura 3-11 Estructura molecular de la sacarosa.....	20
Figura 2-12 Estructura molecular de la Maltosa.....	20
Figura 2-13 Ruta metabólica de formación del alcohol.....	23
Figura 2-14 Formación del etanol a partir del ácido pirúvico.....	29
Figura 2-15 Formación del ácido láctico a partir del ácido pirúvico.....	29
Figura 2-16 <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	30
Figura 2-17 Reactor Batch.....	32
Figura 2-18 Proceso de obtención de alcohol de remolacha.....	36
Figura 3-1 Diagrama de bloques del proceso de fermentación alcohólica a partir de la remolacha roja producida en el departamento de Tarija.....	41
Figur 3-2 Balance de materia del proceso de fermentación alcohólica.....	42
Figura 3-3 Pesado de la Muestra.....	43
Figura 3-4 Cortado de la materia prima.....	43
Figura 3-5 Extractora de jugo.....	44

Figura 3-6 Adición del Hidróxido de Sodio.....	45
Figura 3-7 Lectura del pH del jugo de remolacha.....	45
Figura 3-8 Precipitado de los sólidos en suspensión.....	46
Figura 3-9 Jugo filtrado.....	47
Figura 3-10 Autoclave Raypa.....	47
Figura 3-11 Mosto ya preparado.....	48
Figura 3-12 Activación de la levadura.....	49
Figura 3-13 Reactor de fermentación.....	50
Figura 4-14 Jugo fermentado.....	53
Figura 3-15 Proceso de filtrado.....	53
Figura 3-16 Equipo de destilación simple.....	54
Figura 3-17 Columna de rectificación.....	55
Figura 3-18 Lectura de grado alcohólico.....	56
Figura 3-19 Balance de materia del proceso de destilación.....	56

INDICE DE TABLAS

Tabla I-1 Rendimiento por área, rendimiento por masa y costo de la materia prima.....	5
Tabla I-2 Producción y Rendimiento de la Remolacha.....	6
Tabla I-3 Superficie cultivada, producción y rendimiento de la remolacha.....	6
Tabla II-1 Taxonomía de la planta de remolacha.....	10
Tabla II-2 Clasificación de la raíz de la Remolacha.....	11
Tabla II-3 Composición fisicoquímica de la remolacha roja.....	15
Tabla III-1 Análisis fisicoquímicos y complementarios de la remolacha roja.....	39
Tabla III-2 Variables de control para el proceso de fermentación alcohólica.....	51
Tabla III-3 Diseño factorial para el proceso de fermentación.....	51
Tabla III-4 Datos del diseño factorial para la fermentación.....	52
Tabla III-5 Variables de control para el proceso de destilación.....	57
Tabla III-6 Diseño factorial para el proceso de destilación.....	58
Tabla III-7 Diseño factorial para el proceso de destilación.....	58
Tabla IV-1 Determinación de la humedad del residuo solido de la remolacha.....	59
Tabla IV-2 Datos obtenidos en la primera fermentación más sus replica.....	61
Tabla IV-3 Datos obtenidos de la segunda fermentación más la replica.....	63
Tabla IV-4 Datos obtenidos de la tercera fermentación más la replica.....	65
Tabla IV-5 Datos obtenidos de la cuarta fermentación más la replica.....	67
Tabla IV-6 Cálculo de alcohol en el mosto filtrado.....	69
Tabla IV-7 Resultados del proceso de destilado.....	71
Tabla IV-8 Datos introducidos al programa SPSS 17.0.....	72
Tabla IV-9 Factores inter-sujetos.....	72
Tabla IV-10 Análisis de varianza ANOVA (Grados Brix de Fermentación).....	73
Tabla IV-11 Variable Introducida/eliminada.....	74

Tabla IV-12 Resumen del Modelo.....	74
Tabla IV-13 ANOVA.....	74
Tabla IV-14 Coeficiente.....	75
Tabla IV-15 Datos introducidos al programa SPSS 17.0.....	76
Tabla IV-16 Factor inter-sujetos.....	77
Tabla IV-17 Análisis de variación ANOVA (variable dependiente: Grado alcohólico)	77
Tabla IV-18 Variable Introducidas/Eliminadas.....	78
Tabla IV-19 Resumen del modelo.....	78
Tabla IV-20 ANOVA.....	79
Tabla IV-21 Coeficientes.....	79

INDICE DE GRAFICAS

Grafica IV-1 Primera fermentación alcohólica.....	62
Grafica IV-2 Replica de la fermentación alcohólica.....	62
Grafica IV-3 Segunda fermentación alcohólica.....	64
Grafica IV-4 Replica de la segunda fermentación.....	64
Grafica IV-5 Tercera fermentación alcohólica.....	66
Grafica IV-5 Tercera fermentación alcohólica.....	66
Grafica IV-7 Cuarta fermentación alcohólica.....	68
Grafica IV-8 Replica de la cuarta fermentación.....	68

NÓMINA DE ANEXOS

ANEXO 1 Procedimiento para la determinación del grado °brix en el mosto de fermentación

ANEXOS 2 Procedimiento para la determinación de alcohol en el mosto de fermentación

ANEXO 3 Procedimiento para la determinación de alcohol en muestra destilada

ANEXO 4 Balance de materia proceso de fermentación alcohólica

ANEXO 5 Balance de materia proceso de destilación alcohólica

ANEXO 6 Descripción de los equipos

ANEXO 7 Ecuaciones análisis estadístico

ANEXO 8 Informe de ensayo de laboratorio características fisicoquímicas de la materia prima

ANEXO 9 Informe de ensayo de laboratorio análisis especiales del jugo de remolacha roja

ANEXO 10 Informe de ensayo de laboratorio análisis especiales de residuos sólidos de la remolacha roja

ANEXO 11 Ficha técnica de la levadura