

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Recursos

Naturales



TESIS

Obtención de bioetanol a partir de residuos de naranja (*Citrus sinensis*) y plátano (*Musa paradisiaca L.*) del mercado Las Américas, Abancay - Apurímac 2022

Presentado por:

Bach. SHARON ESTRELLITA CHAUCA MONTESINOS

Bach. YORKA ALEXA RUIZ BARAZORDA

Para optar el título profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

Abancay - Apurímac - Perú

2023

Tesis

Obtención de bioetanol a partir de residuos de naranja (*Citrus sinensis*) y plátano (*Musa paradisiaca L.*) del mercado Las Américas, Abancay - Apurímac 2022

Línea de investigación:

Calidad Ambiental

Asesor:

Mg. Vanesa Salas Peña



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y RECURSOS

NATURALES

**OBTENCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE RESIDUOS DE NARANJA
(*CITRUS SINENSIS*) Y PLÁTANO (*MUSA PARADISIACA L.*) DEL MERCADO**

LAS AMÉRICAS, ABANCAY - APURÍMAC 2022

Presentado por la **Bach. SHARON ESTRELLITA CHAUCA MONTESINOS** y
Bach. YORKA ALEXA RUIZ BARAZORDA, para optar el título profesional de:
INGENIERO AMBIENTAL.

Sustentado y aprobado el **16 de junio del 2023**, ante el jurado:

Presidente : Dr. Toribio Tapia Molina

Primer Miembro : Msc. Yhon Fuentes Huamán

Segundo Miembro : Mg. Yesica Alvarado Ramos

Asesor : Mg. Vanesa Salas Peña

Obtención de bioetanol a partir de residuos de naranja (Citrus sinensis) y plátano (Musa paradisiaca L.) del mercado Las Américas, Abancay - Apurímac 2022

INFORME DE ORIGINALIDAD

13%

INDICE DE SIMILITUD

13%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	2%
2	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	repositorio.ug.edu.ec Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Universidad Tecnológica de los Andes Trabajo del estudiante	1%
5	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
6	repositorio.unjfsc.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	dspace.esPOCH.edu.ec Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.unu.edu.pe Fuente de Internet	<1%

DEDICATORIA

Dedicamos esta investigación a Dios por ayudarnos a nunca darnos por vencidas, a nuestros padres por apoyarnos a lo largo de nuestra etapa universitaria, brindándonos cariño, su atención, paciencia, comprensión. Asimismo, a nuestra docente Mg. Anjhela Rosa Callo Mamani por motivarnos en la realización del presente trabajo.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos infinitamente a Dios nuestro creador por guiarnos y dotarnos con inteligencia, amor, y paz a lo largo de todo el proceso de investigación.

Agradecemos a nuestros padres y hermanos quienes constantemente estuvieron apoyándonos, siendo el factor clave para no rendirnos, sus palabras y gestos de ayuda sin duda fue confortante y necesario en el desarrollo de la investigación.

Agradecemos a nuestra alma mater, nuestra casa de estudios universitarios por proporcionarnos las herramientas necesarias para fortalecer nuestros conocimientos como ingenieros ambientales.

Finalmente, queremos agradecer a nuestros docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, a nuestros compañeros y amigos que se volvieron hermanos durante los cinco años de estudio, por todos los momentos que compartimos y quedarán en nuestros recuerdos.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Portada.....	i
Postportada.....	ii
Página de jurados.....	iii
Dedicatoria	IV
Agradecimiento	V
Índice de contenido	VI
Índice de tablas	XII
Índice de figuras	XIV
Acrónimos	XV
Resumen.....	XVI
Abstract.....	XVII
Introducción.....	XVIII
CAPÍTULO I. PLAN DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. Realidad Problemática	1
1.2. Identificación y Formulación de Problemas.....	3
1.2.1. <i>Problema General</i>	3
1.2.2. <i>Problemas Específicos</i>	3
1.3. Justificación.....	3
1.4. Objetivos.....	5
1.4.1. <i>Objetivo General</i>	5
1.4.2. <i>Objetivos Específicos</i>	5
1.5. Delimitación de la investigación.....	5

1.5.1. Espacial.....	5
1.5.2. Temporal.....	6
1.5.3. Social.....	6
1.5.4. Conceptual.....	7
1.6. Viabilidad de la investigación.....	7
1.7. Limitaciones.....	8
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. Antecedentes de investigación.....	9
2.1.1. A nivel internacional.....	9
2.1.2. A nivel nacional.....	12
2.1.3. A nivel regional.....	15
2.2. Bases Teóricas.....	15
2.2.1. Residuos orgánicos.....	15
2.2.1.1. Fuentes potenciales de residuos orgánicos.....	15
2.2.1.1.1. Residuos industriales.....	15
2.2.1.1.2. Residuos de biomasa de microalgas.....	16
2.2.1.1.3. Residuos de ganado.....	16
2.2.1.1.4. Residuos agrícolas.....	17
2.2.1.1.5. Fracción orgánica de los residuos municipales.....	17
2.2.1.1.6. Consideraciones la biomasa lignocelulósica.....	18
2.2.1.1.7. Residuos de naranja (Citrus Sinensis).....	21
2.2.1.1.8. Residuos de plátano (Musa paradisiaca L.).....	21
2.2.1.2. Valorización de los residuos orgánicos.....	21
2.2.2. Biocombustibles.....	27
2.2.3. Bioetanol.....	28

2.2.3.1. Características fisicoquímicas del bioetanol.....	29
2.2.3.2. Materias primas para la generación de bioetanol.....	30
2.2.3.2.1. Primera generación.. ..	30
2.2.3.2.2. Segunda generación.. ..	31
2.2.3.2.3. Tercera generación.	32
2.2.3.2.4. Cuarta generación.....	33
2.2.3.3. Procesos de obtención del bioetanol.....	33
2.2.3.3.1. Pretratamiento o tratamiento preliminar.	33
2.2.3.3.2. Hidrólisis.....	34
2.2.3.3.3. Fermentación	35
2.2.3.3.4. Destilación.....	38
2.3. Marco conceptual.....	38
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	40
3.1. Hipótesis	40
3.1.1. <i>Hipótesis General</i>	40
3.1.2. <i>Hipótesis específicas</i>	40
3.2. Método.....	41
3.3. Tipo de investigación.....	41
3.4. Nivel o alcance de investigación	41
3.5. Diseño de la Investigación.....	41
3.6. Operacionalización de variables.....	43
3.7. Población, muestra y muestreo	46
3.7.1. <i>Población</i>	46
3.7.2. <i>Muestra</i>	46

3.7.3. Muestreo	46
3.8. Técnica e instrumentos	47
3.8.1. Procedimiento experimental	47
3.9. Consideraciones éticas	52
3.10. Procedimiento Estadístico	52
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	53
4.1. Resultados	53
4.1.1. Medición del porcentaje de humedad.....	53
4.1.2. Medición del porcentaje de lignina	53
4.1.3. Hidrólisis ácida	54
4.1.4. Fermentación	56
4.1.5. Destilación.....	60
4.2. Análisis estadístico	63
4.2.1. Análisis estadístico para hipótesis general.....	63
4.2.1.1. Datos estadísticos	63
4.2.1.2. Hipótesis estadística.....	65
4.2.1.3. Nivel de Significancia	66
4.2.1.4. Estadístico.....	66
4.2.1.5. Región crítica	68
4.2.1.6. Interpretación	69
4.2.2. Análisis estadístico para hipótesis E1	69
4.2.2.1. Datos estadísticos	69
4.2.2.2. Hipótesis estadística.....	70
4.2.2.3. Nivel de Significancia	71
4.2.2.4. Estadístico.....	71

4.2.2.5. Región crítica	71
4.2.2.6. Interpretación	72
<i>4.2.3. Análisis estadístico para hipótesis E2</i>	<i>72</i>
4.2.3.1. Datos estadísticos	72
4.2.3.2. Hipótesis estadística.....	73
4.2.3.3. Nivel de Significancia	74
4.2.3.4. Estadístico.....	74
4.2.3.5. Región crítica	74
4.2.3.6. Interpretación	74
<i>4.2.4. Análisis estadístico para hipótesis E3</i>	<i>75</i>
4.2.4.1. Datos estadísticos	75
4.2.4.2. Hipótesis estadística.....	76
4.2.4.3. Nivel de Significancia	76
4.2.4.4. Estadístico.....	76
4.2.4.5. Región crítica	77
4.2.4.6. Interpretación	77
<i>4.2.5. Análisis estadístico para hipótesis E4</i>	<i>78</i>
4.2.5.1. Datos estadísticos	78
4.2.5.2. Hipótesis estadística.....	79
4.2.5.3. Nivel de Significancia	79
4.2.5.4. Estadístico.....	79
4.2.5.5. Región crítica	79
4.2.5.6. Interpretación	80
4.4. Discusión de resultados	80
CONCLUSIONES	83

RECOMENDACIONES	85
ASPECTOS ADMINISTRATIVOS	86
Recursos	86
Cronograma de actividades	87
Presupuesto y financiamiento.....	89
<i>Presupuesto</i>	89
<i>Financiamiento</i>	89
BIBLIOGRAFÍA	90
ANEXOS	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
Anexo 1. Matriz básica de consistencia	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 2. Evidencias fotográficas	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 3: Establecimientos de frutas y jugos en el mercado Las Américas.....	¡Error!
Marcador no definido.	
Anexo 4: Ficha de laboratorio	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición de diferentes tipos de biomasa lignocelulósica.....	20
Tabla 2. Residuos orgánicos y sus fuentes para la producción de bioenergía.....	24
Tabla 3. Productos de valor añadido derivados de los residuos alimentarios	25
Tabla 4. Análisis respecto a las características fisicoquímicas del bioetanol	29
Tabla 5. Clasificación taxonómica de <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	36
Tabla 6. Metodología.....	42
Tabla 7. Operacionalización de variables.....	44
Tabla 8. Cantidad de residuo por tratamiento	48
Tabla 9. Resultados del porcentaje de humedad	53
Tabla 10. Resultados del porcentaje de lignina.....	54
Tabla 11. Resultados de la Hidrólisis ácida.....	54
Tabla 12. Resultado de pH de residuos sólidos en la Hidrólisis	55
Tabla 13. Resultados de pH de los residuos sólidos mezclados con Cal.....	56
Tabla 14. Resultados del proceso de fermentación del Tratamiento 1.....	56
Tabla 15. Resultados del proceso de fermentación del Tratamiento 2.....	57
Tabla 16. Resultados del proceso de fermentación del Tratamiento 3.....	58
Tabla 17. Resultados del proceso de fermentación del tratamiento 4.....	59
Tabla 18. Resultados de la medición de °Brix durante la fermentación	59
Tabla 19. Resultados de bioetanol obtenido	61
Tabla 20. Medias de los resultados volumen y pureza de bioetanol	64
Tabla 21. Análisis de varianza del volumen de bioetanol.....	66
Tabla 22. Prueba de Tukey respecto al volumen de bioetanol.....	66
Tabla 23. Análisis de varianza de la pureza de bioetanol	67
Tabla 24. Prueba de Tukey respecto a la pureza de bioetanol	67

Tabla 25. Medias de volumen de bioetanol.....	70
Tabla 26. T de una muestra para la hipótesis específica 1	71
Tabla 27. Medias de porcentaje de pureza de bioetanol.....	72
Tabla 28. T de una muestra para la hipótesis específica 2	74
Tabla 29. Medias de los niveles de sacarosa en la hidrólisis ácida.....	75
Tabla 30. T de una muestra para la hipótesis específica 3	77
Tabla 31. Medias de los niveles de sacarosa en la fermentación	78
Tabla 32. T de una muestra para la hipótesis específica 4	79
Tabla 33. Cronograma de actividades.....	88
Tabla 34. Presupuestos	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación de la ciudad de Abancay	6
Figura 2. Vertido Cero Residuos y Modelo de Biorrefinería	23
Figura 3. Representación del proceso Digestión Anaerobia multifásico.....	26
Figura 4. Procedimiento	47
Figura 5. Resultados del volumen de bioetanol.....	62
Figura 6. Resultados de pureza de bioetanol.....	63
Figura 7. Medias de los volúmenes de bioetanol por tratamiento	64
Figura 8. Medias de los porcentajes de pureza de bioetanol por tratamiento	65
Figura 9. Región crítica del volumen de bioetanol.....	68
Figura 10. Región crítica del porcentaje de pureza de bioetanol.....	69
Figura 11. Medias de volumen de bioetanol.....	70
Figura 12. Región crítica de la hipótesis específica 1	71
Figura 13. Medias de porcentaje de pureza de bioetanol.....	73
Figura 14. Región crítica de la hipótesis específica 2	74
Figura 15. Medias de los niveles de sacarosa en la hidrólisis ácida	76
Figura 16. Región crítica de la hipótesis específica 3	77
Figura 17. Medias de los niveles de sacarosa en la fermentación	78
Figura 18. Región crítica de la hipótesis específica 4	79

ACRÓNIMOS

CBU	:	Unidad de Celobiasa
DE	:	Digestibilidad Enzimática
DNS	:	Ácido 3,5- dinitrosalisílico
EMUSAP	:	Empresa Municipal de Servicios de Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado
EPS	:	Entidad Prestadora de Servicios
FAO	:	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FPU	:	Unidad de Papel de Filtro
GC	:	Contenido de Glucano
GPS	:	Sistema de Posicionamiento Global
MINAM	:	Ministerio Nacional del Ambiente
PNUMA	:	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
SPSS	:	Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales
XNU	:	Unidad de Xilanasa

RESUMEN

Los residuos orgánicos son recursos con potencial de valorización, teniendo múltiples aplicaciones en las diversas industrias. El objetivo de esta investigación es determinar el tratamiento más óptimo para la obtención de bioetanol a partir de residuos de naranja (*Citrus sinensis*) y plátano (*Musa paradisiaca L.*) del mercado Las Américas Abancay – Apurímac 2022. Se establecieron los procedimientos de pretratamiento, hidrólisis ácida, fermentación y destilación simple y se midió el porcentaje de humedad y lignina de cada tipo de residuo. Asimismo, se aplicó cuatro tratamientos con tres repeticiones cada uno. En el primer tratamiento (T₁) se utiliza como sustrato solo residuos de naranja, en el segundo (T₂) se empleó solo residuos de plátano, y para el tercero (T₃) y cuarto tratamiento (T₄) se realizó una combinación de ambos residuos. Cabe mencionar que en todos los tratamientos se añadió la levadura *Saccharomyces Cerevisiae* excepto en T₄. El proceso de fermentación se llevó a cabo por 5 días y la dosis de levadura fue de 5 g/L de jarabe glucosado. Finalmente se logró obtener bioetanol a partir de residuos de naranja y plátano y determinar que el T₃ es el más óptimo debido a que presentó mayores volúmenes de bioetanol con valores de 255.33 ml así como mayor pureza alcanzando un promedio de 14.67%. Asimismo, se determinó los niveles de sacarosa al final del proceso de hidrólisis ácida obteniéndose valores de 15.33°Brix, 18.67, 17, y 16.67°Brix para los tratamientos 1, 2, 3 y 4 respectivamente. Como también se hizo la medición al final del proceso de fermentación obteniéndose valores de 11.67, 11.33, 9.33 y 14.33°Brix para los tratamientos 1, 2, 3 y 4 respectivamente. En conclusión, se determinó que el tratamiento 3 (residuos de naranja y plátano con levadura) es el más óptimo para la obtención de bioetanol.

Palabras clave: Bioetanol, fermentación, residuos orgánicos, naranja, plátano.

ABSTRACT

Organic waste is a resource with recovery potential, having multiple applications in various industries. The objective of this research is to determine the most optimal treatment to obtain bioethanol from orange (*Citrus sinensis*) and banana (*Musa paradisiaca* L.) residues from the Las Américas Abancay - Apurímac 2022 market. Pretreatment procedures were established, acid hydrolysis, fermentation and simple distillation and the percentage of moisture and lignin of each type of residue was measured. Likewise, four treatments with three repetitions each were applied. In the first treatment (T1) only orange residues were used as a substrate, in the second (T2) only banana residues were used, and for the third (T3) and fourth treatment (T4) a combination of both residues was carried out. It is worth mentioning that in all treatments the yeast *Saccharomyces Cerevisiae* was added except in T4. The fermentation process was carried out for 5 days and the yeast dose was 5 g/L of glucose syrup. Finally, it was possible to obtain bioethanol from orange and banana residues and determine that T3 is the most optimal because it presented greater volumes of bioethanol with values of 255.33 ml as well as greater purity reaching an average of 14.67%. Likewise, the sucrose levels at the end of the acid hydrolysis process were determined, obtaining values of 15.33°Brix, 18.67, 17, and 16.67°Brix for treatments 1, 2, 3, and 4 respectively. As the measurement was also made at the end of the fermentation process, obtaining values of 11.67, 11.33, 9.33 and 14.33°Brix for treatments 1, 2, 3 and 4 respectively. In conclusion, it was determined that treatment 3 (orange and banana residues with yeast) is the most optimal for obtaining bioethanol.

Keywords: Bioethanol, fermentation, organic waste, orange, banana.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día los residuos sólidos se han vuelto un gran problema para la población debido a que son dispuestos en botaderos, sin una adecuada gestión y valorización. La fracción orgánica de los residuos sólidos presentan un potencial muy grande de valorización de los cuales se puede obtener múltiples productos, como por ejemplo los biocombustibles.

En esta investigación se hará referencia a la obtención de biocombustibles de segunda generación, que son derivados de restos de biomasa forestal y agrícola o cultivos energéticos. Este tipo de biocombustibles permite un mejor aprovechamiento, debido a que no solo se utiliza los azúcares si no también puede aprovecharse toda la celulosa existente. Asimismo, muchos autores señalan que los biocombustibles de segunda generación tienen un menor impacto ambiental frente a los de primera generación (Hackenberg, 2008), debido a que su origen es a partir de los cultivos alimenticios. (Alejos y Calvo, 2015),

El presente estudio tiene como objetivo obtener bioetanol de segunda generación a partir de residuos de naranja y plátano del mercado Las Américas. Los residuos de naranja y plátano son generalmente destinados al botadero de Quitasol, no optimizando su reaprovechamiento y valorización de los mismos. Además, contribuyendo a la generación de focos infecciosos que pueden originar enfermedades en la población más cercana de Quitasol y pobladores de la ciudad de Abancay además de los mismos trabajadores de limpieza que acuden al sector de Quitasol.

Una alternativa para optimizar el reaprovechamiento de los residuos orgánicos es produciendo bioetanol. Este proceso contribuye a reducir la basura sin aprovechar mediante su valorización, de esta manera se aplica el modelo de economía circular que tiene objetivo mantener los productos mas tiempo en circulación.

Para la obtención de bioetanol a partir de residuos de naranja y plátano se tiene que seguir una serie de procedimientos que se mencionarán de manera específica en la investigación, procesos tales como: lavado, trituración, eliminación de lignina, hidrólisis ácida, fermentación y destilación. Se empleará levaduras de la especie *Saccharomyces Cerevisiae* para poder fermentar los azucares simples en alcohol.

CAPÍTULO I

PLAN DE INVESTIGACIÓN

1.1. Realidad problemática

Los residuos sólidos orgánicos son restos de fácil degradación, compuestos principalmente por residuos de frutas, vegetales y restos de comida con potencial de aprovechamiento.

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2016) señala que América Latina y el Caribe cuenta con una población de 630 millones de habitantes, y según Kaza et al. (2018) generan cerca de 231 millones de toneladas de residuos sólidos urbanos, de los cuales corresponde a residuos orgánicos un porcentaje del 52%.

Las actividades de tratamiento y valorización de residuos son aún escasas en América Latina; por ello es necesario realizar una adecuada gestión de los residuos para obtener productos con valor agregado aprovechando al máximo todos los nutrientes y energía, encaminados a la economía circular, así como lo vienen haciendo países como Argentina, Brasil, México, Uruguay, etc.

Según datos del Ministerio del Ambiente, el Perú generó en el año 2020, 7.9 millones de toneladas de residuos sólidos municipales orgánicos e inorgánicos, de los cuales el 76.4% presentan un gran potencial de valorización; no obstante, solo se valorizó el 0.98%. Asimismo, resulta alarmante contar con 64 rellenos sanitarios, que cubren las necesidades de solo 210 distritos del Perú; en consecuencia, la mayor parte de los residuos producidos a nivel nacional se disponen en botaderos informales propiciando la propagación de vectores como moscas, ratas, insectos, etc.; causantes de múltiples enfermedades y la contaminación de los componentes de la biósfera.

Sin embargo, en algunos lugares de la ciudad de Lima se realiza la valorización de residuos orgánicos mediante el reciclaje y/o compostaje, tal es el caso del distrito de San Isidro en convenio con la Universidad Agraria La Molina mediante el “Programa de Reaprovechamiento de los Residuos Orgánicos”.

Asimismo, a nivel regional, en la Municipalidad Provincial de Andahuaylas se realiza actividades de valorización de residuos orgánicos en el centro poblado de Chumbao, al igual que la Municipalidad Provincial de Aymaraes que cuenta con una planta de valorización de residuos orgánicos en el sector de Ihuayllo para la obtención de compostaje.

Sin embargo, en la ciudad de Abancay aún persiste los problemas de mala gestión de los residuos orgánicos debido a que son destinados directamente al botadero de Quitasol sin ningún tratamiento que incluya la valorización. Según el Plan Integral de Residuos Sólidos realizado en el 2016, a nivel de mercados se genera 255.13 Kg/día de residuos sólidos y a nivel domiciliario se genera aproximadamente 27.62 Kg/día de residuos orgánicos domiciliarios equivalente al 59.15% del total de residuos sólidos

Según lo expuesto, se propone como alternativa de aprovechamiento, la obtención de bioetanol a partir de los residuos de naranja (*Citrus sinensis*) y plátano (*Musa paradisiaca L.*), mediante la fermentación de azúcares presentes en ellos.

1.2. Identificación y Formulación de problemas

1.2.1. Problema General

¿Cuál es el tratamiento más óptimo para la obtención de bioetanol a partir de residuos de naranja (*Citrus sinensis*) y plátano (*Musa paradisiaca L.*) del mercado Las Américas, Abancay – Apurímac 2022?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cuáles son los volúmenes de bioetanol obtenido en cada tratamiento del proceso de destilación a partir de residuos de naranja (*Citrus sinensis*) y plátano (*Musa paradisiaca L.*)?
- ¿Cuáles son los porcentajes de pureza de bioetanol obtenido en cada tratamiento del proceso de destilación a partir de residuos de naranja (*Citrus sinensis*) y plátano (*Musa paradisiaca L.*)?
- ¿Cuáles son los niveles de sacarosa obtenidos en cada tratamiento del proceso de hidrólisis ácida de residuos de naranja (*Citrus sinensis*) y plátano (*Musa paradisiaca L.*)?
- ¿Cuáles son los niveles de sacarosa en cada tratamiento obtenidos al final del proceso de fermentación de residuos de naranja (*Citrus sinensis*) y plátano (*Musa paradisiaca L.*)?

1.3. Justificación

En la ciudad Abancay, la mayoría de los residuos orgánicos son desechados, lo cual se traduce en una pérdida del potencial de obtención de bioproductos y biocombustibles, como es el caso de los residuos de naranja, ricos en azúcares

solubles, almidón, grasa, celulosa, lignina y pectina, favoreciendo una alta producción de bioetanol. Por tal motivo, el objetivo de la tesis es obtener bioetanol utilizando los residuos de naranja (*citrus sinensis*) y plátano (*Musa paradisiaca L.*) empleando la levadura *Saccharomyces cerevisiae*.

El bajo costo de los residuos de naranja y plátano los convierte en una excelente opción para la obtención de bioetanol, además de ello propicia la posibilidad de fuentes de ingresos para los expendedores de frutas y de jugos naturales.

El bioetanol puede ser utilizado como desinfectante, en ese sentido beneficiaría a la población de la zona en cuanto a fortalecer las medidas de protección a la salud ante patógenos del ambiente.

De igual manera, la aplicación a gran escala de este proyecto propicia la industrialización de nuestra región; satisfaciendo las necesidades de la población, la apertura a nuevos mercados a nivel local y nacional contribuyendo a la generación de más empleos.

Asimismo, la presente investigación se realiza bajo el concepto de desarrollo sostenible aplicando los pilares de la economía circular, impulsando la adecuada segregación de los residuos orgánicos, ahorro de energía para la disposición final y mejora del saneamiento ambiental. El bioetanol también puede utilizarse como biocombustible previa mezcla con la gasolina, de modo que contribuiría a la reducción de gases de efecto invernadero, y en consecuencia mitigar el calentamiento global y cambio climático.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Determinar el tratamiento más óptimo para la obtención de bioetanol a partir de residuos de naranja (*Citrus sinensis*) y plátano (*Musa paradisiaca L.*) del mercado Las Américas, Abancay – Apurímac 2022.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar los volúmenes de bioetanol obtenido en cada tratamiento del proceso de destilación a partir de residuos de naranja (*Citrus sinensis*) y plátano (*Musa paradisiaca L.*)
- Determinar los porcentajes de pureza de bioetanol obtenido en cada tratamiento del proceso de destilación a partir de residuos de naranja (*Citrus sinensis*) y plátano (*Musa paradisiaca L.*)
- Determinar los niveles de sacarosa obtenidos en cada tratamiento del proceso de hidrólisis ácida de residuos de naranja (*Citrus sinensis*) y plátano (*Musa paradisiaca L.*)
- Determinar los niveles de sacarosa en cada tratamiento obtenidos al final del proceso de fermentación de residuos de naranja (*Citrus sinensis*) y plátano (*Musa paradisiaca L.*)

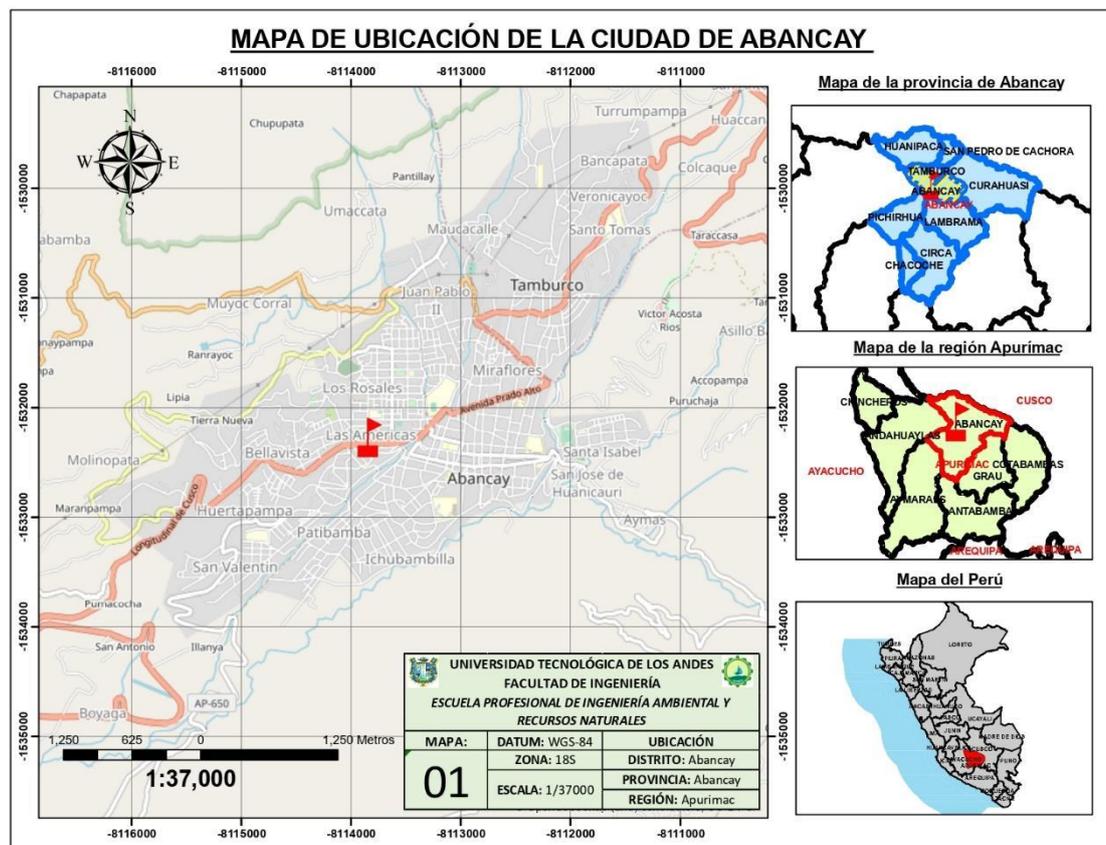
1.5. Delimitación de la investigación

1.5.1. Espacial

El estudio se desarrolló en el distrito y provincia de Abancay, la cual pertenece a la región Apurímac, ubicado a una altitud entre 1718 a 5350 m.s.n.m., con coordenadas geográficas de latitud 13°32'29" a 6°42'20" S y longitud de 72°43'16" a 72°56'14" W. Se sitúa a faldas del nevado Ampay y al norte del valle de Pachachaca. (EMUSAP, 2019)

Figura 1

Mapa de ubicación de la ciudad de Abancay



Nota. En el presente mapa se señala la ubicación de la ciudad de Abancay a nivel provincial y regional. Elaboración propia.

1.5.2. Temporal

El presente trabajo se realizó con una duración de 8 meses, iniciando la investigación en el mes de abril y culminando el mes de noviembre del año 2022, siendo este el tiempo prudente para el término de la investigación.

1.5.3. Social

La investigación implicó la participación de los trabajadores del mercado Las Américas, principalmente los vendedores de frutos y jugos naturales de naranja y plátano, siendo los beneficiarios directos por vender los residuos de fruta, al igual que los vendedores de bioetanol por las utilidades que implica la venta del producto.

Asimismo, que el proyecto tiene como beneficiarios indirectos a toda la población de Abancay, debido a que la investigación plantea la valorización de los residuos de naranja y plátano para la obtención de bioetanol, basado en el desarrollo de una medida de mitigación de la contaminación ambiental aplicando el enfoque de economía circular.

1.5.4. Conceptual

Residuos de naranja y plátano

Son residuos orgánicos tienen potencial de generación de nuevo valor al ser aprovechados y transformados en nuevos productos. (Muñoz, 2020), considera a los residuos de naranja como material lignocelulósico para la obtención de bioetanol por su bajo porcentaje de lignina y rico en azúcares. (Tejeda et al., 2010).

De igual manera, para la obtención de bioetanol de los residuos de plátano se debe a su gran contenido de celulosa, sin embargo, es necesario aplicar algunos procedimientos adicionales (proceso químico y bioquímico) con la finalidad de obtener azúcares monoméricos. (Quintero et al., 2015)

Bioetanol

Se conceptualiza como etanol obtenido producto de la fermentación de azúcares de materias primas con contenido alto de sacarosa, celulosa o almidón. (Alejos, 2015)

1.6. Viabilidad de la investigación

Para llevar a cabo la presente investigación se necesitó un recurso monetario considerable, debido a que se adquirieron múltiples reactivos, insumos químicos, equipos y se realizó análisis de las muestras en laboratorio. Estos gastos serán financiados por los propios investigadores.

De igual manera se contó con un asesor de tesis quien nos guió, orientó, colaboró y ayudó a lo largo del proceso de investigación, y con un especialista de laboratorio, que nos ayudó a monitorear cada uno de los procesos experimentales para la obtención de bioetanol.

Asimismo, el tema a investigar cuenta con la suficiente información disponible tanto en internet, revistas, libros, tesis, entre otros lo cual facilitó el proceso de investigación, y permitió tener los menores errores posibles.

1.7. Limitaciones

Una de las limitaciones, fue el aspecto sanitario debido al riesgo de contraer el Sars Cov-2, sin embargo, se cumplió con las medidas de bioseguridad pertinentes y uso de equipos de protección personal para evitar algún riesgo en la salud de los investigadores.

Asimismo, la falta de un equipo destinado exclusivamente para el proceso de fermentación fue una limitación en el desarrollo del proyecto, sin embargo, se procedió a la construcción de un biorreactor a escala laboratorio por parte de los investigadores.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de investigación

2.1.1. A nivel internacional

Carrera et. al. (2021) en su tesis denominada “Bioetanol a partir de los residuos de frutas y verduras de los mercados de Calceta y Quiroga”, realizada en Ecuador, demostraron viabilidad económica y ambiental en un exitoso ejemplo de economía circular para la producción de bioetanol. En una primera fase del proyecto se recolectó e identificó los residuos orgánicos separando frutas de verduras, para luego pesar y mediante el diagrama de caja negra segregar el material orgánico que no se utilizó. En la segunda fase los residuos de frutas y verduras fueron molidos y licuados para obtener el mosto, para luego regular su pH entre 3.5 - 4.5 a temperatura ambiente. Posterior a ello se aplicó la levadura *Saccharomyces cerevisiae* sobre el mosto a cada tratamiento (frutas, verduras, frutas y verduras) de 4 repeticiones, suministrando en 5.67 ml para una concentración más eficaz de bioetanol. Asimismo, se aplicó 1.81g de urea por galón sobre el mosto para obtener mejores resultados. Antes de la fermentación se midió los grados Brix sobre el mosto para luego agregar 0.50 dm³ de melaza para aumentar el azúcar en el mosto.

En procesos posteriores se destiló el producto y se midió los grados de alcohol con un alcoholímetro. Finalmente se calculó el costo de producción de bioetanol. Los resultados indicaron que el mayor porcentaje de alcohol obtenido fue de 39% correspondiente al tratamiento T1R4 con 4285,67 ml de destilado, con un costo de producción de \$2.75 por 1 dm³ de mosto frutal. Concluyendo en un beneficio y alternativa ambiental de fácil aplicación.

Jang, et al. (2021) en su artículo titulado "Mejora de la recuperación de azúcar de la piel de naranja mediante la optimización estadística del pretratamiento termoalcalino", eligieron el proceso de pretratamiento alcalino térmico para la producción de bioetanol debido a su simplicidad y menor tiempo de reacción. Además, los factores de reacción se optimizaron utilizando la metodología de superficie de respuesta. Las condiciones óptimas determinadas fueron las siguientes: carga de 60,1 g/l de cáscaras de naranja, KOH al 3% y 30 min. Bajo las condiciones óptimas, el contenido de glucano (GC) y la digestibilidad enzimática (DE) fueron del 32,8 % y 87,8 %, respectivamente. La hidrólisis enzimática se realizó con cáscaras de naranja pretratadas y sin pretratar utilizando tres tipos de complejos enzimáticos (celulasa, celobiasa y xilanasas). Las concentraciones mínimas de complejo enzimático requeridas para obtener la máxima DE fueron 30 FPU (unidad de papel de filtro), 15 CBU (unidad de celobiasa) y 30 XNU (unidad de xilanasas) en base a 1 g de biomasa. Además, la DE del grupo tratado fue aproximadamente 3,7 veces mayor que la del grupo de control. En conclusión, el uso de la cáscara de naranja como materia prima para la biorrefinería puede ser una solución estratégica para reducir el desperdicio de recursos y producir bioproductos sostenibles.

Utekar et. al. (2021) en su artículo denominado “Intensificación de la deslignificación e hidrólisis enzimática de los residuos de la piel de naranja utilizando ultrasonido para mejorar la producción de azúcar fermentable”, se centraron en utilizar la piel de naranja como sustrato lignocelulósico para la obtención de azúcares reductores fermentables. La producción con estudios de intensificación para etapas de deslignificación e hidrólisis enzimática. la cáscara de naranja expuestas a pretratamiento alcalino convencional y asistido por ultrasonido a temperatura ambiente para la deslignificación dieron como resultado alrededor del 86% de deslignificación y el 92% de deslignificación en 4 h respectivamente. Posteriormente, el efecto de la concentración de enzima, potencia ultrasónica y ciclo de trabajo en la reducción de la producción de azúcar en el que se ha investigado la hidrólisis enzimática. Se obtuvo una concentración máxima de azúcar reductor de 1,30 g/l en tratamiento de 6 h bajo 60W como potencia y 70% de ciclo de trabajo, que fue mayor y mucho más rápido en comparación con el método convencional donde la concentración de azúcar fue de 0.814 g/l en 24 h. Estudios de oxidación avanzada el pretratamiento basado en peróxido de hidrógeno, Fenton y ozono realizado a temperatura ambiente demostró que las condiciones óptimas para una mejor eficacia del pretratamiento son una carga de H₂O₂ del 3 %, una carga de 0,5 g de FeSO₄ y 2 l/min como tasa de flujo de ozono según corresponda, dando una concentración de azúcar de 1.528 g/l, 2.069 g/l y 0,472 g/l respectivamente. En general, el trabajo ha establecido que la aplicación de ultrasonido y oxidación avanzada el pretratamiento beneficia la deslignificación y posterior hidrólisis enzimática de los residuos de piel de naranja.

Gómez y Martín (2021) en su tesis titulada “Obtención artesanal de bioetanol mediante desechos de la cáscara de plátano”, para ello empleo una metodología

para optimizar la obtención de bioetanol aplicando diferentes cantidades de levadura *Saccharomyces cerevisiae*, partiendo antes con la reducción de la materia residual al 2mm, seguido del proceso de hidrólisis ácida con ácido sulfúrico e hidrólisis alcalina con NaOH 2% - 3%, realizando la fermentación por un tiempo de 8 días para finalmente realizar la destilación obteniendo etanol de concentración del 7% v/v.

Malagón, et al. (2017) en su artículo titulado “Obtención de bioetanol a partir de residuos lignocelulósicos”, realizaron una revisión de investigaciones para la producción de biocombustible a partir de residuos de fruta, hojas y tallo de plantas que contenían almidón y material lignocelulósico. El procedimiento consistió en la separación de la lignina con NaOH de los residuos, posteriormente se sometió a un proceso de hidrólisis, fermentación aplicando cepas de levadura que tienen el objetivo de convertir los azúcares en bioetanol. Obteniendo resultados equivalentes a 200ml de bioetanol por kilo de cáscara de naranja.

2.1.2. A nivel nacional

Navarro y Vela (2022) cuyo título de investigación es “Determinación del rendimiento en la obtención del bioetanol a partir de la cáscara de tres variedades de la *Musa paradisiaca*” teniendo como objetivo la obtención de bioetanol a partir de tres variedades de plátano (seda, palillo y bellaco). La experimentación consistió en el pretratamiento (pelado, cortado y cocción), luego la fermentación por un periodo de once días utilizando levadura *Saccharomyces cerevisiae* y estabilizándolo a un pH de 4 y temperatura constante. Por último se realizó la destilación fraccionada doble obteniendo resultados de bioetanol incoloro de 17 a 19°Brix y porcentaje de rendimiento del 1%.

Torres, J. (2020) en su investigación titulada “Obtención de bioetanol a partir de residuos fermentables de los frutos de *Citrus sinensis* y *Citrus reticulata* generados en el mercado Santa Anita-Morales”, tiene como objetivo obtener bioetanol utilizando residuos de fruta como *Citrus sinensis* y *C. reticulata* mediante el proceso de hidrólisis ácida. Para ello primero se caracterizó los residuos determinando la cantidad de azúcares y porcentaje de humedad, luego se procedió a la eliminación de la lignina utilizando NaOH y CaSO₄. Y posteriormente se realizó la hidrólisis y el proceso de fermentación. La obtención de bioetanol a las 12 h fue de 120 mg/L, a las 24h de 370 mg/l, a las 48h de 3200 mg/l y a 72 h de 14200 mg/l, y con respecto al *Citrus reticulata* fue de 65 mg/l a las 12h, a las 24h se obtuvo 245 mg/l, a las 48h fue de 3021 mg/l y a las 72h se obtuvo 7405 mg/l. Se puede concluir que se obtuvo mayor cantidad de bioetanol de los residuos de *Citrus sinensis* en comparación con los residuos de *Citrus reticulada*.

Llenque, L., et al (2020) en su investigación “Producción de bioetanol a partir de residuos Orgánicos Vegetales” en Trujillo Perú, se analizó residuos como *Citrus reticulata*, *Passiflora edulis* y *Eucalyptus globulus* (hojas). Para ello se realizó el lavado, desinfección, secado y molienda de las cáscaras y de las hojas de *Eucalyptus globulus*. Posteriormente se añadió 4L de HCl 1.0 M a cada Kg de residuo molido, calentándolo a 100°C por un tiempo de 5h, para luego filtrar y utilizar NaOH 1.0 M ajustado a un pH de 4.5. Seguidamente se procedió a la fermentación por siete días a una temperatura ambiente entre 23 y 25°C, utilizando una concentración de 100 ml de *Saccharomyces cerevisiae* MIT-L51 por litro de hidrolizado, pasado el tiempo de destilación se procedió a destilar por tres horas a 78°C. Obteniéndose un rendimiento de las cáscaras de mandarina equivalente a 3.8 % con un error de $\pm 0.2\%$ v/v, para la cáscara de maracuyá 4.2 L $\pm 0.1\%$ y 4.7

L \pm 0.1% (v/v) de eucalipto (hojas); con un volumen de 80% de grados alcohólicos. En conclusión, se pudo obtener etanol de los diferentes materiales orgánicos evaluados, siendo las hojas de *E. glubulos* los que obtuvieron un mayor rendimiento de 4.7%.

Deheco,A. (2019) en su trabajo de investigación titulado “Obtención de etanol por vía fermentativa de *Saccharomyces Cerevisiae* a partir de Cáscaras de Plátano de Seda (*Musa Paradisiaca* L.)” realizándose un diseño experimental al azar, asimismo, se aplicó hidrólisis enzimática y un proceso de fermentación a temperatura constante de 25°C al 30% (p/v). En base a los datos obtenidos evidencian una diferencia significativa respecto a los porcentajes de etanol, grados alcohólicos, y porcentaje de rendimiento respecto a los tiempos de fermentación y concentración de °Brix. Asimismo, se obtuvo 56,3% de bioetanol y un rendimiento de bioetanol a las 120 horas de 33.7%.

Araneda, et al. (2019) cuyo título de tesis es “Obtención de bioetanol a partir de banano orgánico (*Musa x paradisiaca*) no exportable”, teniendo como objetivo la obtención de bioetanol a partir del banano orgánico por medio de un proceso de fermentación en Bach a temperatura de 25 a 37°C y destilado por arrastre de vapor a nivel de laboratorio. Se obtuvo 0.054 ml de etanol por gramo de sustrato con una pureza del 30%. Además, se considera que los parámetros óptimos son un pH de 4-6; y una dilución de 1:15, a una concentración de azúcares de 8°Brix. Concluyendo que los métodos realizados para la obtención de etanol son satisfactorios, sin embargo, es importante investigar más sobre los parámetros más adecuados a emplearse en los procesos y así poder implementarlo a nivel industrial.

2.1.3. A nivel regional

No se encontró antecedentes al respecto de la temática planteada.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Residuos orgánicos

Se denomina así a los desechos que se biodegradan fácilmente en moléculas orgánicas simples, metano y dióxido de carbono. Estos desechos se producen a partir de muchas fuentes, como los desechos agrícolas, los desechos del mercado, los desechos de cocina, los desechos sólidos urbanos de alimentos y los desechos sólidos municipales. Los ejemplos incluyen desechos verdes, desechos de alimentos, papel sucio con alimentos, desechos no peligrosos residuos de madera, residuos verdes y residuos de jardinería y poda.

2.2.1.1. Fuentes potenciales de residuos orgánicos

2.2.1.1.1. Residuos industriales. Diversos sectores industriales generan residuos orgánicos, por ejemplo, los de la industria tapioca, del aceite de palma e alimentaria como la cervecera y láctea producen gran cantidad de carbohidratos no tóxicos residuos en forma de residuos sólidos y aguas residuales. (Ghimire, 2015). Éstos pueden ser sustratos para producir energía, según lo mencionado por Xu et al. (2019), la fracción orgánica de los efluentes de fabricación del aceite de palma en un proceso de digestión anaeróbica puede dar como resultado biogás. Asimismo, de los efluentes de la fábrica de papel se puede obtener biometano y biohidrógeno (Vaez y Zilouei, 2020).

Según Atabani et al. (2019), la parte sólida de los subproductos del café constituye el 45%, éstos contienen biomoléculas como ácidos grasos, polifenoles, polisacáridos, aminoácidos, lignina, celulosa, fibras, proteínas, taninos, lo cual hace

que sea un material eficiente para la generación de biogás, pellets de combustible, biodiesel, bioetanol y bioaceites.

Asimismo, la industria textil genera gran cantidad de residuos entre orgánicos e inorgánicos que muchas veces van a parar a vertederos, por lo que su gestión es necesaria para evitar la contaminación por metales pesados en el suelo, agua y suelo. Los desechos textiles incluyen la culminación de lana, poliéster fibra y algodón, pudiendo ser material para la generación de bioaceite mediante el método de pirólisis. En este proceso los metales pesados presentes en los colorantes textiles también tienen una participación activa ya que tienen la función de catalizar el proceso de bioconversión (Dhanya et al., 2020).

2.2.1.1.2. Residuos de biomasa de microalgas. Las microalgas tienen una gran capacidad de fijar dióxido de carbono y producir abundante biomasa que puede contener carbohidratos, lípidos y proteínas, además de ser de fácil extracción, siendo una opción factible y sostenible para la obtención de distintos bioproductos como aceites, pigmentos, vitaminas, antioxidantes, etc; biocombustibles tanto líquidos como gaseosos, asimismo pudiendo participar en otros procesos para producir calor/energía, bioelectricidad, biorremediación en aguas residuales y la biomitigación de CO₂ (Escobedo y Calderón, 2021). Asimismo, si se somete al proceso de fermentación anaeróbico o aeróbico se puede obtener biocombustibles como el metano y biohidrógeno. (Tiwari et al., 2019). Estos residuos sirven también como alimento para animales, producir biofertilizantes y biocarbón.

2.2.1.1.3. Residuos de ganado. Se considera como residuo de ganado al estiércol de animales, desechos de forraje (que generalmente contiene una fracción lignocelulósica) y agua residual compuesta por orina y excremento de animales.

Una fracción representativa de estos residuos proviene de granja de aves, chanchos y ganado en general, identificados como fuentes de contaminación, que representan amenazas para la atmósfera y el agua ambiente. Con el objetivo de contrarrestar la emisión de gases de efecto invernadero de forma directa e indirecta se utiliza este material para la generación de biogás antes de su aplicación al suelo. Además del producto final, el biogás, también se forma digestato que se amontona para uso agrícola (Khalil et al., 2019).

2.2.1.1.4. Residuos agrícolas. Los residuos agrícolas, en su mayoría de naturaleza lignocelulósica, incluyen el bagazo de caña de azúcar, rastrojo de maíz, paja de arroz, trigo, sorgo y otros cultivos, cáscaras de almendra, avellana y pistacho, tallos de algodón, soja, girasol y tabaco, cáscaras de cacahuete, avellana, maíz, arroz, soja, estiércol de ganado, (FAO, 2015).

Estos residuos poseen la potencialidad para producir bioenergía, destacando unos más que otros por su capacidad energética. Por ejemplo, los residuos de trigo constituyen alrededor del 50% de residuos orgánicos (FAO, 2017) y esto produce 1.900 millones de litros de bioetanol (Mishra et al., 2018). Unos 507 L de bioetanol se puede producir a partir de 400 g/kg de dátiles (Aleid, 2012). Asimismo, la cáscara de naranja es rica en azúcar soluble, almidón, grasa, celulosa, lignina y pectina, favoreciendo una alta producción de bioetanol (Widmer et al., 2010).

2.2.1.1.5. Fracción orgánica de los residuos municipales. Generalmente constituye desechos de alimentos, los residuos orgánicos de las aguas residuales domésticas que componen una fracción de carbohidratos altamente biodegradables.

Se aplican procesos biológicos para recuperar la bioenergía del desperdicio de alimentos, estos incluyen procesos aeróbicos, compostaje, fermentación, digestión anaerobia (Kiran et al., 2014). La digestión anaerobia ha sido propuesta como la opción más adecuada de tratamiento de residuos de alimentos con recuperación de energía y otras credenciales ambientales (Esposito et al., 2012).

2.2.1.1.6. Consideraciones la biomasa lignocelulósica. La biomasa residual comprende una gran diversidad de materiales orgánicos. En principio, se pueden utilizar todos los tipos de residuos que contengan hidratos de carbono, sin embargo, la biomasa de origen vegetal suele preferirse a otros tipos de residuos, como aguas residuales industriales o residuos domésticos (Van Wyk, 2001). Estos últimos tienen composiciones complejas y heterogéneas que típicamente incluyen proteínas, grasas, y diferentes sustancias orgánicas e inorgánicas que pueden ser tóxicas para microorganismos en los procesos de bioconversión (Tomás, 2013).

Si bien existe diferencia en la composición de la biomasa vegetal, estos comparten la misma matriz, la lignocelulosa, cuyo principal componente es el polisacárido celulosa, compuestos por glucosa unidos mediante el enlace $\beta(1-4)$, cadenas unidas a su vez por enlaces de hidrogeno que forman una estructura cristalina o amorfa (Zaldivar et al., 2001). La hemicelulosa, una familia heterogénea de polisacáridos, contiene una mezcla de hexosas y pentosas, tales como arabinosa, manosa, glucosa, xilosa, galactosa, etc. (Van Wyk, 2001). La lignina, una macromolécula intrincada que consta de enlaces cruzados monómeros de fenilpropanoide, se une covalentemente con la hemicelulosa, creando una malla compleja en la que se incrusta la celulosa. Esta estructura proporciona la biomasa con fuerza mecánica y resistencia a la degradación, pero también plantea el mayor obstáculo para la comercialización de bioetanol de segunda generación (Himmel et

al., 2007). No existen microorganismos que puedan convertir la lignina en etanol (Zaldivar et al., 2001). La degradación natural de los materiales lignocelulósicos es típicamente mediada por hongos (Namhyun et al., 2000).

Tabla 1*Composición de diferentes tipos de biomasa lignocelulósica*

Biomasa	Glucano	Xilano	Galactano	Arabinano	Manano	Lignina	Referencias
Residuos agrícolas							
Rastrojo de maíz	36.4	18.0	1.0	3.0	0.6	16.6	Wiselogel et al. (1996) citado por Tomás (2013)
Paja de trigo	38.2	21.2	0.7	2.5	0.3	23.4	
Bagazo	40.2	21.1	0.5	1.9	0.3	25.2	
Paja de arroz	34.2	24.5				11.9	Wiselogel et al. (1996) citado por Tomás (2013)
Maderas blandas							
Abeto	43.4	4.9		1.1	12.0	28.1	Tengborg et al. (1998) citado por Tomás (2013)
Pino	46.4	6.8		2.4	11.7	29.4	Wiselogel et al. (1996) citado por Tomás (2013)
Maderas duras							
Sicómoro	53.1	17.1		1.7	2.7	23.2	Wiselogel et al. (1996) citado por Tomás (2013)
Sauce	43.0	24.9		1.2	3.2	24.2	Sassner et al. (2006) citado por Tomás (2013)
Residuos de papel							
De residuos sólidos municipales	56.0	8.3			5.6	30.1	Wiselogel et al. (1996) citado por Tomás (2013)
De la prensa	64.4	4.6		0.5	16.6	21.0	Lee (1997) citado por Tomás (2013)

Nota. Elaborado por Dhanya (2020).

2.2.1.1.7. Residuos de naranja (*Citrus Sinensis*). Las cascaras de naranja están compuestas fisicoquímicamente por un 80.8% de carbohidratos, de los cuales del 30-50% son pectinas, 10-20% hemicelulosa, azúcares como la glucosa, sacarosa y fructuosa, y una proporción del 20 al 40% es celulosa. (Essilfie,1985)

Respecto a las fibras de naranja, están constituidas por hemicelulosa, celulosa y lignina en una concentración del 18%, 12% y 1,7%. Debido a la composición de azúcares complejos es necesario realizar el proceso de hidrólisis para la fermentación. (Galindo, 2017)

2.2.1.1.8. Residuos de plátano (*Musa paradisiaca L.*). La cáscara de plátano está constituida por lignina, celulosa y hemicelulosa. Molina et al. (2004), menciona una composición de lignina del 60%, celulosa en un 25% y hemicelulosa en un 15%.

Este residuo agrícola por su composición de carbohidratos, proteínas y azúcares reductores puede ser utilizado como sustrato para la elaboración de etanol. Aunque pese a su gran potencial para la generación de bioetanol y a ser un material asequible y renovable de bajo costo no es muy utilizado. (Bhatia y Paliwal, 2010).

2.2.1.2. Valorización de los residuos orgánicos. La valorización de los residuos es un proceso de transformación en el que se da un valor o utilidad a los desechos para producir productos de valor añadido, priorizando así su reaprovechamiento antes que la disposición final de estos. Este concepto constituye un aporte de la economía circular en el que se busca reducir la generación de residuos al máximo durante la provisión de bienes y servicios,

incorporando estrategias desde la etapa de diseño, así como también enfatizando en la integración de residuos en la obtención de nuevas materias primas. De esta manera podría respaldar el desarrollo de nuevas industrias y puestos de trabajo, reduciendo las emisiones y aumentando la utilización eficiente del patrimonio natural (incluida la energía, el agua y los materiales).

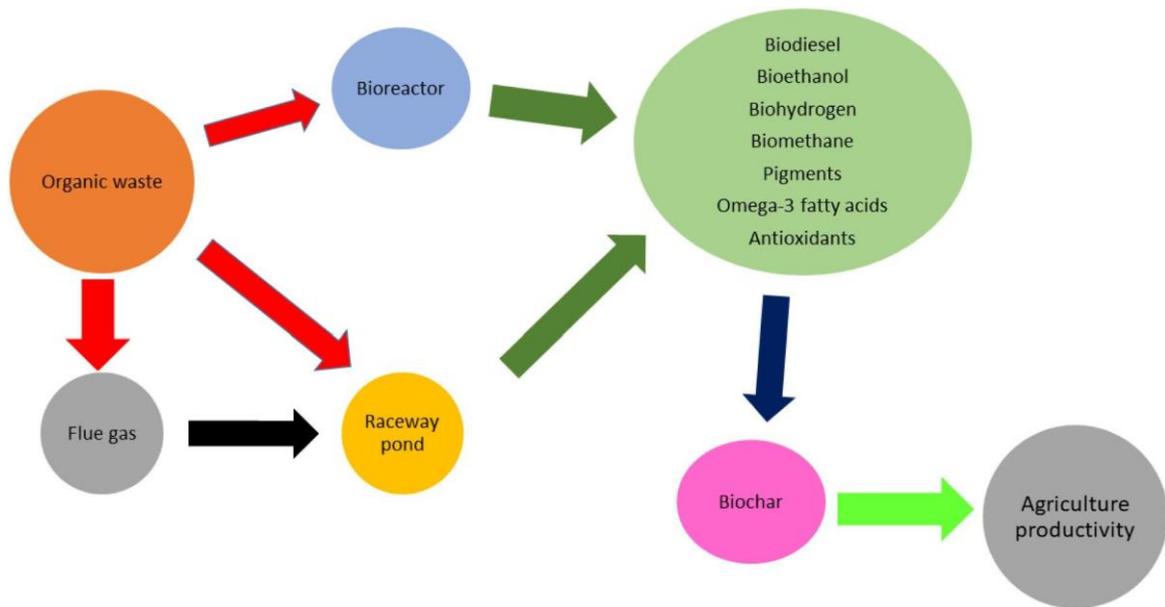
Una forma de acercarnos hacia un modelo de economía circular es mediante las biorrefinerías, en cuyas instalaciones se realiza la transformación de la biomasa en biocombustibles y generación de energía para la agricultura.

Al producir múltiples productos, una biorrefinería puede aprovechar la disponibilidad de diferentes flujos de biomasa y procesar productos intermedios y potencializar el valor del material obtenido.

En la siguiente figura aprecia la dinámica de una biorrefinería de residuos orgánicos.

Figura 2

Vertido Cero Residuos y Modelo de Biorrefinería



Nota. Adaptado de “Desarrollo de enfoques sostenibles para convertir los residuos orgánicos en bioenergía”, por Dhanya, 2020, T Ciencia del Medio Ambiente Total, 723, 138109.

La Tabla 2 enumera las fuentes potenciales de desechos orgánicos y sus residuos bioenergía y productos de valor agregado.

Tabla 2

Residuos orgánicos potenciales y sus fuentes para la producción de bioenergía.

Residuo Orgánico	Fuente	Método aplicado	Bionergía producida	Referencias	
Efluente de aceite de palma	Aceite de Palma	Pretratamiento, mezcla, digestión anaeróbica	Biogas	Aziz and Hanafiah (2020) citado por Dhanya (2020)	
Efluente de papelera	Papel	Sistema de secuenciación en dos etapas: pretratamiento y fermentación oscura	Biometano y biohidrógeno	Vaez and Zilouei (2020) citado por Dhanya (2020)	
Residuos agrícolas	Residuos de cosecha	Pajas de trigo, cebada, cáscara	Pretratamiento, hidrólisis y fermentación.	Bioetanol	Rincon et al. (2019); Shariat Panahi et al. (2020) citado por Dhanya (2020)
	Residuos de fruta	Orujo de manzana y uva, bagazo de naranja, semillas de melocotón, cáscara de granada, restos/huesos de dátil	Pretratamiento, hidrólisis y fermentación.	Bioetanol	Rincon et al. (2019); Shariat Panahi et al. (2020) citado por Dhanya (2020)
Residuos animales	de	Sangre, rumen de cerdos, cabras, ovejas, etc.	Digestión anaeróbica	Biogas	Khalil et al. (2019) citado por Dhanya (2020)
Biomasa microbiana	Nanocloropsis	Pretratamiento, fermentación, digestión anaeróbica	Biohidrógeno	Choi et al. (2019) citado por Dhanya (2020)	
Desperdicio de alimentos	de	Harina de semillas de algodón, suero de queso, residuos de cocina, etc.	Hidrólisis, fermentación, transesterificación, sacarificación enzimática	Biohidrógeno, biodiésel, biobutanol	Xiong et al. (2019) citado por Dhanya (2020)

Nota. Elaborado por Dhanya (2020).

Tabla 3*Otros productos de valor añadido derivados de los residuos alimentarios*

Tipo de residuo de alimentos	Método aplicado	Producto derivado	Referencias
Residuos de cocina	Fermentación	Fructosa y glucosa	Vavouraki et al. (2013) citado por Dhanya (2020)
Residuos de alimentos derivados de cantimploras	Electrofermentación	Ácidos grasos volátiles, biohitano (hidrógeno + metano)	Shanthi Sravan et al (2018) citado por Dhanya (2020)
Residuos de alimentos/lodos activados de residuos	Electrofermentación catódica	Ácido láctico	Xue et al. (2018) citado por Dhanya (2020)
Suero de queso y residuos de alimentos	Fermentación acidogénica	Butirato, valerato, etanol, propionato, lactato, acetato e hidrógeno	Giroto et al. (2017) citado por Dhanya (2020)
Residuos de harina de semilla de algodón y mazorca de maíz	Sacarificación enzimática	Ácido D-láctico	Bai et al. (2016) citado por Dhanya (2020)
Salvado de trigo	Hidrólisis y fermentación enzimática	D-lactato	Li et al. (2017) citado por Dhanya (2020)
Residuos de cúrcuma longa	Sacarificación y fermentación	Ácido L-láctico	Nguyen et al. (2013) citado por Dhanya (2020)
Residuos de pan	Fermentación en estado sólido	Ácido succínico	Zhang et al. (2013) citado por Dhanya (2020)
Residuos de granada fermentada	Fermentación de levadura	Ácido elágico	Verotta et al. (2018) citado por Dhanya (2020)
Hidrolizado de residuos de alimentos	Fermentación a escala de banco	Ácido succínico	Yang et al. (2017) citado por Dhanya (2020)
Residuos de panadería	Fermentación bacteriana	Ácido succínico	Zhang et al. (2013) citado por Dhanya (2020)

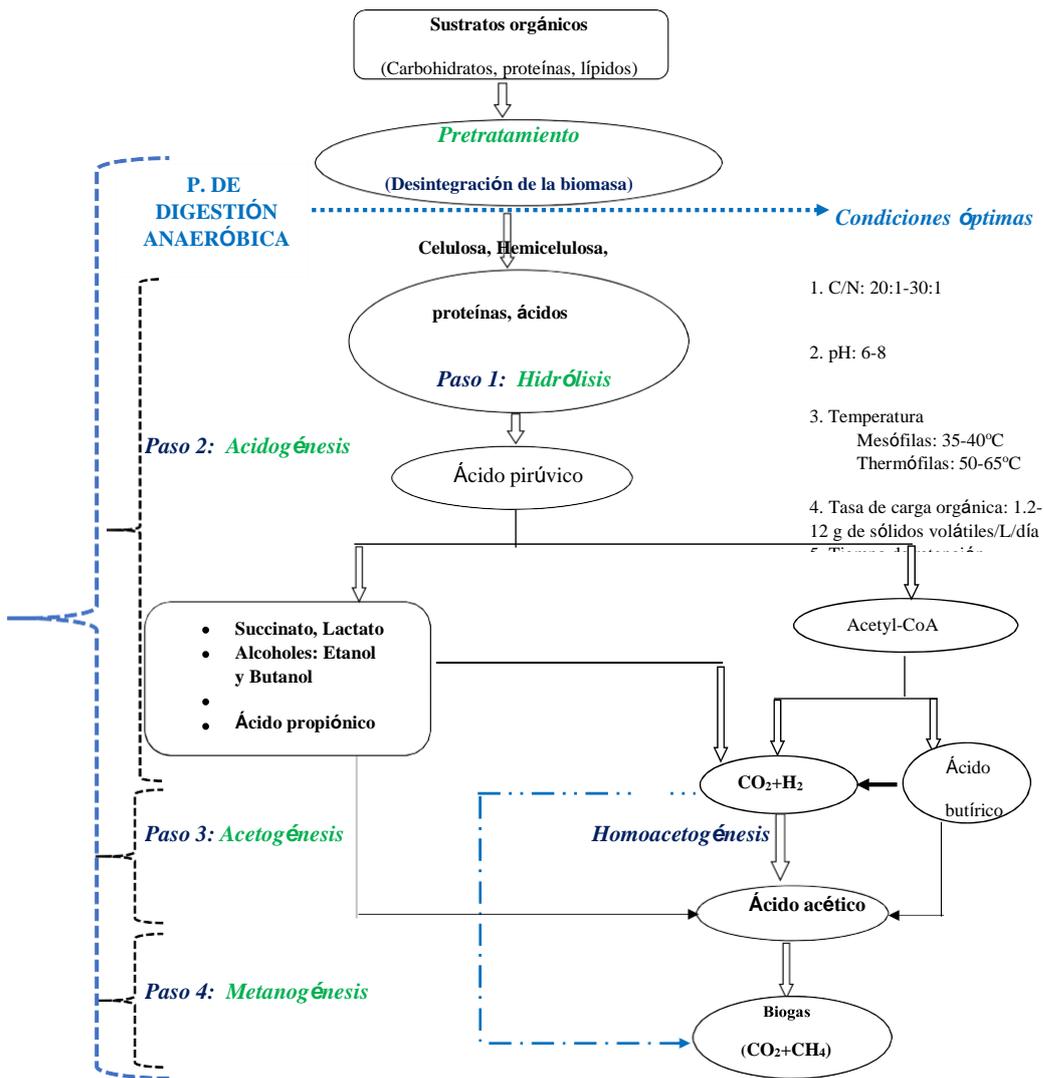
Nota. Se describe los productos derivados de los residuos orgánicos y el método de obtención correspondiente.

Elaborado por Dhanya (2020).

Gran parte de la bioenergía y los biomateriales se obtienen mediante un proceso bioquímico complejo denominado digestión anaerobia, los cuales se ejemplifican en la siguiente figura:

Figura 3

Representación esquemática del proceso Digestión Anaerobia multifásico.



Nota. Adaptado de “Desarrollo de enfoques sostenibles para convertir los residuos orgánicos en bioenergía”, por Dhanya, 2020, T Ciencia del Medio Ambiente Total , 723 , 138109.

2.2.2. Biocombustibles.

Los biocombustibles se pueden clasificar de distintas maneras, tanto por la generación, o por su estado físico, como biocombustibles sólidos, en estado líquido y gaseoso.

Los biocombustibles sólidos, son principalmente cualquier biomasa sólida que pueda convertirse en biocombustible, incluyen la biomasa lignocelulósica y varios tipos de residuos sólidos. Las biomásas sólidas pueden utilizarse directamente como biocombustibles sólidos o como material para la generación de otros biocombustibles.

Los biocombustibles líquidos se refieren a cualquier combustible renovable en forma líquida. Se utilizan principalmente como transporte de combustibles. En 2019, la producción de biocombustibles líquidos aumentó de 82,31 Mtep a 96 Mtep y 8,57 Mtep producidos en 2016 y 1990, respectivamente. Ejemplos notables de los biocombustibles líquidos son biodiesel, biometanol, bioetanol, biobutanol, biopropanol, bioaceite, combustible para aviones, etc. Algunas de las características y beneficios que han escalado la investigación y ayudaron a popularizar la aplicación de biocombustibles líquidos incluyen los siguientes:

- Su alta combustibilidad.
- Son más seguros y fáciles de almacenar.
- Son fáciles de transportar con tuberías.
- Son más seguros de transportar en comparación con la gasolina.
- Son relativamente económicos.
- Tienen una alta relación energía/masa.

- Su estabilidad de almacenamiento, y razonablemente no explosivos.

El biogás/biometano, el biohidrógeno y el biosyngas son los ejemplos más comunes de biocombustibles gaseosos. Tienen una amplia variedad de aplicaciones, incluyendo térmicas, de transporte, y usos del calor y generación de electricidad/energía. A lo largo de los años, los biocombustibles gaseosos han sido ampliamente estudiado y utilizado debido a los muchos beneficios derivados de ellos, que incluyen:

- Mayor reactividad.
- Generación de menos residuos cuando se aplica.
- Menor oxidantes requeridos, la simplicidad de los reactores.
- La facilidad de control.

2.2.3. Bioetanol.

Es un compuesto químico producido por la descomposición de azúcares de diferentes productos, que pueden ser celulosa, hemicelulosa o hidratos de carbono. Según Abril (2012) estas materias primas son el grupo amiláceas como cereales y tubérculos, lignocelulósicas como plantas y madera y azucaradas.

Asimismo, es un recurso renovable biodegradable, que propicia la disminución de las emisiones de dióxido de carbono, tolueno y benceno, mejorando la calidad de aire de la atmosfera. (Siliceo, 2014).

2.2.3.1. Características fisicoquímicas del bioetanol. El etanol es un compuesto que no presenta color cuando está en condiciones de temperatura y presión normal, su punto de ebullición es de 78.4 °C. Además, es un producto inflamable. (Garea, 2017). En la siguiente tabla de muestra algunas características de este compuesto.

Tabla 4

Análisis respecto a las características fisicoquímicas del bioetanol

Características	Unidades	Bioetanol
Estructura	-	CH ₃ CH ₂ OH
Peso molecular	Kg/mol	46.07
Estado de agregación	-	Líquido
Oxígeno	% en peso	34.80
Densidad	Kg/m ³	789
Disolubilidad en H ₂ O	%	100
Punto latente (vaporización)	KJ/kg	850
T° (Ebullición)	°C	78
T° (Fusión)	°C	-114
Energía calorífica interna	KJ/kg	28.225
Relación aire/combustible estequiométrica	-	9
Presión de Vapor	kPa	15.47
T° (ignición)	°C	420
Grado de acidez	pK	15.9
Inflamabilidad	°C	13
Explosividad	%	3.3 a 19
Solubilidad		Miscible

Nota. Elaborado por (Montiel y Romero, 2015) y (Garea, 2017)

2.2.3.2. Materias primas para la generación de bioetanol

2.2.3.2.1. Primera generación. Es aquel alcohol que se obtiene de materias primas mediante el proceso de fermentación, donde los azúcares son asimilados por los microorganismos generalmente del género *Saccharomyces*, *Zymomonas*, *Kluyveromyces*, y *Zygosaccharomyces*.

Azúcares fermentables en materias primas. Algunos ejemplos de materias primas a utilizar son la caña de azúcar, el sorgo y la remolacha azucarera. Para la obtención de etanol se requiere pasar por los siguientes procesos: molienda, fermentación, destilación, procesos adicionales son la desnaturalización y la deshidratación *para utilizarlo en combinación con la gasolina.* (Solomon et al., 2007)

Existen métodos de deshidratación que se podrían aplicar como la pervaporación, destilación al vacío, adsorción con tamices moleculares, destilación extractiva con sales o solventes o con ambos. (Uyazán et al., 2004).

Según estudios indican que la producción de etanol de primera generación puede desencadenar problemas ambientales; debido a que se genera una biomasa llamada vinaza en el proceso de destilación. Este es un líquido que tiene pH ácido, elevada DQO y con partículas en suspensión, la generación de este contaminante está en una relación de vinaza/etanol de 12/1L. (Silva et al. 2007)

No obstante, con la ayuda de la tecnología moderna, se da un mejor tratamiento fisicoquímico, químico y/o biológico (Sheehan y Greenfield, 1980), que garantiza buenos resultados y menores costos. Proponiéndose alternativas de reúso para alimentos de pollo, biogás y fertirriego. (Hidalgo et al. 2009, Cruz et al., 2017, Mijangos et al., 2014)

En conclusión, se propició el uso de materias primas que contengan gran cantidad de azúcares para aumentar los rendimientos del producto final, un mejor balance energético, diversificación de materia prima y menos impactos ambientales. (Gómez, 2018)

Presencia de elevadas cantidades de almidón en materias primas. Los tubérculos, cereales y rizomas son productos utilizados en la producción de bioetanol debido a su elevada concentración de almidón. Para ello es necesario que pase por las etapas de molienda, licuefacción, sacarificación, seguidamente es necesario fermentar, destilar y deshidratar el producto. (Gómez, 2018)

Existen diversos factores que afectan en el rendimiento final del etanol tales como el porcentaje de humedad (Dien et al., 2012), déficit de irrigación (Liu et al., 2013), infección causada por hongos, y punto de cosecha. (Dien et al., 2012).

2.2.3.2.2. Segunda generación. Nace el concepto de biorrefinería, por la obtención de etanol, metanol y gas de síntesis mediante procesos de segunda generación, obtenidos a partir de material lignocelulósico.

Este tipo de combustibles están compuestos de hemicelulosa, celulosa y lignina. Son residuos agrícolas como las ramas secas y rastrojos de cereales, y/o bagazo de caña como residuo de las industrias o los granos de destilería. (Gómez, 2018)

Cabe indicar que transformación bioquímica de estos residuos presenta ciertas limitaciones debido a su naturaleza química de base lignocelulósica heterogénea, por ende, se tiene que aplicar tratamientos previos.

Un componente de importancia en estos residuos es la lignina, que se encuentra dentro de la composición de los residuos. Este componente obstaculiza la conversión de celulosa a glucosa realizado por la enzima celulasa mediante la

hidrólisis. Además, la superficie hidrofóbica de la lignina puede absorber algunas enzimas celulolíticas evitando su acción sobre la celulosa. La despolimerización de los compuestos fenólicos de la lignina también puede inhibir la fermentación. (Gómez, 2018)

Por ende, un limitante para obtener bioetanol de segunda generación es realizar la hidrólisis de la celulosa (hidrólisis enzimática) debido a la necesidad de cocteles enzimáticos complejos para realizar la despolimerización, añadido la estructura compleja de los residuos lignocelulósicos que dificultan el proceso de hidrólisis. (Gómez, 2018)

2.2.3.2.3. Tercera generación. Los productos para la obtención de combustibles de tercera generación son las pasturas permanentes, microalgas, macroalgas y cianobacterias, caracterizados principalmente por la veloz reproducción de biomasa y elevada densidad energética. Las macroalgas contienen almidones que al pasar por un proceso de hidrolizado y fermentar el producto se obtiene bioetanol (Adams et al., 2009; Khambhaty et al., 2013; Scholz et al., 2013; Sudhakar et al., 2016) y/o biobutanol, producto con alta compatibilidad a la gasolina y de mayor densidad energética. (Dürre, 2008)

Se resalta el hecho del uso de algas autótrofas para combustibles de tercera generación por su capacidad de producción de alimentos gracias a la energía solar y de dióxido de carbono. (Ramos, 2016)

2.2.3.2.4. Cuarta generación. El concepto de combustibles de cuarta generación nace gracias a los avances de la bioingeniería, a partir del uso de organismos genéticamente modificados que garantizan mayor captura de dióxido de carbono (CO₂) y garantizan resultados positivos de eficiencia y rendimiento de los procesos. (Ramos, 2016)

Ejemplo de esto es la modificación genética de la *E.Coli* con el objetivo de obtener biodiesel a partir de la fermentación y producción de triglicéridos de jugos dulces; o la caña con contenido alto de lípidos para obtener biodiesel y etanol de manera simultánea. (Gómez, 2018)

2.2.3.3. Procesos de obtención del bioetanol

2.2.3.3.1. Pretratamiento o tratamiento preliminar. El tratamiento preliminar se da con el objetivo de facilitar la accesibilidad y uso de los azúcares, reducción de los carbohidratos y la obtención de productos que favorezcan el trabajo de los microorganismos en el proceso de fermentación y resulte más eficiente económicamente. (Díaz y Herrera, 2016).

Un inconveniente del pretratamiento es las diferencias de estructura y composición de materias primas vegetales, diferencias de especies de planta, edad de cultivo, entre otros. Por ende, la selección del tipo de pretratamiento depende de la materia prima a utilizarse, tipo de hidrólisis y método de fermentación aplicado posteriormente. (Zola, 2017)

A continuación, se muestra algunos tratamientos preliminares:

- **Selección y limpieza y de la materia prima.** Se realiza el proceso de selección, en el cual se garantiza que el producto esté en buenas condiciones de uso para los fines en mención. Seguidamente, con el objetivo de eliminar y/o

separar los contaminantes se realiza la limpieza y eliminación de excedentes para obtener bioetanol de calidad.

- **Degradación de la Lignina.** Se puede realizar tratamiento físico, químico y/o enzimáticos con el objetivo de favorecer la conversión de azúcares complejos a simples (Santi et al., 2014). El tratamiento físico hace referencia a la trituración y molienda de los residuos lignocelulósicos; para disminuir el índice de cristalinidad y grado de despolimerización de la celulosa. (Yoon et al., 2014)

Por otro lado, el procedimiento químico se basa en calar el producto en una solución de hidróxido de sodio a 0.1N. (Hoyos y Perez, 2005)

Sin embargo, con el objetivo de mejorar la concentración de glucosa y por ende, mayor obtención de bioetanol superior a 2.6 g/L se recomienda realizar un tratamiento térmico en sinergia con el tratamiento químico usando NaOH, tal como lo menciona Fernández (2007), el tratamiento consisten en someter la solución a 120 – 180°C para la solubilización de la hemicelulosa y celulosa, para luego hidrolizarlo con NaOH 0.1N al 1%.

2.2.3.3.2. Hidrólisis. Proceso esencial que permite la obtención de azúcares como la glucosa y fructuosa. Para llevar a cabo este proceso se puede utilizar catalizadores ácidos que solubilicen la celulosa y hemicelulosa del material lignocelulósico, sin embargo, es imprescindible tener control de parámetros de temperatura y presión para obtener mayor volumen de bioetanol. (Almenares y Serrat, 2008).

Este proceso puede ser de dos tipos, hidrólisis acida e hidrolisis enzimática, dependerá del agente o solución a utilizarse.

- **Hidrólisis ácida:** Se basa en el uso de un ácido prótico para acelerar la conversión y rompimiento de un enlace químico mediante una reacción de

sustitución nucleófila añadiendo agua. Un gran ejemplo es convertir la celulosa o el almidón en un azúcar simple como la glucosa.

- **Hidrólisis enzimática.** Se basa en el uso de enzimas celulosas de alta especificidad a condiciones de temperatura entre 45 y 50°C y pH de 4,8 e inexistencia de problemas de corrosión. Las fuentes de azúcares obtenidos son principalmente las pentosas, hexosas y glucosa, que se utilizarán mas adelante para la obtención de bioetanol. (Zola, 2017)

2.2.3.3.3. Fermentación. Es un proceso llevado a cabo en un medio anaeróbico, donde se da el rompimiento de cadenas de carbono por la acción de microorganismos (enzimas denominadas levaduras) para su conversión en alcohol y dióxido de carbono (CO₂) en estado gaseoso. (Hernández, 2018)

Existen diferentes tipos de fermentación, la más conocida e importante para este caso es la fermentación alcohólica; la cual hace referencia a la conversión de un molécula de glucosa (C₆H₁₂O₆) en 2 moléculas de etanol (C₂H₅OH) y 2 moléculas de CO₂. (Escalante, 2013)

- **Microorganismos fermentadores**

Este tipo de microorganismos presentan algunas características esenciales que les permite realizar la fermentación, tales como la tolerancia al bioetanol, resistencia a altas temperaturas, soportar cantidades altas de azúcares, buena productividad y gran desempeño alcohólico. (Zuzuarregui, 2005)

Los microorganismos empleados generalmente en el proceso de fermentación son las levaduras por su gran capacidad de convertir los azúcares en bioetanol y por su resistencia a altas concentraciones de este producto (equivalente a 150 g/L) (Claassen et al., 1999)

Algunos microorganismos utilizados para el proceso son de origen fúngico, como la *Candida seudotropicalis*, *Saccharomyces cerevisiae*, *S. carlsbergensis*, *Kluyveromyces marxianus*, *S. ellipsoideus*, *Pichia membranaefaciens*, *Candida bytyrii*, *S. anamensis*, *Schizosaccharomyces pombe*, *S. carlsbergensis*, *Pichia stipatis*. (Frazier y Westhoff, 2000)

Saccharomyces cerevisiae

Tabla 5

Clasificación taxonómica de Saccharomyces cerevisiae

Reino	Hongo
División	Amastogomycota
Clase	Ascomicetas
Subclase	Hemiascomycetidae
Orden	Endomycetales
Familia	Sacchaomycetaceae
Subfamilia	Saccharomycetadae
Género	<i>Saccharomyces</i>
Especie	<i>S. cerevisiae</i>

Nota. Elaborado por Nieto, 2009.

La *Saccharomyces cerevisiae* es un tipo de levadura de metabolismo heterótrofo que se reproduce por gemación, son osmóticos, eucariotas unicelulares. (Frazier & Westhoff, 2000). Tienen una forma redonda y ovoidea a veces es cilíndrica y filamentosa, de tamaño 2.5 – 10 µ de ancho y 4.5 – 21 µ de largo. (Gonzales, 2014). Fajardo y Sarmiento (2008) recomiendan una aireación de 0.6 a 0.9 vvm.

En el sector industrial se usa generalmente la levadura *S. cerevisiae* por su gran capacidad de metabolización de la glucosa, fructuosa, sacarosa, galactosa y maltrosa (Hernández & Martínez, 2012) y por su tolerancia al etanol y azúcares además que genera muy pocos subproductos (Fajardo y Sarmiento, 2008). Sin embargo, tiene capacidades limitantes para la hidrólisis de almidón y dextrinas, además es necesario un proceso de hidrólisis para la conversión de oligosacáridos. (Casp & Abril, 2003).

- Requerimientos nutricionales: Es primordial la dotación de C, H, O, N y fósforo. Sin embargo, dependerá de las condiciones de oxígeno, si es aeróbico requiere de vitaminas como la biotina, tiamina, piridoxina o pantoténico de calcio, en cambio si es anaeróbica solo requerirá de inositol. (Gonzales, 2014)
- Requerimientos fisicoquímicos: La levadura se desarrolla mejor a pH ácido lo que permite una mejor fermentación alcohólica, según Fajardo y Sarmiento (2008) crece mejor a un pH de 4 – 4.5. Sin embargo, Hernández y Martínez (2012) manifiestan que puede desarrollarse a pH de 4- 7, pero a pH neutro si bien puede darse la formación de la biomasa, la producción de etanol disminuye significativamente. Con respecto a la temperatura crece en un rango de 28 – 35°C siendo la óptima 30°C. (Fernández et al.,2014), aunque depende de la cepa con que se esté trabajando, debido a que algunas soportan bajas temperatura y otras fermentan mejor a altas temperaturas. (Torija, 2002).

2.2.3.3.4. Destilación. Se denomina así al proceso que permite la separación de dos componentes por diferentes puntos de ebullición, que, al ser expuestos al calor, el líquido más volátil se evapora. (Escalante y Fuentes, 2013)

Según Hernández (2018), esta separación se debe a que los compuestos tienen diferente presión con respecto a una sola temperatura.

2.3. Marco conceptual

- **Biocombustible:** Son aquellos combustibles obtenidos de la biomasa. Pueden ser de origen vegetal o animal. Los biocombustibles son productos renovables. (Vargas et al., 2022)
- **Bioenergía:** Es la energía generada de la biomasa, tras pasar por procesos como la combustión, hidrolisis y/o fermentación. (Olivares, 2021)
- **Bioetanol:** Llamado también alcohol etílico es un producto químico orgánico que bajo condiciones normales se considera volátil, incoloro, inflamable y miscible en agua. (Canales, 2019)
- **Biorreactor de fermentación:** Es un tipo de recipiente de fermentación que se emplea para la producción de distintas reacciones químicas y biológicas bajo condiciones controladas y agitación constante. (Arias et al., 2019)
- **Carbohidratos:** Los carbohidratos con moléculas orgánicas compuestas por C, H, O, y N, pero algunas biomoléculas pueden contener nitrógeno, fosforo y azufre. (Cortes, 2020)
- **Destilación:** La destilación es una técnica ampliamente utilizada en análisis químico para separar líquidos de los sólidos no volátiles, o para separar dos o más líquidos que tienen distinto punto de ebullición, de esta manera permite caracterizar materiales mediante el establecimiento de un índice de pureza. (Rosero, 2023)

- **Economía circular:** Es un modelo económico continuo, que busca optimizar los recursos al máximo, de esta manera preserva y aumenta el capital natural y reduce los riesgos del sistema. (Parcauchuco, 2019)
- **Enzimas:** Las enzimas son proteínas que catalizan las reacciones bioquímicas. a velocidades en el que tienen lugar los procesos biológicos en los organismos vivos. De esta manera ayudan a construir o descomponer sustancias. (Manzano, 2023)
- **Fermentación alcohólica:** Proceso biológico que permite la obtención de bioetanol tras la fermentación de los azúcares utilizando comúnmente levaduras. (Guevara, 2020)
- **Glucosa:** Es un monosacárido con 6 átomos de carbono y constituye la mayor fuente de energía en nuestro cuerpo. (Meza, 2020)
- **Hidrolisis:** La hidrolisis consiste en la transformación de azúcares complejos y poco aprovechables en azúcares simples. (Cajo y Vásquez, 2017)
- **Levaduras:** Las levaduras son un grupo de hongos cuya función principal es la fermentación de azúcares. Además, tienen una fase sexual perfecta y puede contener o no hifas y/o pseudohifas. (Estrada y Ramírez, 2019)
- **Valorización:** Es un proceso de transformación en el que se atribuye o añade valor a algo. (Moreno, 2016)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis General

Todos los tratamientos son óptimos en la obtención de bioetanol a partir de residuos de naranja (*Citrus sinensis*) y plátano (*Musa paradisiaca L.*) del mercado Las Américas, pero no existe diferencia significativa entre ellos en términos de medias de pureza y volumen.

3.1.2. Hipótesis específicas

- Los volúmenes de bioetanol obtenido en cada tratamiento del proceso de destilación a partir de residuos de naranja (*Citrus sinensis*) y plátano (*Musa paradisiaca L.*) superan los 200 ml/kg.
- El porcentaje de pureza de bioetanol obtenido en cada tratamiento del proceso de destilación a partir de residuos de naranja (*Citrus sinensis*) y plátano (*Musa paradisiaca L.*) supera el 30%.
- Los niveles de sacarosa obtenidos en cada tratamiento del proceso de hidrólisis ácida de residuos de naranja (*Citrus sinensis*) y plátano (*Musa paradisiaca L.*) son mayores a 22 °Brix.

- Los niveles de sacarosa en cada tratamiento obtenidos al final del proceso de fermentación de residuos de naranja (*Citrus sinensis*) y plátano (*Musa paradisiaca L.*) son inferiores a 5 °Brix.

3.2. Método

Esta investigación corresponde a un método deductivo, de acuerdo con Hernández (2018), el enfoque cuantitativo hace empleo de la lógica deductiva y la generalización o extrapolación de resultados hacia la población es una finalidad en sí misma; teniendo como eje a las hipótesis, las cuales se pueden aceptar o rechazar en función a un contexto determinado.

3.3. Tipo de investigación

Es una investigación aplicada. Baena (2014), indica que la investigación aplicada se realiza en base a los descubrimientos de la ciencia básica para luego llevarlos a la práctica y así dar solución a las necesidades que se manifiesta en la sociedad.

3.4. Nivel o alcance de investigación

Corresponde a un nivel explicativo, ya que según Hernández (2018) en este alcance de investigación se pretende establecer las causas de los sucesos o fenómenos que se estudian, relacionando diversas variables o conceptos que se encuentran vinculados entre sí.

3.5. Diseño de la Investigación

Esta investigación es de diseño experimental puro, ya que se aplicaron tratamientos o intervenciones en la variable independiente, con el propósito de estudiar sus resultados sobre la variable dependiente en un ambiente de control (Hernández, 2018).

Se aplicó 4 tratamientos con tres repeticiones cada uno. El primer tratamiento consiste en utilizar como sustrato solo residuos de naranja, en el segundo se emplea solo residuos de plátano, para el tercero se realiza una combinación de ambos sustratos, al igual que para el cuarto tratamiento con la diferencia que no se añade levadura a este último.

Tabla 6

Metodología

Tratamientos	Repeticiones	Cantidad de residuos	Dosis de levadura
T1	R1	1 kg de naranja	5g/L de jarabe glucosado
T1	R2	1 kg de naranja	5g/L de jarabe glucosado
T1	R3	1 kg de naranja	5g/L de jarabe glucosado
T2	R1	1 kg de plátano	5g/L de jarabe glucosado
T2	R2	1 kg de plátano	5g/L de jarabe glucosado
T2	R3	1 kg de plátano	5g/L de jarabe glucosado
T3	R1	1/2 kg de naranja y 1/2 kg de plátano	5g/L de jarabe glucosado
T3	R2	1/2 kg de naranja y 1/2 kg de plátano	5g/L de jarabe glucosado
T3	R3	1/2 kg de naranja y 1/2 kg de plátano	5g/L de jarabe glucosado
T4	R1	1/2 kg de naranja y 1/2 kg de plátano	sin levadura
T4	R2	1/2 kg de naranja y 1/2 kg de plátano	sin levadura
T4	R3	1/2 kg de naranja y 1/2 kg de plátano	sin levadura

Nota. Elaboración propia

3.6. Operacionalización de variables

- **Variable independiente:** Residuos de naranja y plátano
- **Variable dependiente:** Bioetanol

Tabla 7

Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADOR	ÍNDICE
VARIABLE INDEPENDIENTE RESIDUOS DE NARANJA Y PLÁTANO	Son residuos orgánicos que pueden ser aprovechados y transformados en productos de alto valor agregado. Muñoz (2020), considera a la naranja como una valiosa materia prima lignocelulósica para la generación de bioetanol debido a su riqueza en azúcares fermentables y bajo contenido de lignina (Tejeda et al., 2010). Asimismo, los residuos de plátano presentan alto contenido de celulosa y tienen el potencial de producir alcohol (Quintero et al., 2015)	Los residuos de naranja y plátano al estar constituidos por azúcares complejos necesitan pasar por una etapa de pretratamiento que consiste en la trituración y eliminación de la lignina (con la finalidad de desasociar la matriz lignocelulósica para liberar la celulosa y hemicelulosa para facilitar la hidrólisis). (Hernández, 2018)	Pre	Humedad	%
			tratamiento	Lignina	%
			Hidrólisis ácida	Volumen del mosto	ml
			Fermentación	Contenido de sacarosa	de °Brix
				Contenido de sacarosa	de °Brix

**VARIABLE
DEPENDIENTE
BIOETANOL**

El bioetanol es un compuesto alcohólico derivado de la fermentación de diversas materias primas con alto contenido de sacarosa, almidón o celulosa. (Alejos, 2015)

La obtención de bioetanol se fundamenta en varias etapas, partiendo del pretratamiento de los desechos para romper la estructura lignocelulósica, seguidamente se realiza una hidrólisis ácida. Seguidamente se lleva a cabo la fermentación con especies fúngicas que convierten la glucosa en etanol. Finalmente, se realiza la destilación con el objetivo de separar y purificar el etanol. (Howard et al., 2003; Rubin, 2008).

Volumen ml

Pureza %

Nota. Elaboración propia

3.7. Población, muestra y muestreo

3.7.1. Población

Está comprendida por todos los residuos de naranja y plátano que se genera en el mercado Las Américas procedentes de los establecimientos de venta de frutas y juguerías, contabilizándose un total de 26 puntos de venta correspondiente a 56 puestos.

3.7.2. Muestra

La muestra se determinó en función a los puntos de venta mediante la fórmula propuesta por Dicovsky (2012):

$$n = \frac{N \times Z^2 \times p \times q}{E^2 \times (N - 1) + Z^2 \times p \times q}$$

Donde:

N: Total de la población igual a 26

Z: 1.96 al cuadrado (si la seguridad es del 95%)

p: proporción esperada (en este caso = 0.5)

q: 1 – p (en este 1 – 0.5 = 0.5)

E: precisión (en este caso es un 5%)

Se obtuvo un total de 24 puntos de venta, en cada puesto se recolectó medio kilogramo de residuo, en los primeros 12 puesto se recolectó residuos de plátano y en los otros 12 residuos de naranja, teniendo un total de 12 kilogramos de residuos (6 kg de residuo de naranja y 6 kg de residuo de plátano).

3.7.3. Muestreo

El muestreo empleado es el muestreo probabilístico de tipo aleatorio simple, ya que brinda la misma oportunidad de incluir en la muestra a todos los individuos que integran la población blanca. (Otzen, 2017)

3.8. Técnica e instrumentos

Las técnicas empleadas en este estudio son:

- Observación
- Análisis de laboratorio
- Revisión documentaria

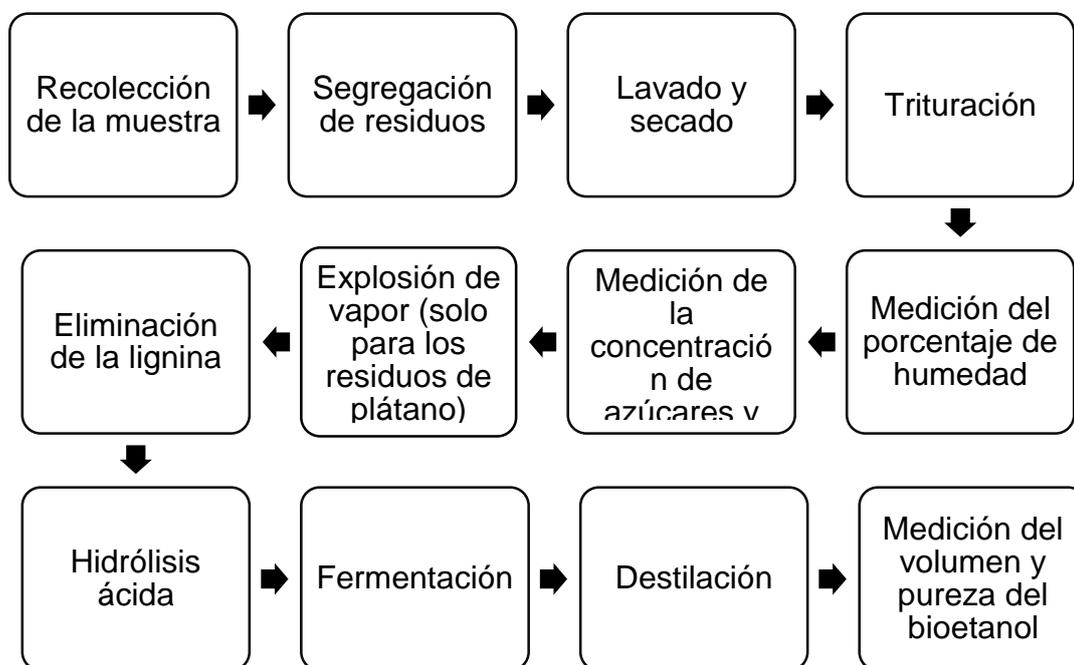
Asimismo, mencionar los instrumentos que serán necesarios para llevar a cabo la investigación:

- Formato de observación
- Ficha de laboratorio
- Lista de cotejo

3.8.1. Procedimiento experimental

Figura 4

Procedimiento



Nota. El diagrama indica la sucesión de los procedimientos que se realiza para obtener bioetanol derivado de residuos de naranja y plátano.

Características y criterios básicos para recolección de muestra

- **Recolección de la muestra**

Se recolecta un total de 12 kilos de residuos de plátano y naranja (6 kilos por cada residuo) procedentes de los establecimientos de venta de frutas del mercado Las Américas por cada repetición. Los residuos de naranja y plátano fueron almacenados en diferentes bolsas plásticas respectivamente.

- **Segregación de residuos**

Se clasifica los residuos de naranja y plátano teniendo en cuenta el grado de madurez con el objetivo de obtener mayor cantidad de azúcares para la fermentación, asimismo se desecharon los residuos de fruta que estuvieron en estado de putrefacción y con presencia de hongos.

Seguidamente se procede a pesar 1 kilo de residuo para cada tratamiento. El primer tratamiento (T₁) estuvo compuesto por 1 kilo de naranja, el segundo (T₂) por 1 kilo de plátano, el tercero (T₃) por 1/2 kilo de plátano y 1/2 kilo de naranja; y el grupo de control (T₄) por 1/2 kilo de plátano y medio kilo de naranja.

Tabla 8

Cantidad de residuo por tratamiento

Tratamiento	Cantidad (Kg)
Tratamiento 1 (T1)	1 kg de naranja
Tratamiento 2 (T2)	1 kg de plátano
Tratamiento 3 (T3)	1/2 kg de naranja y 1/2 kg de plátano
Tratamiento 4 (T4)	1/2 kg de naranja y 1/2 kg de plátano

Nota. Elaboración propia

- **Lavado y secado**

Los residuos segregados y pesados son lavados con abundante agua destilada, eliminando material que pueda generar inconvenientes en los procesos posteriores. Asimismo, se procede a eliminar el material inservible para los

siguientes procesos, como las semillas en el caso de la naranja, y en el caso del plátano la parte superior de la fruta. Con respecto al residuo de naranja se extrajo el jugo en un vaso precipitado.

- **Trituración**

Se procede con la trituración para obtener una dimensión de 2 mm, con el propósito de lograr una mayor combinación entre los restos y los reactivos a usar, y obtener mayor eficiencia en la hidrólisis. (Rodríguez, 2019).

- **Medición del porcentaje de humedad**

Se emplea la Metodología propuesta por Kirk (1996), la cual consiste en:

- Determinar la masa de dos cápsulas previamente desecadas (M_0).
- Tomar una porción de residuo para cada cápsula y determinar su masa (M_1).
- Secar los crisoles o cápsulas con los residuos en una estufa a 105 °C por 24 horas para luego determinar la masa de cada una (M_2).
- Determinar el porcentaje de humedad mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(M_1 - M_2) \times 100}{M_1 - M_0}$$

Dónde:

M_0 = Masa en gramos de la cápsula.

M_1 = Peso en gramos de la cápsula y la muestra antes del secado.

M_2 = Peso en gramos de la cápsula y la muestra después del secado.

- **Medición de azúcares reductores**

Se emplea el Brixómetro como instrumento de medición de azúcares presentes en la muestra. Para ello solo se necesita unas gotas de muestra las

cuales serán colocadas en el prisma principal. Y se procederá a la lectura inmediata.

- **Medición del porcentaje de lignina**

Se determina el porcentaje de lignina haciendo uso de reactivos como el ácido sulfúrico al 72% a 13°C de temperatura y filtración al vacío. Finalmente se aplica la siguiente fórmula empleada por Vásquez (2019).

$$\% \text{ Lignina} = \frac{A - B}{C} \times 100$$

En donde:

A = Masa del papel filtro con la muestra húmeda

B = Masa del papel filtro con la muestra seca

C = Masa de la muestra seca

- **Explosión de vapor**

Según el procedimiento descrito por Gómez y Martín (2021), una vez trozados los residuos de plátano y naranja, se lleva a la autoclave a una T de 100°C por un tiempo de 15 minutos. Se realiza otra explosión de vapor utilizando una olla a presión durante 15 min. Con el propósito de conseguir un jarabe rico en azúcares y utilizarlo al momento de hacer la medición de °Brix iniciales.

- **Eliminación de la lignina**

Se utiliza el procedimiento empleado por Márquez (2017), la muestra de 1000 g se sumerge en solución de NaOH (0.5 N) x 15 minutos y se mantiene en reposo por 3 horas. Por último, se disocia el material de mayor tamaño de la solución por decantación.

- **Hidrólisis ácida**

Se adiciona 50 ml de H₂SO₄ al 5% por cada 100 gramos de residuos de naranja, a una temperatura de 125°C y 1 atm de presión, llevado cabo en una autoclave, por 15 minutos, y finalmente se centrifugó por 10 minutos a 2500 rpm, para separar el precipitado de los jarabes. (Sun, 2002). Cabe indicar que para el caso de la naranja se mezcla la muestra sólida con la líquida (jugo de naranja) correspondientes a los tratamientos T1, T3 y T4.

- **Fermentación**

Para llevar a cabo este proceso se adaptaron diferentes materiales de laboratorio cumpliendo la función de un biorreactor, permitiendo la medición constante de la temperatura y agitación para homogenizar la muestra. En este procedimiento se realizaron cuatro tratamientos, para cada uno de ellos las condiciones fueron las mismas, un pH de 4.5 a 5.5 ajustado con NaOH a 5 N y una temperatura de 30°C por 5 días (Cuadrado, 2006). La dosis de levadura *Saccharomyces cerevisiae* fue de 5g/L para los tratamientos 1,2, y 3: el tratamiento cuatro se realiza sin levadura.

- **Destilación**

Después del proceso de fermentación se prosigue finalmente a realizar la destilación simple, para la obtención de alcohol más puro, separándolo del material no hidrolizado. Para ello se considera la temperatura de ebullición del etanol, que es de 78°.

El bioetanol obtenido se almacena en matraces para evitar su volatilización.

- **Medición del volumen y pureza del bioetanol**

Se utiliza un alcoholímetro para medir el porcentaje de pureza y probetas para medir el volumen del bioetanol obtenido.

3.9. Consideraciones éticas

Se respeta el patrimonio intelectual, citando a todos los autores, del cual se hace uso de la información de su pertenencia. Asimismo, se garantiza la autenticidad de los resultados alcanzados en el presente estudio.

3.10. Procedimiento Estadístico

Los resultados generados se procesaron en el programa Minitab 19, para realizar la prueba estadística de la hipótesis general se analizó la varianza de las medias usando análisis estadístico ANOVA, y para establecer las diferencias significativas se realizó la prueba de Tukey y así determinar el tratamiento con mejores resultados.

Respecto a la prueba estadística de las hipótesis específicas se empleó el análisis estadístico T de una muestra.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Medición del porcentaje de humedad

Se empleó la Metodología propuesta por Kirk (1996) y los resultados fueron los siguientes:

Tabla 9

Resultados del porcentaje de humedad

	Naranja	Plátano
Peso del crisol (g)	33.75	33.92
Masa 1 (g)	36.628	57.882
Masa 2 (g)	35.074	40.155
Porcentaje de humedad (%)	53.996	73.980

Nota. Elaboración propia

4.1.2. Medición del porcentaje de lignina

Se empleó la metodología propuesta por Vásquez (2019), haciendo uso de reactivos como el ácido sulfúrico al 72% a 13°C de temperatura y filtración al vacío. Los resultados fueron los siguientes:

Tabla 10*Resultados del porcentaje de lignina*

	Naranja	Plátano
Peso de la muestra (g)	2	2
Peso del papel filtro con la muestra húmeda (g)	0.959	1.165
Peso del papel filtro con la muestra seca (g)	0.505	0.299
Porcentaje de lignina (%)	23.67	43.3

Nota. Elaboración propia**4.1.3. Hidrólisis ácida**

En el siguiente cuadro se muestran los volúmenes de jarabes obtenidos luego del proceso de centrifugación, así como los grados Brix correspondiente a cada tratamiento.

Tabla 11*Resultados de la Hidrólisis ácida*

Tratamientos	Repeticiones	Volumen de jarabe glucosado (ml)	Grados Brix (°)
T1	R1	475	14
	R2	485	17
	R3	482	15
T2	R1	425	17
	R2	418	21
	R3	420	18
T3	R1	550	16
	R2	560	18
	R3	563	17
T4	R1	560	16
	R2	556	17
	R3	565	17

Nota. Elaboración propia

Al terminar el proceso de hidrólisis se obtiene también residuos sólidos de naranja y plátano, los cuales presentan un pH ácido por la concentración de ácido sulfúrico. Los pH de los residuos sólidos obtenidos en cada tratamiento son:

Tabla 12

Resultado de pH de residuos sólidos en la Hidrólisis

Tratamientos	Repeticiones	pH de residuos sólidos
T1	R1	1.40
	R2	1.27
	R3	1.32
T2	R1	1.01
	R2	1.18
	R3	1.20
T3	R1	0.98
	R2	1.05
	R3	1.12
T4	R1	1.21
	R2	1.15
	R3	1.08

Nota. Elaboración propia

Estos residuos sólidos orgánicos fueron mezclados con cal (carbonato de calcio) para regular el pH y poder mezclarse con un suelo agrícola; de esta manera mejorar sus propiedades debido a que proporciona nutrientes para las plantas así como a los microorganismos presentes, contribuye a reducir la compactación del suelo y ayuda en la infiltración del agua, mejora la aireación y circulación del agua debido al acrecentamiento de la porosidad, su capacidad de retención de agua y resistencia a la sequía, etc. (Docampo, 2010)

Los resultados de pH luego de la mezcla fueron los siguientes:

Tabla 13

Resultados de pH de los residuos sólidos mezclados con Cal

Tratamientos	Repeticiones	pH de residuos sólidos	Cantidad de Cal (g)	pH final
T1	R1	1.40	0.31	7.42
	R2	1.27	0.34	7.35
	R3	1.32	0.32	7.40
T2	R1	1.01	0.60	6.89
	R2	1.18	0.51	6.83
	R3	1.20	0.58	7.10
T3	R1	0.98	0.65	7.01
	R2	1.05	0.61	6.96
	R3	1.12	0.62	7.12
T4	R1	1.21	0.52	6.58
	R2	1.15	0.44	6.52
	R3	1.08	0.58	6.65

Nota. Elaboración propia

4.1.4. Fermentación

A continuación, se muestra las mediciones de pH y grados Brix, realizado en los 5 días del proceso de fermentación para cada tratamiento con sus respectivas repeticiones (tres repeticiones por tratamiento).

Tabla 14

Resultados del proceso de fermentación del Tratamiento 1

Días	Repetición 1 (R1)		Repetición 2 (R2)		Repetición 3 (R3)	
	pH	°Brix	pH	°Brix	pH	°Brix
0	5.02	14	5.10	17	5.03	15
1	4.52	12	4.96	15	4.87	13

2	4.69	11	4.89	14	5.01	12
3	4.81	11	4.74	13	4.95	11
4	5.06	11	4.69	13	4.93	11

Nota. Elaboración propia

En la tabla 12, se observa que los valores de pH fluctúan entre rangos de 4.52 a 5.06 como máximo para la primera repetición, respecto a la segunda repetición el valor mínimo registrado fue de 4.69 y el máximo de 5.10; y finalmente la repetición 3 los valores de pH se encuentran entre valores de 4.87 y 5.03.

En la medición del contenido de sacarosa, se observa una reducción de 3 °Brix entre el primer y último día respecto a la repetición 1, en la segunda y tercera repetición se alcanzó una disminución de 4 °Brix durante el proceso de fermentación.

Tabla 15

Resultados del proceso de fermentación del Tratamiento 2

Días	Repetición 1 (R1)		Repetición 2 (R2)		Repetición 3 (R3)	
	pH	°Brix	Ph	°Brix	pH	°Brix
0	5.01	17	4.75	21	4.95	18
1	4.83	15	4.61	17	4.70	15
2	4.97	13	5.05	16	5.03	13
3	4.71	10	5.02	14	4.98	11
4	4.84	10	4.99	14	4.96	10

Nota. Elaboración propia

La tabla 15 muestra las mediciones de pH por día del tratamiento 2 compuesto únicamente por residuos de plátano, siendo el valor mínimo registrado en las tres repeticiones de 4.61 y el valor máximo 5.05.

Respecto a la medición de los grados Brix, mencionar que en la repetición 3 se alcanzó la mayor disminución de los azúcares en los 5 días con 8°Brix.

Tabla 16

Resultados del proceso de fermentación del Tratamiento 3

Días	Repetición 1 (R1)		Repetición 2 (R2)		Repetición 3 (R3)	
	pH	°Brix	pH	°Brix	pH	°Brix
0	5.49	16	5.30	18	4.99	17
1	5.04	13	5.15	14	4.80	14
2	5.33	11	4.95	12	5.10	11
3	5.36	10	5.23	11	5.05	10
4	5.31	9	5.20	10	5.02	9

Nota. Elaboración propia

Los valores de pH registrados en la tabla se encuentran dentro de los valores recomendados, sin embargo, en día cero de la repetición 1 se registró un valor muy cercano al límite de 5.5.

Se observa también que la medición inicial de sacarosa en el día cero, comprende valores de 16, 18 y 17 °Brix para la repetición 1,2 y 3 respectivamente, reduciéndose para último día a valores equivalentes a 9°Brix para las repeticiones 1 y 3, y 10°Brix para la segunda repetición.

Tabla 17*Resultados del proceso de fermentación del tratamiento 4*

Días	Repetición 1 (R1)		Repetición 2 (R2)		Repetición 3 (R3)	
	pH	°Brix	pH	°Brix	pH	°Brix
0	5.49	16	5.07	17	4.94	17
1	5.04	15	4.89	16	4.81	16
2	5.02	14	4.75	15	4.73	15
3	5.07	14	5.02	15	5.08	14
4	5.09	14	4.98	15	5.04	14

Nota. Elaboración propia

Este cuadro muestra las mediciones de pH y grados Brix para el tratamiento 4 en el cual no se aplicó ninguna levadura, por ende se visibiliza la mínima reducción de azúcares a lo largo de los 5 días de fermentación, solo reduciéndose en 2 °Brix para las repeticiones 1 y 2 y una reducción de grados brix de 3 para la última repetición. Respecto al pH los valores se encuentran dentro del rango recomendado de 4.5 a 5.5.

En el siguiente cuadro se muestra la reducción de los azúcares a lo largo de los 5 días del proceso de fermentación para cada tratamiento y repeticiones

Tabla 18*Resultados de la medición de °Brix durante la fermentación*

Tratamientos	Repeticiones	Día 0	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4
T1	R1	14	12	12	11	11
	R2	17	15	14	13	13
	R3	15	13	12	11	11
T2	R1	17	15	13	10	10
	R2	21	17	16	14	14

	R3	18	15	13	11	10
	R1	16	14	13	10	9
T3	R2	18	14	12	11	10
	R3	17	14	11	10	9
	R1	16	15	14	14	14
T4	R2	17	16	15	15	15
	R3	17	16	15	14	14

Nota. Elaboración propia

Se observa que los valores de sacarosa mínimos registrados en el día 4, corresponden al tratamiento 3 de la combinación de residuos de naranja y plátano, llegan a un valor de 9°Brix en las repeticiones 1 y 3, lo cual significa mayor conversión de azúcares a bioetanol. Por otro lado, el tratamiento 4 muestra el mínimo descenso de sacarosa durante los 5 días del proceso de fermentación debido a la ausencia de levadura.

De la misma manera el gráfico a continuación ilustra el descenso de azúcares a lo largo del proceso de fermentación.

4.1.5. Destilación

Después del proceso de fermentación se prosiguió finalmente a realizar la destilación simple por tres veces consecutivas, para obtener alcohol de mayor pureza. Para ello se consideró una temperatura de ebullición no mayor a 78° por ser el punto de ebullición del etanol. El bioetanol obtenido se almacena en matraces con tapa para evitar su volatilización. Finalmente se realizó la medición del volumen de alcohol y su pureza haciendo uso de un alcoholímetro.

Tabla 19*Resultados de bioetanol obtenido*

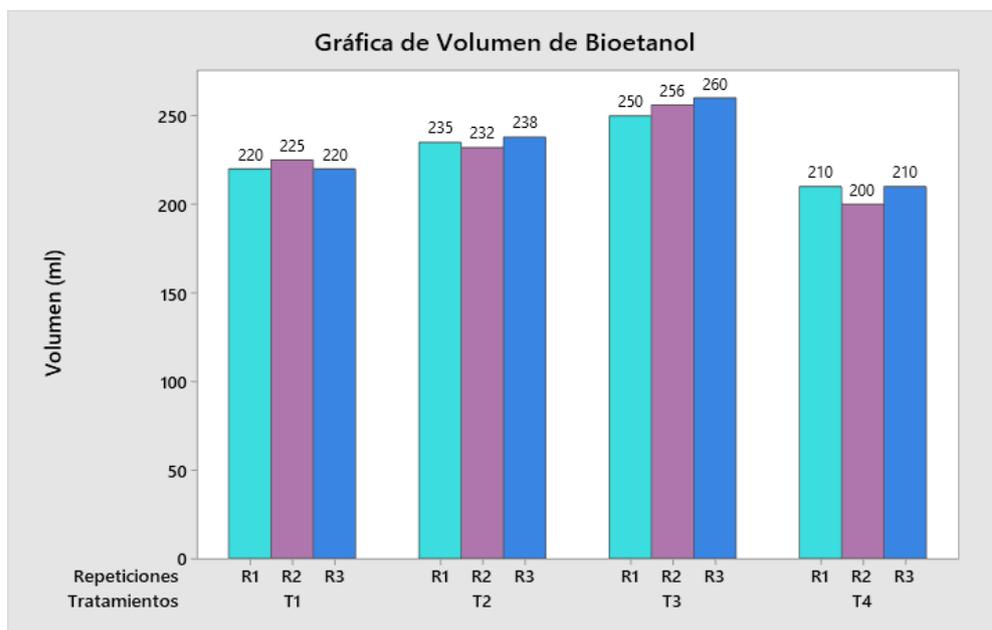
Tratamientos	Repeticiones	Volumen (ml)	Pureza (%)
T1	R1	220	12
	R2	225	13
	R3	220	12
T2	R1	235	15
	R2	232	14
	R3	238	15
T3	R1	250	14
	R2	256	15
	R3	260	15
T4	R1	210	9
	R2	200	8
	R3	210	10

Nota. Elaboración propia.

El siguiente gráfico ilustra las diferentes cantidades de bioetanol obtenidos en los diferentes tratamientos:

Figura 5

Resultados del volumen de bioetanol

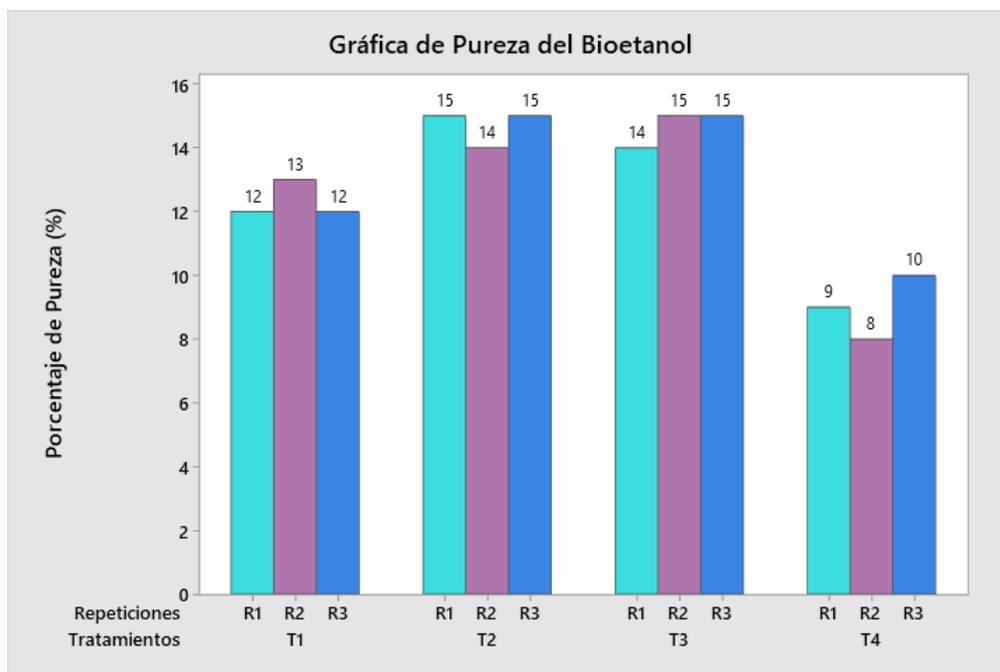


Nota. Elaboración propia

En el gráfico se puede visualizar la variación de los volúmenes de bioetanol en las repeticiones de cada tratamiento, no encontrando ningún volumen igual y todos igual o superiores a 200 ml.

Figura 6

Resultados de pureza de bioetanol



Nota. Elaboración propia

En el gráfico se puede visualizar los más altos niveles de pureza en el tratamiento 2 y 3, y se registra los valores más bajos en el tratamiento 4 con 9%, 8% y 10% de pureza.

4.2. Análisis estadístico

4.2.1. Análisis estadístico para hipótesis general

El tratamiento más óptimo para la obtención de bioetanol a partir de residuos de naranja (*Citrus sinensis*) y plátano (*Musa paradisiaca L.*) del mercado Las Américas es el tratamiento 3, con una diferencia significativa en términos de medias de pureza y volumen.

4.2.1.1. Datos estadísticos

$N = n = 12\text{kg}$, Número de muestra procesada

Se empleó el método estadístico de ANOVA, para lo cual primero se procedió a determinar las medias de los resultados de bioetanol obtenidos del proceso de destilación, los cuales se muestran en la tabla N° 19.

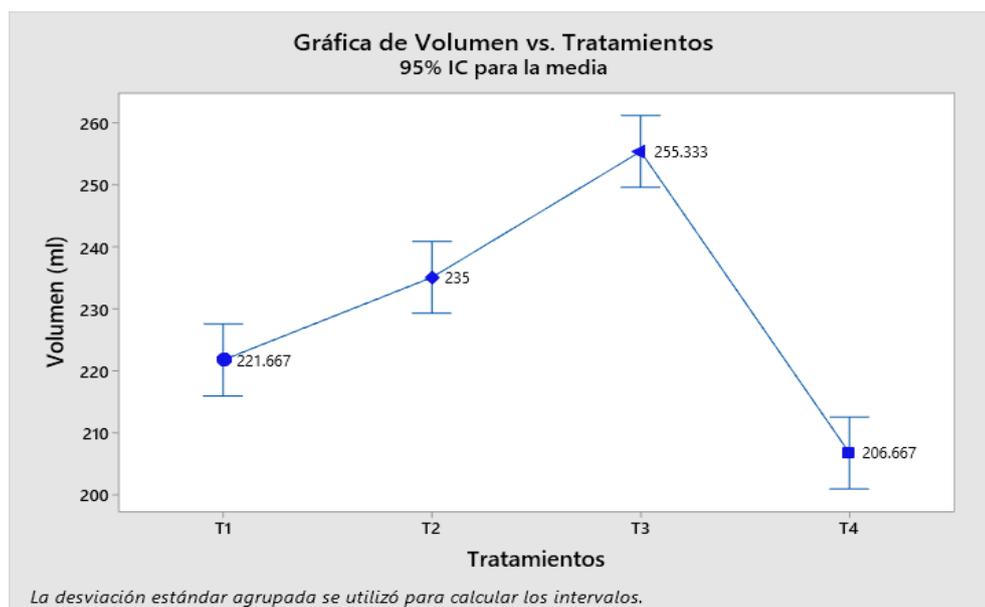
Tabla 20

Medias de los resultados volumen y pureza de bioetanol por tratamiento

Tratamientos	Volumen (ml)	Pureza (%)
T1	221.67	12.33
T2	235.00	14.67
T3	255.33	14.67
T4	206.67	9.00

Figura 7

Medias de los volúmenes de bioetanol por tratamiento



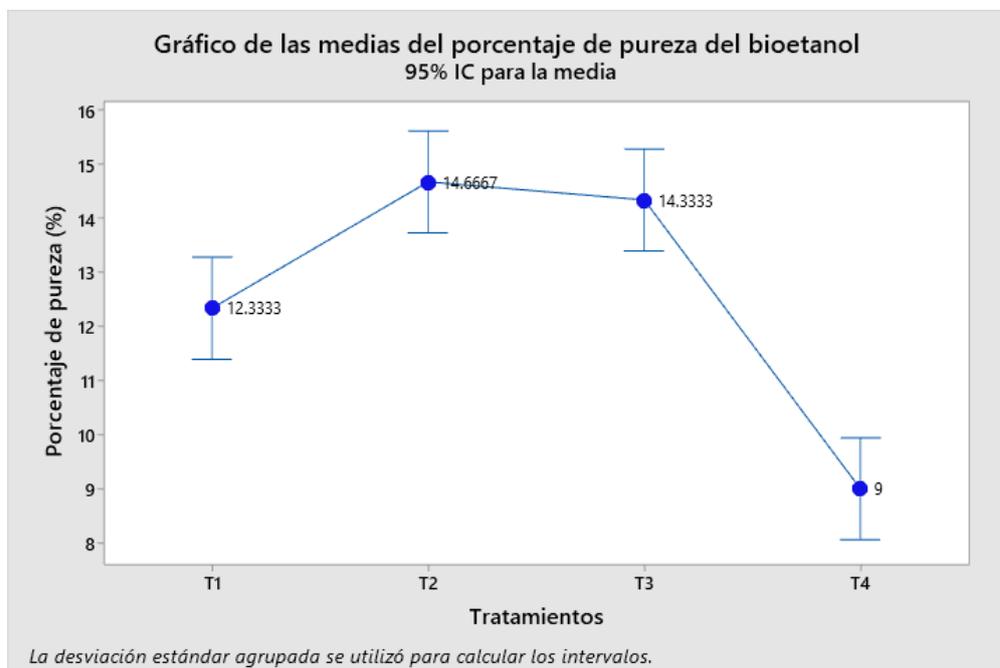
Nota. Elaboración propia

El gráfico expresa que se obtuvo mayor volumen de bioetanol en el tratamiento 3 con una media de 255.333 ml, seguido del tratamiento 2, compuestos por residuos de plátano, con 235 ml, en tercer lugar, se encuentra el tratamiento 1 por residuos de plátano, con 221.667 ml, y en último lugar, se encuentra el tratamiento 4 con 206.667 ml.

con 221.667 ml y en el último lugar se tiene al tratamiento 4 con una media de 206.667 ml de bioetanol.

Figura 8

Medias de los porcentajes de pureza de bioetanol por tratamiento



Nota. Elaboración propia

En el gráfico se muestra la diferencia del porcentaje de pureza en los tratamientos 1, 2, 3 y 4, los más altos valores obtenidos corresponden al tratamiento 2 y 3 con una media de 14.6667% y 14.3333% respectivamente, seguido del tratamiento 1 con una media de 12.3333% y por último se tiene al tratamiento 4 con una media de 9% de bioetanol.

4.2.1.2. Hipótesis estadística

Ho: Todos los tratamientos son óptimos en la obtención de bioetanol a partir de residuos de naranja (*Citrus sinensis*) y plátano (*Musa paradisiaca L.*) del mercado Las Américas, pero no existe diferencia significativa entre ellos en términos de medias de pureza y volumen.

Ha: El tratamiento más óptimo para la obtención de bioetanol a partir de residuos de naranja (*Citrus sinensis*) y plátano (*Musa paradisiaca L.*) del mercado Las Américas es el tratamiento 3, con una diferencia significativa en términos de medias de pureza y volumen.

4.2.1.3. Nivel de Significancia

$$\alpha = 5 \% = 0,05$$

4.2.1.4. Estadístico

Tabla 21

Análisis de varianza del volumen de bioetanol

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamientos	3	3840.7	1280.22	67.38	0.000
Error	8	152.0	19.00		
Total	11	3992.7			

Nota. Elaboración propia

En esta tabla se muestra como resultado del análisis de varianza un valor de significancia $p = 0.000$, por ende, se rechaza la hipótesis nula, interpretándose que hay diferencias en cuanto al volumen de bioetanol en al menos uno de los tratamientos, por ende, es necesario realizar la prueba de Tukey para evaluar las diferencias significativas entre los tratamientos.

Tabla 22

Prueba de Tukey respecto al volumen de bioetanol

TRATAMIENTOS	N	Media	Agrupación
T3	3	255.33	A
T2	3	235.00	B
T1	3	221.67	C
T4	3	206.67	D

Nota. Elaboración propia

Según la prueba de Tukey realizada en el programa Minitab, se puede concluir que los volúmenes de bioetanol obtenidos en los distintos tratamientos son significativamente diferentes, ya que las medias no tienen en común ninguna letra en común; por lo tanto, se puede inferir que el mayor volumen de bioetanol se obtuvo del tratamiento 3.

Tabla 23

Análisis de varianza de la pureza de bioetanol

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamientos	3	60.917	20.3056	40.61	0.000
Error	8	4.000	0.5000		
Total	11	64.917			

Nota. Elaboración propia

En esta tabla se muestra como resultado del análisis de varianza un valor de significancia $p = 0.000$, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula, interpretándose que hay diferencias en cuanto a la pureza de bioetanol en al menos uno de los tratamientos, por ende, es necesario realizar la prueba de Tukey para evaluar las diferencias significativas entre los tratamientos.

Tabla 24

Prueba de Tukey respecto a la pureza de bioetanol

Tratamientos	N	Media	Agrupación
T2	3	14.667	A
T3	3	14.333	A
T1	3	12.333	B
T4	3	9.000	C

Nota. Elaboración propia

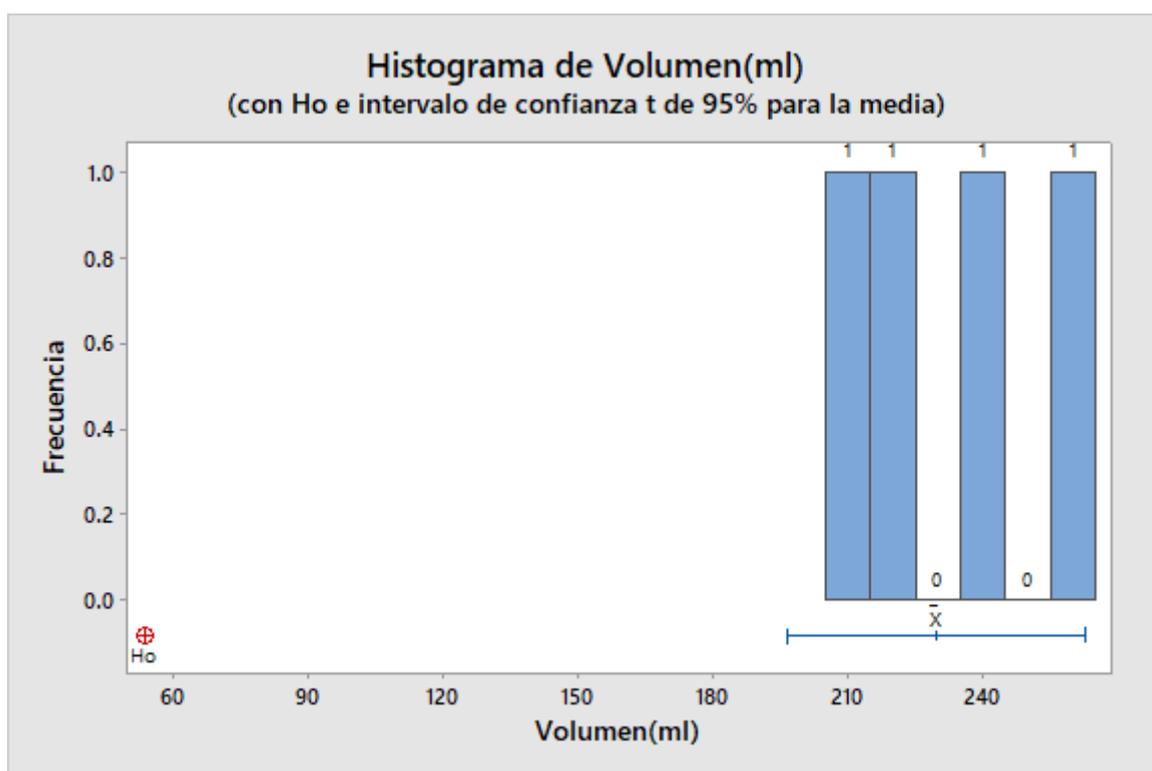
Según el método de Tukey realizado en el programa Minitab, se puede concluir que el segundo y tercer tratamiento alcanzaron niveles de pureza semejantes, a su vez son los que mayor pureza presentan a diferencia del primer y cuarto tratamiento.

Según lo expuesto, se acepta la hipótesis alterna, ya que en el tratamiento 3 se obtuvo mejores resultados en términos de medias de volumen y pureza de bioetanol.

4.2.1.5. Región crítica

Figura 9

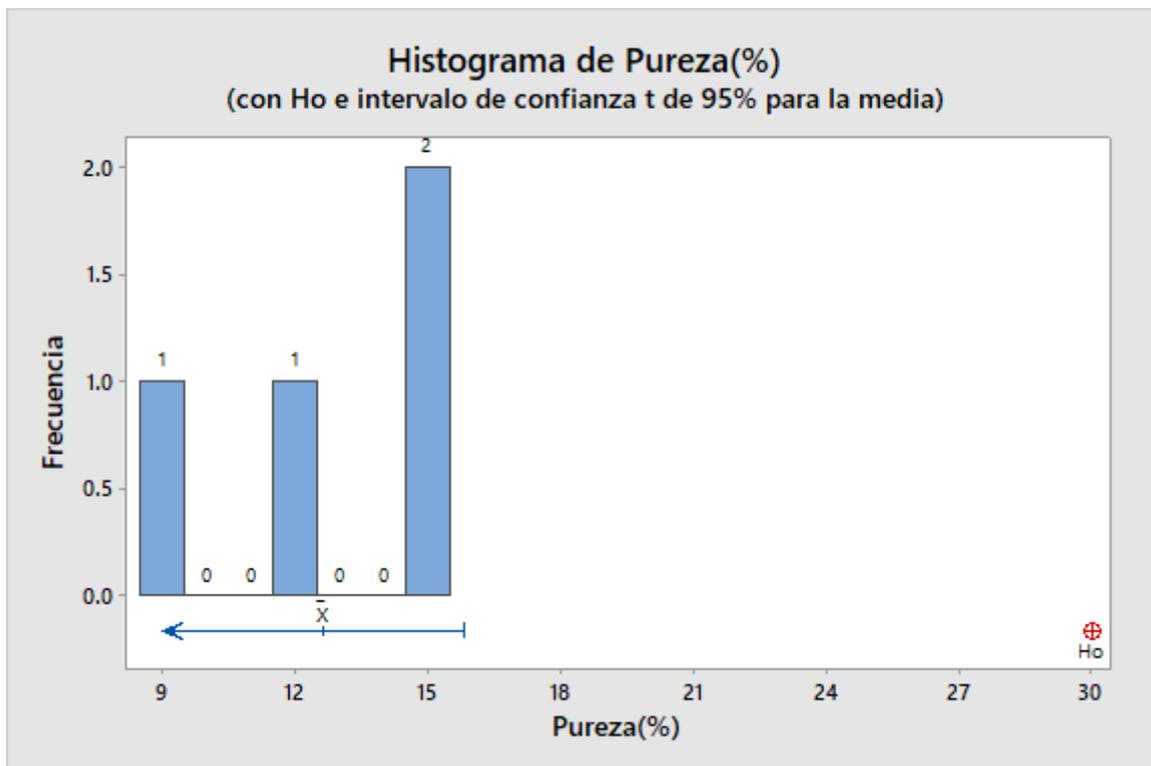
Región crítica del volumen de bioetanol



Nota. Elaboración propia

Figura 10

Región crítica del porcentaje de pureza de bioetanol



Nota. Elaboración propia

4.2.1.6. Interpretación

Se acepta la hipótesis alterna, ya que se encontró diferencias significativas en las medias en los distintos tratamientos, siendo el tratamiento 3, correspondiente a la mezcla de naranja (*Citrus sinensis*) y plátano (*Musa paradisiaca L.*) con levadura, el más óptimo debido a que presenta mayor porcentaje de pureza y volumen.

4.2.2. Análisis estadístico para hipótesis E1

4.2.2.1. Datos estadísticos

Para poder demostrar el volumen de la obtención de bioetanol se calculó las medias de cada repetición por tratamiento

Tabla 25

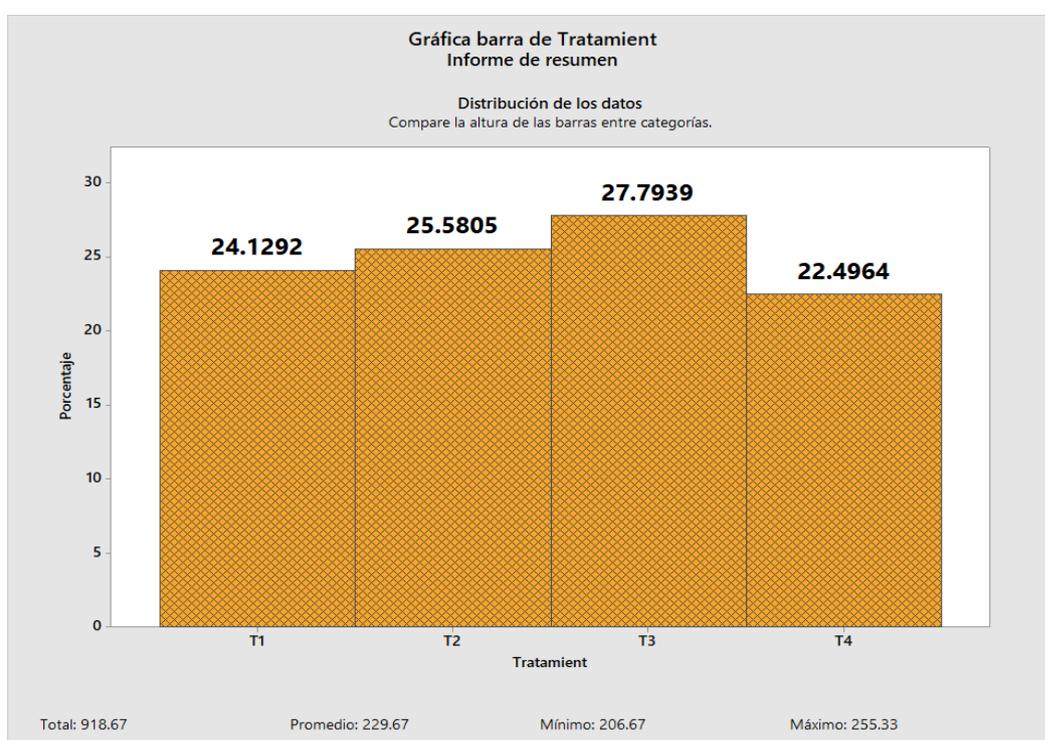
Medias de volumen de bioetanol

Tratamientos	Volumen (ml)
T1	221.67
T2	235.00
T3	255.33
T4	206.67

Nota. Elaboración propia

Figura 11

Medias de volumen de bioetanol



Nota. Elaboración propia

4.2.2.2. Hipótesis estadística

- **Ho:** $\mu = 200$ Los volúmenes de bioetanol obtenido en cada tratamiento del proceso de destilación a partir de residuos de naranja (*Citrus sinensis*) y plátano (*Musa paradisiaca L.*) superan los 200 ml/kg.

- **Ha:** $\mu < 200$ ml/kg Los volúmenes de bioetanol obtenido en cada tratamiento del proceso de destilación a partir de residuos de naranja (*Citrus sinensis*) y plátano (*Musa paradisiaca L.*) no superan los 200 ml/kg.

4.2.2.3. Nivel de Significancia

$$\alpha = 5 \% = 0,05$$

4.2.2.4. Estadístico

Se aplicó la distribución “t” de Student de una muestra.

Tabla 26

T de una muestra para la hipótesis específica 1

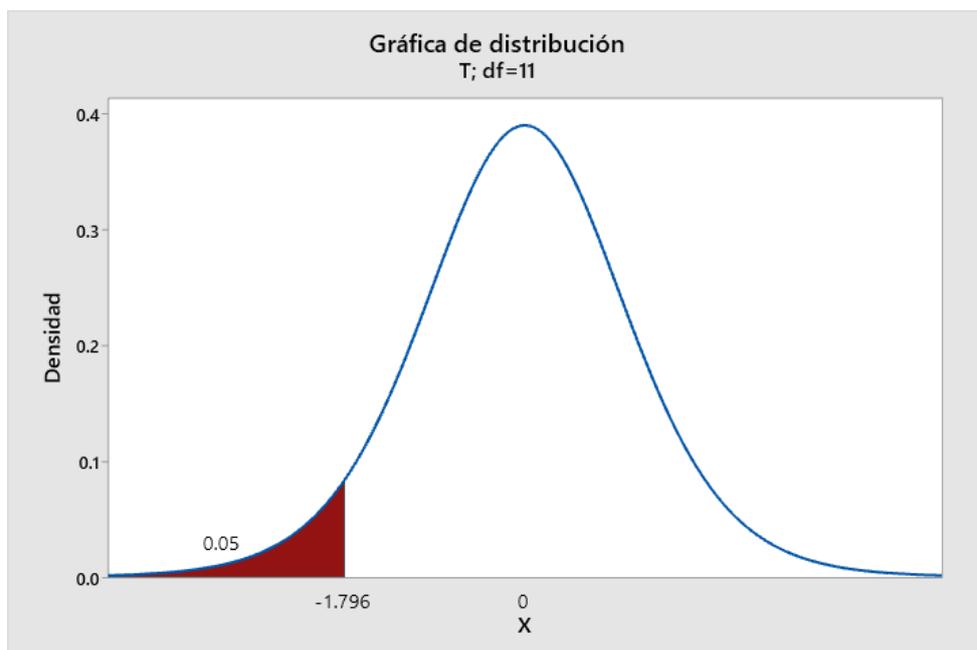
N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	Límite superior de 95% para μ	Valor T	Valor p
12	229.67	19.05	5.50	239.54	5.39	1.00

Nota. Elaboración propia

4.2.2.5. Región crítica

Figura 12

Región crítica de la hipótesis específica 1



Nota. Elaboración propia

4.2.2.6. Interpretación

Como se muestra en la figura 12 y la tabla 26, el valor de “t” = 5.39, no pertenece a la región de rechazo, y el valor de “p” es mayor al nivel de significancia, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula y se afirma que en todos los tratamientos para la obtención de bioetanol a partir de residuos de naranja (*Citrus sinensis*) y plátano (*Musa paradisiaca* L.) del mercado Las Américas se supera un volumen de 200 ml/kg.

4.2.3. Análisis estadístico para hipótesis E2

4.2.3.1. Datos estadísticos

Para poder demostrar el porcentaje de pureza de la obtención de bioetanol se calculó las medias de cada repetición por tratamiento

Tabla 27

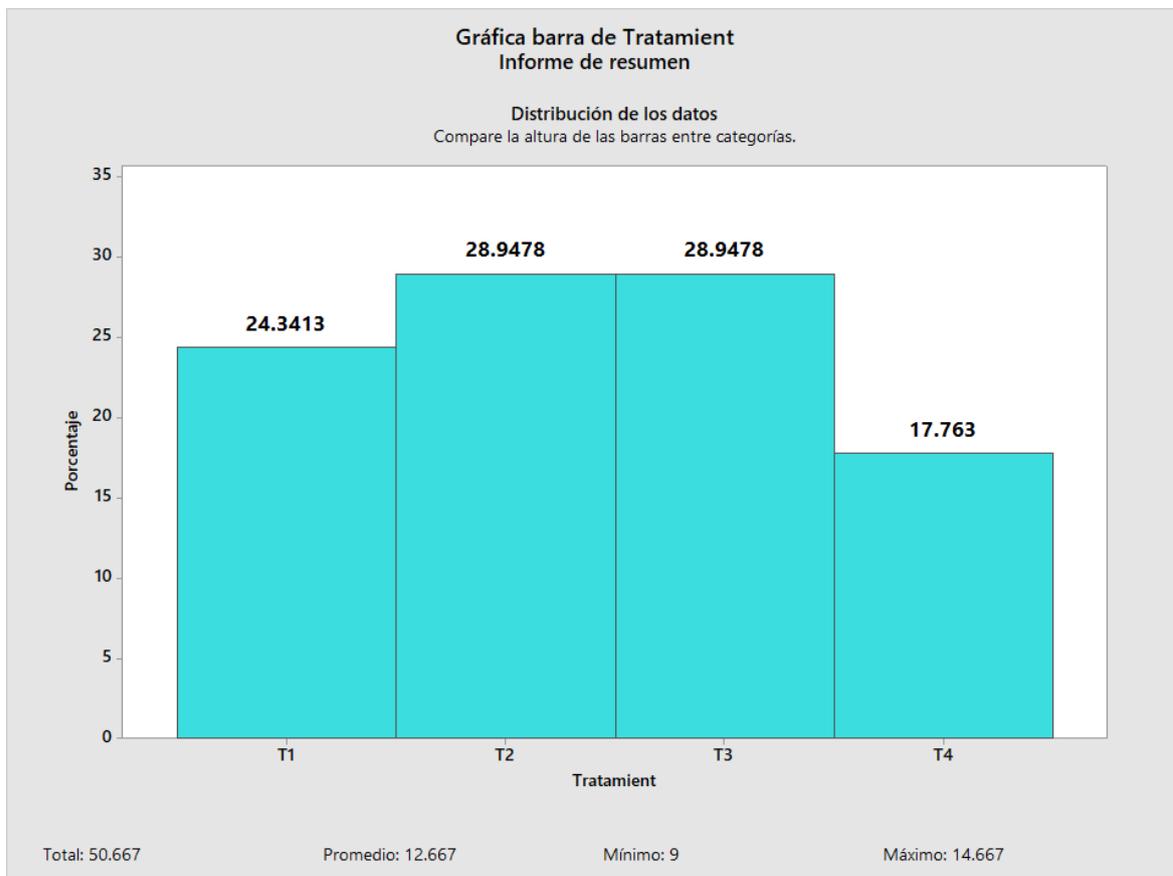
Medias de porcentaje de pureza de bioetanol

Tratamientos	Pureza (%)
T1	12.33
T2	14.67
T3	14.67
T4	9.00

Nota. Elaboración propia

Figura 13

Medias de porcentaje de pureza de bioetanol



Nota. Elaboración propia

4.2.3.2. Hipótesis estadística

Ho: $\mu = 30\%$ El porcentaje de pureza de bioetanol obtenido en cada tratamiento del proceso de destilación a partir de residuos de naranja (*Citrus sinensis*) y plátano (*Musa paradisiaca* L.) supera el 30%.

Ha: $\mu < 30\%$ El porcentaje de pureza de bioetanol obtenido en cada tratamiento del proceso de destilación a partir de residuos de naranja (*Citrus sinensis*) y plátano (*Musa paradisiaca* L.) no supera el 30%.

4.2.3.3. Nivel de Significancia

$$\alpha = 5 \% = 0,05$$

4.2.3.4. Estadístico

Se aplicó la distribución “t” de Student de una muestra.

Tabla 28

T de una muestra para la hipótesis específica 2

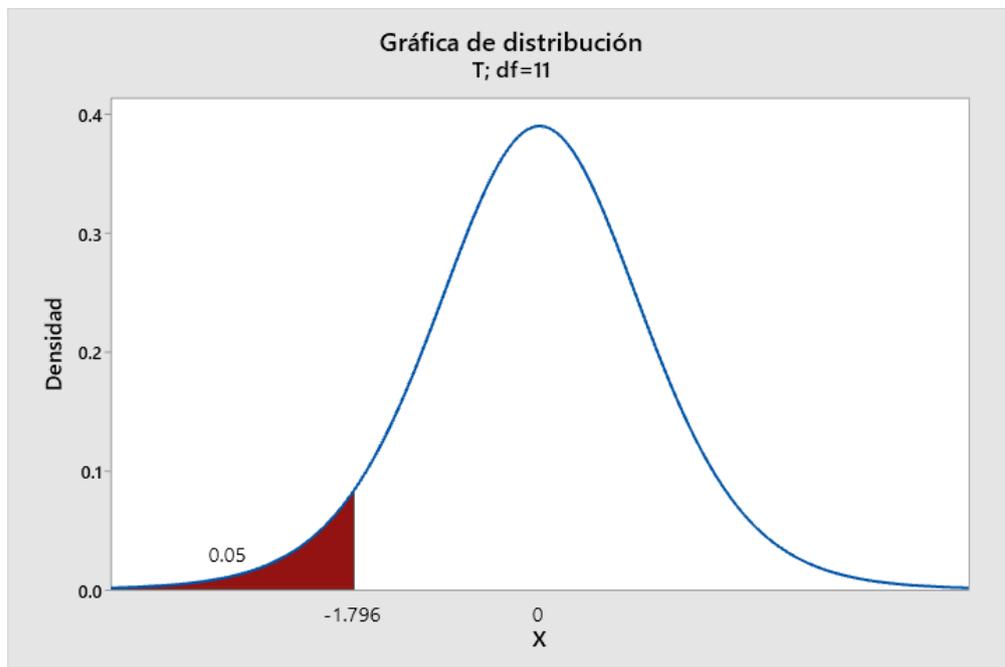
N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	Límite superior de 95% para μ	Valor T	Valor p
12	12.667	2.498	0.721	13.962	-24.03	0.00

Nota. Elaboración propia

4.2.3.5. Región crítica

Figura 14

Región crítica de la hipótesis específica 2



Nota. Elaboración propia

4.2.3.6. Interpretación

Como se muestra en la figura 14 y la tabla 28, el valor de “t” = -24.03, pertenece a la región de rechazo, y el valor de “p” es menor al nivel de

significancia, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se afirma que en todos los tratamientos para la obtención de bioetanol a partir de residuos de naranja (*Citrus sinensis*) y plátano (*Musa paradisiaca* L.) del mercado Las Américas presentan un porcentaje de pureza menor al 30%.

4.2.4. Análisis estadístico para hipótesis E3

4.2.4.1. Datos estadísticos

Para poder demostrar los niveles de sacarosa de la obtención de bioetanol se calculó las medias de cada repetición por tratamiento

Tabla 29

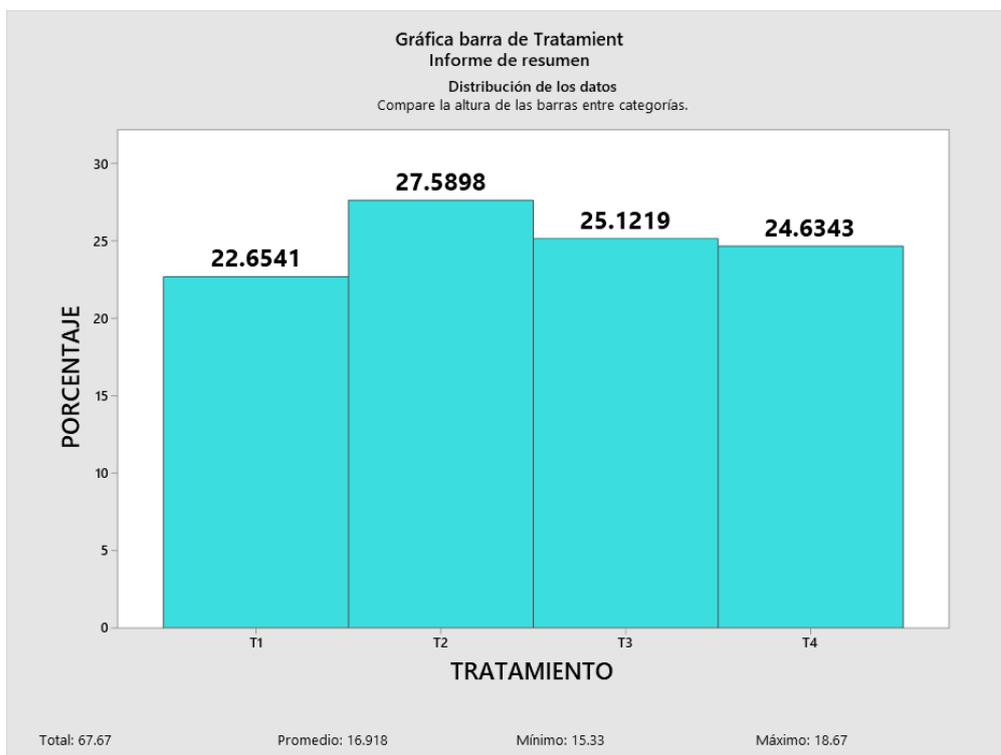
Medias de los niveles de sacarosa en la hidrólisis ácida

Tratamientos	Sacarosa (°Brix)
T1	15.33
T2	18.67
T3	17
T4	16.67

Nota. Elaboración propia

Figura 15

Medias de los niveles de sacarosa en la hidrólisis ácida



Nota. Elaboración propia

4.2.4.2. Hipótesis estadística

Ho: $\mu = 22^\circ\text{Brix}$ Los niveles de sacarosa obtenidos en cada tratamiento del proceso de hidrólisis ácida de residuos de naranja (*Citrus sinensis*) y plátano (*Musa paradisiaca L.*) son mayores a 22°Brix .

Ha: $\mu < 22^\circ\text{Brix}$ Los niveles de sacarosa obtenidos en cada tratamiento del proceso de hidrólisis ácida de residuos de naranja (*Citrus sinensis*) y plátano (*Musa paradisiaca L.*) son menores a 22°Brix

4.2.4.3. Nivel de Significancia

$$\alpha = 5\% = 0,05$$

4.2.4.4. Estadístico

Se aplicó la distribución “t” de Student de una muestra.

Tabla 30

T de una muestra para la hipótesis específica 3

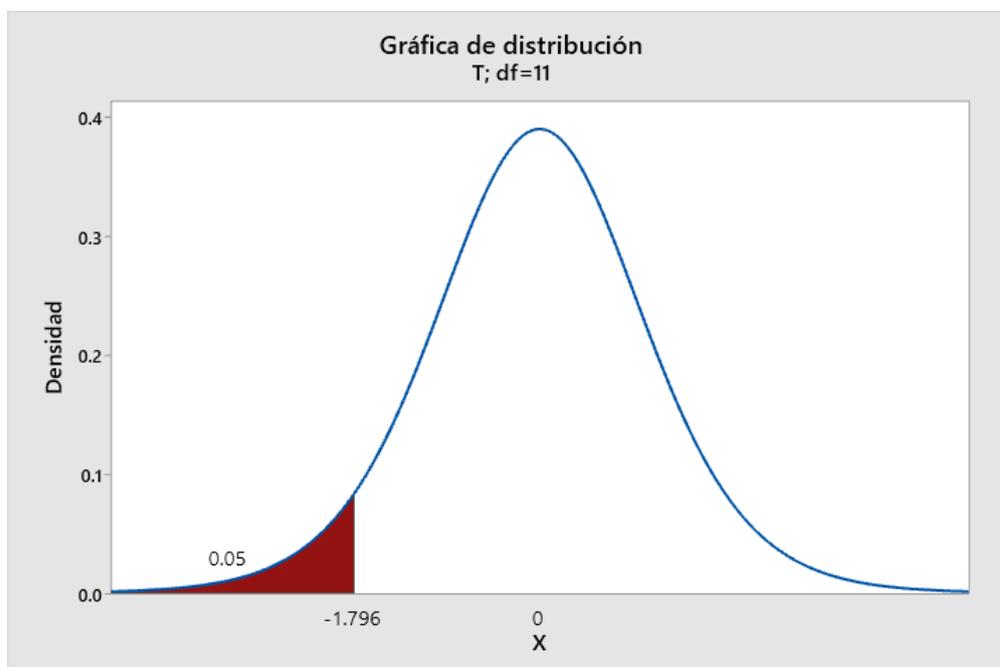
N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	Límite superior de 95% para μ	Valor T	Valor p
12	16.917	1.730	0.499	17.813	-10.18	0.00

Nota. Elaboración propia

4.2.4.5. Región crítica

Figura 16

Región crítica de la hipótesis específica 3



Nota. Elaboración propia

4.2.4.6. Interpretación

Como se muestra en la figura 16 y la tabla 30, el valor de "t" = -10.18, pertenece a la región de rechazo, y el valor de "p" es menor al nivel de significancia, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se afirma que en todos los tratamientos para la obtención de bioetanol a partir de residuos de naranja (*Citrus sinensis*) y plátano (*Musa paradisiaca L.*) del mercado Las Américas los niveles de sacarosa en la hidrólisis ácida son menos a 22°Brix.

4.2.5. Análisis estadístico para hipótesis E4

4.2.5.1. Datos estadísticos

Para poder demostrar los niveles de sacarosa obtenidos al final del proceso de fermentación (después de 5 días), se calculó las medias de cada repetición por tratamiento

Tabla 31

Medias de los niveles de sacarosa en la fermentación

Tratamientos	Sacarosa (°Brix)
T1	11.67
T2	11.33
T3	9.33
T4	14.33

Nota. Elaboración propia

Figura 17

Medias de los niveles de sacarosa en la fermentación



Nota. Elaboración propia

4.2.5.2. Hipótesis estadística

Ho: $\mu < 5^\circ\text{Brix}$ Los niveles de sacarosa en cada tratamiento obtenidos al final del proceso de fermentación de residuos de naranja (*Citrus sinensis*) y plátano (*Musa paradisiaca* L.) son inferiores a 5°Brix .

Ha: $\mu = 5^\circ\text{Brix}$ Los niveles de sacarosa en cada tratamiento obtenidos al final del proceso de fermentación de residuos de naranja (*Citrus sinensis*) y plátano (*Musa paradisiaca* L.) son superiores a 5°Brix .

4.2.5.3. Nivel de Significancia

$$\alpha = 5\% = 0,05$$

4.2.5.4. Estadístico

Se aplicó la distribución "t" de Student de una muestra.

Tabla 32

T de una muestra para la hipótesis específica 4

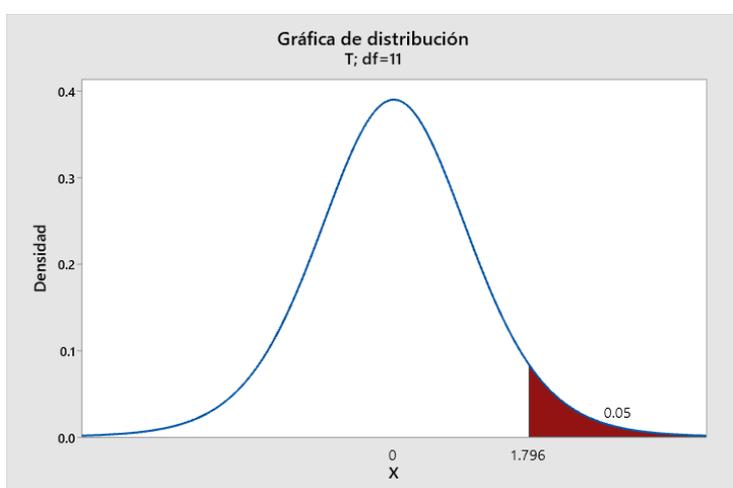
N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	Límite superior de 95% para μ	Valor T	Valor p
12	11.667	2.188	0.632	10.532	10.55	0.00

Nota. Elaboración propia

4.2.5.5. Región crítica

Figura 18

Región crítica de la hipótesis específica 4



Nota. Elaboración propia

4.2.5.6. Interpretación

Como se muestra en la figura 18 y la tabla 32, el valor de “t” = 10.55, pertenece a la región de rechazo, y el valor de “p” es menor al nivel de significancia, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se afirma los niveles de sacarosa en cada tratamiento obtenidos al final del proceso de fermentación de residuos de naranja (*Citrus sinensis*) y plátano (*Musa paradisiaca L.*) son superiores a 5 °Brix.

4.4. Discusión de resultados

El pretratamiento de los residuos de naranja y plátano resulta importante para asegurar la efectividad de los procesos posteriores. Iniciando el proceso con el lavado con agua destilada para evitar la contaminación de la muestra, debido a que esta agua no presenta iones, lo que permite mayor pureza en los procesos de hidrólisis y fermentación y por lo tanto mayores grados alcohólicos. (Arellano 2021).

El proceso de trituración es muy relevante, ya que influye en el proceso de hidrólisis, puesto que permite lograr una mayor área de contacto entre los residuos y los reactivos a usar. (Rodríguez, 2019).

Según los hallazgos encontrados respecto al porcentaje de humedad, el resultado del plátano (*Musa Paradisiaca L.*) fue de 73.980%, valor que se asemeja al que obtuvo Decheco (2019) que fue de 72.84%. Por otra parte, el porcentaje de humedad de la naranja (*Citrus sinensis*) fue de 53.996%, resultado menor al que obtuvo Torres (2020), que fue de 68.890 %, cuya causa probable de la diferencia se deba a que nuestra muestra principalmente estuvo compuesta por naranjas secas, que es lo que generalmente se suele desechar en los mercados de nuestra localidad. Cabe resaltar la importancia de la humedad en la obtención de bioetanol,

ya que según lo mencionado por Massera et al. (2013), este factor tiene una influencia negativa, a menor porcentaje de humedad se obtiene mayor producción de bioetanol.

Los resultados del porcentaje de lignina presentes en las muestras, indican un 43.3% para el plátano (*Musa paradisiaca L.*), valor menor al que obtuvo Molina et al. (2004) que fue del 60%, con respecto a la naranja, se obtuvo un valor de 23.67%, cuyo valor se encuentra dentro del rango de residuos lignocelulósicos que es del 20 al 25% según Benítez et al. (2010). Se pudo evidenciar la diferencia del porcentaje de lignina entre el plátano y la naranja, por lo cual, los residuos de plátano fueron sometidos al proceso adicional de explosión a vapor, para destruir parcialmente los enlaces lignina-carbohidrato.

En el procedimiento de hidrólisis ácida se obtuvo cantidades de sacarosa iguales a 14, 17 y 15 °Brix para el tratamiento 1, correspondiente a residuos de naranja; 17, 21 y 18 °Brix para el tratamiento 2 correspondiente a los residuos de plátano; 16, 18 y 17 °Brix para el tratamiento 3 y; 16, 17 y 17 °Brix para el tratamiento 4, estos dos últimos tratamientos corresponden a la mezcla de ambos residuos. Respecto a la naranja Torres (2020) obtuvo un valor de 9.6 °Brix, debido a que solo utilizó cáscaras de naranja y no el residuo completo como sí se hizo en la presente investigación. En relación al plátano nuestros valores son inferiores al que obtuvo Araneda et al. (2019), cuyo resultado fue 22 °Brix. Esta diferencia de resultados se debe a la forma de conservación de la muestra debido a las distintas condiciones de temperatura y humedad. Respecto a la combinación de residuos de plátano y naranja, se obtuvo un valor promedio superior al tratamiento 1 garantizando una mayor obtención de bioetanol.

La fermentación se realizó en un período de 5 días. Según los datos obtenidos, en las 24 horas de iniciado el procedimiento, se redujeron significativamente los grados Brix, comportamiento coincidente con el que obtuvo Araneda et al. (2019). Sin embargo, en los tratamientos no se llegó a reducir por completo los azúcares a diferencia de la investigación de Araneda et al. (2019) cuya concentración final de azúcares fue igual o inferior a 5°Brix para el caso del plátano.

Los resultados de etanol obtenidos a lo largo de los 5 días de fermentación y después del proceso de destilación simple para el tratamiento 1 (residuos de naranja) el valor más alto registrado tanto en volumen como en pureza corresponde a la repetición 2 con 225 ml/kg y una pureza del 12%, superior a lo obtenido por Malagón et al. (2017) de 200ml/kg de cáscara de naranja. Respecto al tratamiento 2 constituido por residuos de plátano, en la repetición 2 se obtuvieron los valores más altos de volumen y pureza con 238 ml/kg y 15%, valor superior respecto al volumen de 54ml de etanol/kg de muestra obtenido por Araneda et al. (2019), sin embargo menor en pureza, ya que el mismo autor obtuvo un 30% de pureza. El tratamiento 3 fue el más eficaz por obtenerse 260 ml/kg de bioetanol con 15% de pureza y el valor más bajo registrado fue de la muestra cuatro con solo 200 ml/kg con una pureza del 8% para la repetición 3, esto debido a la ausencia de microorganismos fermentadores de azúcares.

Las muestras sólidas obtenidas después del proceso de hidrólisis pueden ser utilizadas como material de abono para suelos agrícolas luego de regulado el pH de la muestra hasta llegar a rangos de 6.5 a 7. (Ibarra et al, 2009)

CONCLUSIONES

- Se determinó que el tratamiento 3 (residuos de naranja (*Citrus sinensis*) y plátano (*Musa paradisiaca L.*) y levadura) es el tratamiento más óptimo, debido a que se obtuvo mayor porcentaje de pureza y volumen al final de todo el proceso para la obtención de bioetanol, con valores de 255.67 ml/kg de volumen y 14.67% de pureza respectivamente.
- Se determinó los volúmenes de bioetanol obtenidos en el proceso para la obtención de bioetanol de los cuatro tratamientos, determinándose que de todos los tratamientos se obtuvo una concentración mayor a 200 ml/kg. Específicamente se obtuvieron volúmenes de 221.67, 235.00, 255.33, 206.67 ml/kg para los tratamientos 1, 2, 3, 4, respectivamente.
- Se determinó los porcentajes de pureza de los productos obtenidos al final del proceso de obtención de bioetanol, resultando que ninguno supera el 30%. El tratamiento 2 (residuos de plátano - levadura) y 3 (residuos de plátano y naranja – levadura) se obtuvo un porcentaje del 14.67%, mientras que en los tratamientos 1 (residuos de naranja – levadura) y 4 (residuos de naranja y plátano – sin levadura), solo se obtuvo 12.33 y 9 % de pureza respectivamente.
- Se determinó los niveles de sacarosa de cada uno de los tratamientos, luego del proceso de hidrólisis ácida. Los valores obtenidos en el tratamiento 1 fueron 15.33°Brix, el tratamiento 2 de 18.67°Brix siendo el mayor grado de azúcar en comparación de los otros tratamientos, el tratamiento 3 de 17°Brix y el tratamiento 4 fue de 16.67°Brix.
- Se determinó los niveles de sacarosa obtenidos al final del proceso de fermentación. El menor valor registrado fue del tratamiento 3, con solo

9.33°Brix, mientras que el tratamiento 1, 2, y 4, solo se llegó a 11.67, 11.33, 14.33°Brix. Ningún tratamiento se logró disminuir a valores menores de 5°Brix.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar la hidrólisis enzimática, debido a que la hidrólisis ácida no es ambientalmente viable a causa de los reactivos empleados.
- Asimismo, se recomienda utilizar un biorreactor, para llevar a cabo la fermentación en condiciones totalmente anaeróbicas, de lo contrario el rendimiento de este proceso puede verse afectado hasta en un 4%.
- Tener en cuenta las condiciones de almacenado de los residuos de plátano. La temperatura y humedad tienen una función esencial para conservar sus propiedades fisicoquímicas.
- Realizar una destilación fraccionada para obtener mayor concentración de bioetanol.

ASPECTOS ADMINISTRATIVOS

Recursos

Materiales e insumos

- Papel Bond 80 g
- Lapiceros
- Lápices
- Memoria
- USB Fólder

Material bibliográfico

- Textos de Consulta

Materiales de laboratorio

- Insumos de laboratorio
- Reactivos químicos
- Levaduras

Materiales de campo

- Bolsas plásticas

Equipos

- Biorreactor

Equipos de protección personal

- Guantes
- Mandil blanco
- Botas
- Capa impermeable
- Mascarillas

Servicios

- Internet
- Anillados de borradores
- Análisis de laboratorio para análisis de bioetanol

Recursos humanos

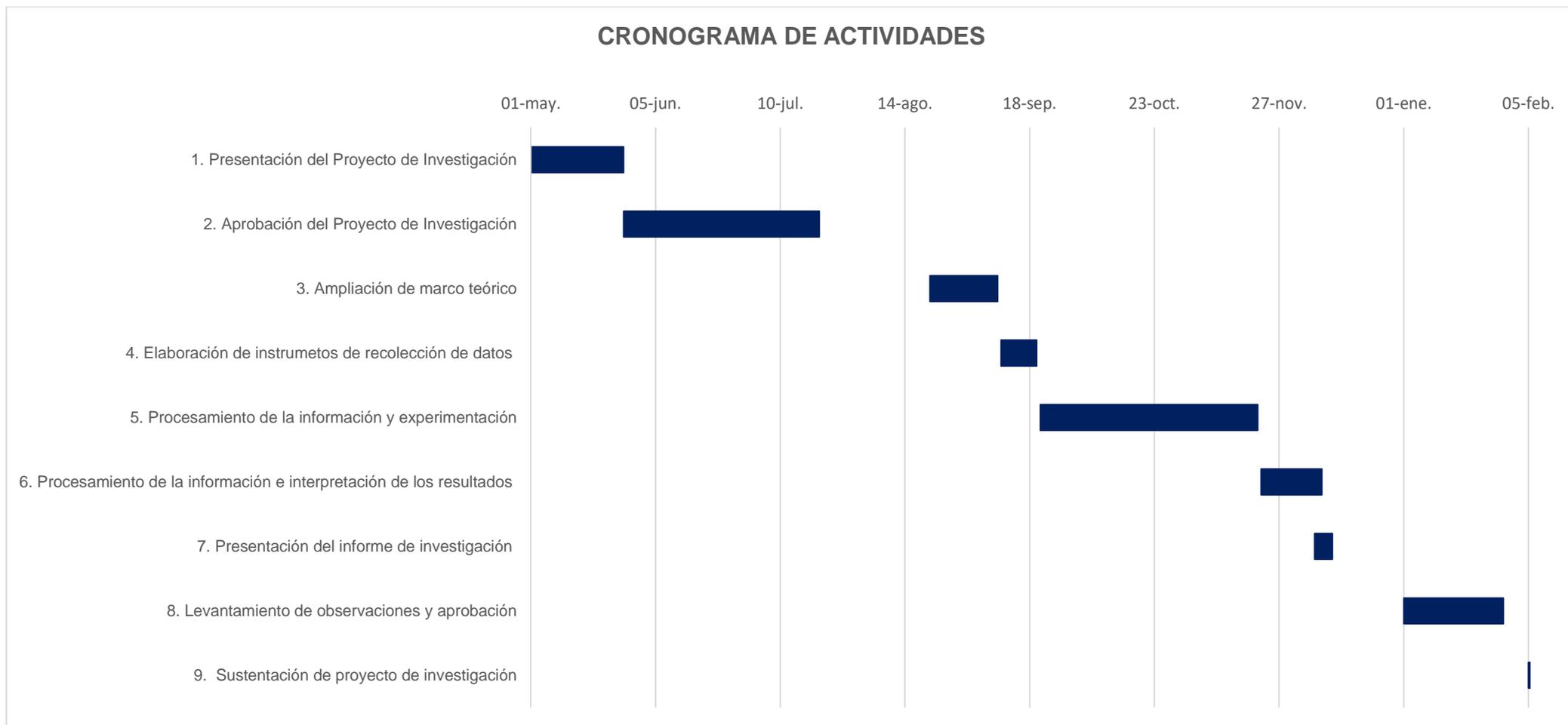
- Especialista en laboratorio
- Asesor de tesis

Cronograma de actividades

En la tabla 23; se presenta el cronograma de actividades de la presente investigación, la cual se realizó en un periodo de ocho meses, iniciando en el mes de mayo del 2022 y finalizando en febrero del 2023.

Tabla 33

Cronograma de actividades



Nota. Elaboración propia

Presupuesto y financiamiento

Presupuesto

Tabla 34

Presupuestos

DETALLE	CANT.	Unidad Medida	PREC. UNIT. (S/.)	SUB TOTAL (S/.)	TOTAL (S/.)
MATERIALES E INSUMOS					3160
Materiales de oficina				170	
Papel Bond 80 g	2	Mill	25	50	
Lapiceros y lápices	5	Unid.	6	30	
Memoria USB	2	Unid.	40	80	
Fólder	10	Unid.	1	10	
Material bibliográfico				480	
Textos de Consulta	4	Unid.	120	480	
Materiales de laboratorio		Glb.		1500	
Insumos de laboratorio		Glb.		650	
Reactivos químicos		Unid		400	
Levaduras		Unid.		250	
Materiales de campo				30	
Bolsas plásticas	1	Paq.	30	30	
EQUIPOS				230	230
Protección personal				230	
Guantes	2	Unid.	15	30	
Mandil blanco	2	Unid.	20	40	
Botas	2	Unid.	45	90	
Capa impermeable	2	Unid.	20	40	
Mascarillas	1	Caja	30	30	
SERVICIOS				600	600
Internet		Glb.		400	
Anillados de borradores		Glb.	40	200	
VIATICOS				500	500
Pasaje y llamadas		Glb.		200	
Otros				300	
PRESUPUESTO TOTAL					4490

Nota. Elaboración propia

Financiamiento

La presenta investigación será autofinanciada por los propios investigadores.

BIBLIOGRAFÍA

- Abril, A. y Navarro, E. A. (2012). *Etanol a partir de biomasa lignocelulósica*. Aleta. [https://www.researchgate.net/publication/241216642 Etanol a partir de biomasa lignocelulosica](https://www.researchgate.net/publication/241216642_Etanol_a_partir_de_biomasa_lignocelulosica)
- Adams, J. M., J. A. Gallagher, and I. S. Donnison. (2009). Estudio de fermentación de *Saccharina latissima* para la producción de bioetanol considerando pretratamientos variables. *J Appl. Phycol.* 21: 569-574
- Ahuja J. (2011). *Degradación de azúcares por hidrólisis ácida* [tesis de titulación, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo]. Repositorio Institucional de la UMSNH. https://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx/xmlui/bitstream/handle/DGB_UMICH/8041/FIQ-L-2011-0092.pdf?sequence=1
- Albalasmeh, A. A., Berhe, A. A. y Ghezzehei, T. A. (2013). *Un nuevo método para la determinación rápida de las concentraciones de carbohidratos y carbono total utilizando espectrofotometría UV*. *Polímeros de carbohidratos*, 97 (2), 253-261.
- Alejos, C., y Calvo, E. (2015). Biocombustibles de primera generación. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, 18(2), 19-30.
- Almenares, J y Serrat, M. (2008). Aspectos tecnológicos generales para la conversión a etanol de la biomasa lignocelulósica. *Tecnología Química*, vol. XXVIII, (núm. 3), pp. 63-70.
- Araneda, I. D. R., Correa, C. J., e Irazabal, F. (2019). *Obtención de bioetanol a partir del banano orgánico (Musa x paradisiaca) no exportable* [tesis de titulación, Universidad Nacional de Piura]. Repositorio Institucional de la UNP.

<https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/1954/IND-ARA-AGU-19.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Arellano, W. (2021). *Obtención de Bioetanol A Partir de los Residuos Sólidos Orgánicos del Mercado de Abasto de la Municipalidad Distrital de Huacho* [tesis de titulación, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión] Repositorio Institucional de la UNJFSC.

<https://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14067/4740/WESLY%20CHRISTIAN%20ARELLANO%20ROMERO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Arias, M. P. M., Espinel, J. C. G., & Merchán, J. C. S. (2019). Reactor bioquímico para producción de etanol por fermentación de biomasa de desecho. *Ingenio Magno*, 10(2), 111-129.

Atabani, A.E., Al-Muhtaseb, A.H., Kumar, G., Saratale, G.D., Aslam, M., Khan, H.A. y Mahmoud, E., (2019). Valorization of spent coffee grounds into biofuels and valueadded products: pathway towards integrated bio-refinery. *Fuel* 254, 115640

Baena, G. (2014). *Metodología de la investigación*. Grupo editorial patria.

Benítez, L. T., Tovar, C. T., Ortiz, Á. V., Dunoyer, A. T., Alvear, M., Castillo, C., y Madariaga, N. (2010). Producción de bioetanol a partir de la fermentación alcohólica de jarabes glucosados derivados de cáscaras de naranja y piña. *Educación en Ingeniería*, 5(10), 120-125.

Bhatia, L., y Paliwal, S. (2010). Banana Peel Wastes Substrate for Ethanol Production. *International Journal of Biotechnology and Bioengineering Research*, 1(2), 213–218.

- Canales, Y. R. P. (2019). Evaluación de la política pública sobre bioetanol como combustible en Perú, 2003-2019. *Semestre económico*, 22(53), 127-162.
- Cajo, S. I., y Vásquez, D. (2017). Obtención de azúcares fermentables por hidrólisis enzimática a partir de los residuos de mango (*Mangífera Indica L.*).
- Callejas, E. S. (2009). Los biocombustibles. *El cotidiano*, 75-82.
https://www.redalyc.org/pdf/325/Resumenes/Resumen_32512739009_1.pdf
- Carrera, C. S., y Vélez, D. F. (2021). *Bioetanol a partir de los residuos de frutas y verduras de los mercados de Calceta y Quiroga* [tesis de titulación, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria De Manabí Manuel Félix López]. Repositorio Institucional de la ESPAM MFL.
<https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1633/1/TTMA47D.pdf>
- Casp, A. y Abril, J. (2003). *Procesos de Conservación de Alimentos*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Claassen, P., Van Lier, J., Lopez, A. M., Van, E. W. J., Sijtsma, L., Stams, A. J. M., y Weusthuis, R. A. (1999). Utilisation of biomass for the supply of energy carriers. *Applied microbiology and biotechnology*, 52(6), 741-755.
- Contreras, C. N. H., Guerrero, R. J. P., Oré, J. E. H., y Alarcón, P. W. G. (2022). Producción de etanol a partir de melaza de caña de azúcar y diferentes cepas de levadura. *Revista Ciencia y Tecnología*, 18(3), 65-70.
- Cortes, W. G. A. (2020). Informe de Laboratorio de Biología.
- Cortínez, V. A. (2010). *Comparación de pretratamientos en residuos forestales para la producción de bioetanol de segunda generación: hidrólisis ácida y líquidos iónicos* [tesis de maestría, Universidad de Chile] Repositorio Institucional de la

UCHILE. https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/102377/cf-cortinez_vv.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Cruz, A., R. Meza, A. Rosales-Quintero, C. Ventura-Canseco, S. Lagunas-Rivera, and J. Carrasco-Cervantes. (2017). Biogas production from a native beverage vinasse using a modified UASB bioreactor. *Fuel* 198: 170-174.

Cuadrado, B. y Vélez, M. (2006). Práctica N° 1. *Obtención de vino de frutas. Guía de Prácticas de Microbiología Industrial*. Editor Cartagena de Indias. Editorial Universitaria.

Decheco, A. C. (2019). Obtención de etanol por vía fermentativa de *Saccharomyces Cerevisiae* a partir de cáscaras de plátano de seda (*Musa Paradisiaca* L.) [Proyecto de investigación, Universidad Nacional del Callao] Repositorio Institucional de la UNC. <http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/5152/DECHEC%20EGUSQUIZA%20-%20FIPA%20%202019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Dhanya, BS, Mishra, A., Chandel, A. y Verma, M. (2020). Desarrollo de enfoques sostenibles para convertir los residuos orgánicos en bioenergía. *Ciencia del Medio Ambiente Total* , 723 , 138109.

Díaz, C., y Herrera, F. (2016). Producción de etanol combustible a partir de lignocelulosas. *ICIDCA*, vol. 46, (nº. 1), pp. 7 – 16.

Dicovski, L. (2012). *Estadística básica para ingenieros*. Universidad Nacional de Ingeniería de Nicaragua.

- Dien, B. S., D. T. Wicklow, V. Singh, R. A. Moreau, J. K. Winkler-Moser, and M. A. Cotta. (2012). Influence of *Stenocarpella maydis* infected corn on the composition of corn kernel and its conversion into ethanol. *Chem. 89: 15-23*.
- Docampo, R. (2010). La importancia de la materia orgánica del suelo y su manejo en producción frutícola. *Serie Actividades de Difusión, 687*.
- Dürre, P. (2008). Fermentative butanol production: bulk chemical and biofuel. *Ann. New York Ac. Sci. 1125: 353-62*.
- EMUSAP (2019). *Proyecto de Estudio tarifario de EPS EMUSAP ABANCAY S.A.C.*
https://www.sunass.gob.pe/wpcontent/uploads/2020/09/emusap_abancay_proy_82019.pdf
- Escalante, J. y Fuentes, H. (2013). Estudio experimental de obtención de bioetanol a partir de residuos agrícolas de banano orgánico en Piura [Estudio experimental, Universidad de Piura] Repositorio Institucional PIRHUA .
<https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/1744>
- Escobedo, M. J., y Calderón, A. C. (2021). Biomasa microalgal con alto potencial para la producción de biocombustibles. *Scientia Agropecuaria, 12(2), 265-282*.
- Esposito, G., Frunzo, L., Giordano, A., Liotta, F., Panico, A., & Pirozzi, F. (2012). Anaerobic co-digestion of organic wastes. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*
- Essilfie, R. 1985. Protein Upgrading of Orange Peel Waste for Stock Feed by Solid Substrate Fermentation [Tesis of Master, University of Western Sydney].
- Estrada, G. I., y Ramírez, M. C. (2019). *Micología general*.

- Fajardo, E. y Sarmiento, S. (2008). *Evaluación de melaza de caña como sustrato para la producción de Saccharomyce cerevisiae* [Tesis de titulación, Pontificia Universidad Javeriana de Colombia]
- FAO, (2015). *BEFS Technical Consultation on the Availability of Agricultural Residues in Turkey*. <http://www.fao.org/europe/events/detail-events/en/c/284926/>
- FAO, (2017) *GIEWS-Global Information and Early Warning System. Food and Agricultural Organization of the United Nations* <http://www.fao.org/giews/countrybrief/country.jsp?codeIRN>.
- Fernández, A. B., Gómez, S. M., Ferrer, G. J., & Rincón, M. (2011). Determinación del grado de conversión global del jugo de piña en etanol por medio de la fermentación alcohólica. *Revista tecnológica (7): 49-57*.
- Fernández, L. (2007). Hidrolisis enzimática de piñas de sotol para incrementar la concentración de azúcar aplicando diferentes tratamientos [Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]
- Frazier, W. C., Westhoff, D. C., y Vergés, M. R. (2000). Microbiología de los alimentos. *Microbiología de los alimentos. 681-681*.
- Galindo, C (2017). Obtención de Bioetanol a partir de Hidrolizados de Residuos de Fruta [Tesis de maestría, Universidad de Oviedo].
- Garea, A. (2017). *Estudio de la Obtención de bioetanol a partir de tipos de biomasa lignocelulósica. Matriz de reacciones y optimización*. [Estudio de fin de grado. Escuela Politécnica de Ingeniería]

- Ghimire, A. (2015). Producción de biohidrógeno fermentativo oscuro a partir de residuos orgánicos y aplicación de subproductos en un concepto de biorrefinería [tesis doctoral , Université Paris-Est]
- Gómez, G., y Martin, G. (2021). Obtención artesanal de bioetanol mediante desechos de la cáscara de plátano [Tesis de licenciatura, Fundación Universidad de América].
- Gómez, L. A., y Pérez, L. A. (2018). Materias primas usadas para la producción de etanol de cuatro generaciones: retos y oportunidades. *Agrociencia*, 52(7), 967-990.
- González, M. (2014). Caracterización bioquímica y biotecnología de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* GL15 [tesis de maestría, Universidad de la Rioja, España]
- Gracia, C. (s.f.). *Biocombustibles: ¿energía o alimento?*
http://www.ub.edu/ecologia/carlos.gracia/PublicacionesPDF/Cap%C3%ADtulo%204_Bioetanol.pdf
- Guevara Condezo, J. (2020). Obtención de Bioetanol a partir de Cáliz de Aguaymanto.
- Gutz, H., Heslot, H., Leupold, U., y Loprieno, N. (1974). *Schizosaccharomyces pombe*. *In Bacteria, Bacteriophages, and Fungi*.395-446.
- Hackenberg, N. (2008). Biocombustibles de segunda generación. *Revista Virtual REDESMA, Centro Boliviano de Estudios Multidisciplinarios (CEBEM)*, 2(2), 49-61.
- Harvey, D. (2022). *Química Analítica Moderna*. McGraw Hill.

- Hernandez, L. (2018). Obtención de biogasolina a partir del bioetanol producido de la cáscara y del fruto del maduro a través de la fermentación y transformación en un reactor de lecho empacado [Tesis de licenciatura, Fundación Universidad de América]. Repositorio de la UAMERICA <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19680>
- Hernández, R., y Torres, C. P. M. (2018). Metodología de la investigación. McGraw-Hill Interamericana.
- Hernández, S. y Martínez, C. (2012). *Obtención de etanol por vía fermentativa a partir de cáscaras de Ananas comosus (piña) evaluando dos de sus principales variables (pH y grados Brix) usando como microorganismo productor Saccharomyces cerevisiae* [Tesis de Licenciatura. Universidad de El Salvador]
- Hidalgo, K, B. Rodriguez, M. Valdiviá, M. Febles. (2009). Utilización de la vinaza de destilería como aditivo para pollos en ceba. *Cub. C. Agr. 43: 281-284.*
- Himmel, M. E., Ding, S., Johnson, D. K., Adney, W. S., Nimlos, M. R., Brady, J. W. y Foust, T. D. (2007). Biomass recalcitrance: engineering plants and enzymes for biofuels production. *Science 315, 804–807.*
- Hoyos L. y Perez Y. (2005). *Pretratamiento del Material Lignocelulósico de la planta de banano y su fruto para la producción de jarabe* [Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia]
- Huang, H., S. Long, and V. Singh. (2016). Techno-economic analysis of biodiesel and ethanol co-production from lipid-producing sugarcane. *Biof., Biop. Bioref. John Wiley & Sons, Ltd. 10: 299–315.*

- Ibarra, D., Ruiz, J. A., González, D. R., Flores, J. G., y Díaz, G. (2009). Distribución espacial del pH de los suelos agrícolas de Zapopan, Jalisco, México. *Agricultura técnica en México*, 35(3), 267-276.
- Indulekha, J., Gokul Siddarth, M., Kalaichelvi, P. and Arunagiri, A., (2017). Characterization of citrus peels for bioethanol production. *Mater Energy Environ Eng*, 3–12.
- Jang, Y., Lee, K. y Yoo, H. (2021). Mejora de la recuperación de azúcar de la piel de naranja mediante la optimización estadística del pretratamiento termoalcalino. *Procesos*, 9 (3), 409.
- Kaza, S., LC Yao, P., Bhada, T. y Van Woerden, F. (2018). *Una instantánea mundial de Gestión de Residuos Sólidos al 2050*. Colección Desarrollo Urbano. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317> .
- Khalil, M., Berawi, M.A., Heryanto, R., Rizalie, A., (2019). Waste to energy technology: the potential of sustainable biogas production from animal waste in Indonesia. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 105, 323–331.
- Khambhaty, Y., D. Upadhyay, Y. Kriplani, N. Joshi, K. Mody, and M. R. Gandhi. (2013). Bioethanol from macroalgal biomass: Utilization of marine yeast for production of the Same. *BioEnergy Res. Springer-Verlag* 6: 188-195.
- Kiran, E.U., Trzcinski, A.P., Ng, W.J., Liu, Y., (2014). Bioconversion of food waste to energy: a review. *Fuel* 134, 389–399
- Lara, L. (2007). Hidrolisis enzimática de piñas de sotol para incrementar la concentración de azúcar aplicando diferentes tratamientos [Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro].

- Llenque, L. A., Díaz, A. Q., Lino, L. T., & Vega, R. S. (2020). Producción de bioetanol a partir de residuos orgánicos vegetales. *Rebiol*, 40(1), 21-29.
- López, X., Taramuel, A., y Arboleda, C. (2017). Comparación de métodos que utilizan ácido sulfúrico para la determinación de azúcares totales. *Revista Cubana de Química*, 29(2), 180–198.
- Lorenzo, R. A. y Carro, A. M. (2011). *Química analítica*. Edt: Universidad de Santiago de Compostela.
- Malagón, M., Garay, C. y Peña, N. (2017). Obtención de bioetanol a partir de residuos lignocelulósicos. *Fundación Universidad de América Semilleros Formación Investigativa*. Vol. 3 N.º 1: 69-76.
- Manzano, I. A. H. (2023). Expresión y caracterización bioquímica de una lipasa y su foldasa específica de *Pseudomonas alcaligenes* proveniente del Golfo de México.
- Marín, T., y Leon, A. (2018). *Producción de bioetanol a través de la fermentación en BATCH de la cáscara de mango (Mangifera indica) usando como inóculo la Saccharomyces cerevisiae* [Trabajo de grado, Fundación Universitaria los Libertadores]
- Marquez, F., y Duchén, E. (2017). *Optimización del procesamiento de las cáscaras de mandarina, naranja, limón y toronja; para la obtención de la d-glucosa y el ácido galacturónico y una potencial aplicación industrial* [Trabajo de grado, Universidad Mayor de San Andrés].
- Massera, M. M., Reartes, N. E., Bettera, C., Medeot, I., Pagliaricci, M. C., Cattalano, E., y Politano, M. (2013). *Influencia de la humedad y granulometría en la*

producción de bioetanol. [Trabajo de grado, Universidad Nacional de Río Cuarto. Argentina]

Mendoza, M. (2005). Importancia de la identificación de levaduras. *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología*, 25(1), 103-117.

Meza, R. E. (2020). La glucosa en el cuerpo humano. *Revista Institucional Tiempos Nuevos*, 25(27), 43-53.

Mijangos, J., M. Gonzalez, E. España, J. Dominguez, & L. Alzate. (2014). Fertigation of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench.) in laboratory and nursery assays with treated vinasses of hydrated ethanol of UASB reactor. *Rev. Mex. de Ing. Quím.* 13: 713-722.

MINAM (2020). *Generación total de residuos sólidos municipales*. Portal SINIA. <https://sinia.minam.gob.pe/informacion/tematicas?tematica=08>

Mishra, A., Kumar, A. y Ghosh, S., (2018). Energy assessment of second generation (2G) ethanol production from wheat straw in Indian scenario. 3. *Biotech* 8 (3), 142 <https://doi.org/10.1007/s13205-018-1135-0>.

Molina, M., González, J. C. y Rodríguez, F. (2004). Role of chemical activation in the development of carbon porosity. *Colloids Surf., A*, 241, 1-3.

Montiel, K., y Romero, L. (2015). *Obtención de bioetanol a partir de la coronta (olote) del maíz variedad HS-5, por el método de hidrólisis ácida diluida - fermentación separación* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua].

Repositorio de la UNAN <https://repositorio.unan.edu.ni/1357/1/Monograf%C3%ADa%20KiaraLeticia.pdf>

f

- Moreno, O. L. (2016). Valorización simbólica del Queso Crema de Chiapas, un queso mexicano tradicional con calidad de origen. *PASOS Revista De Turismo y Patrimonio Cultural*, 14(2).
- Muñoz, P. A. (2020). *Estudio de prefactibilidad técnico-económico de una biorrefinería a partir de cáscara de naranja para la industria cosmética y alimenticia* [Tesis de licenciatura, Universidad San Francisco de Quito] Repositorio de la USFQ. <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/10208/1/137782.pdf>
- Namhyun, C., Lee, I., Song, H. y Bang, W. (2000). Mechanisms used by white-rot fungus to degrade lignin and toxic chemicals. *J Microbiol Biotechnol* 10, 737–752.
- Navarro, F. A., y Vela, O. O. (2022). *Determinación del rendimiento en la obtención del bioetanol a partir de la cáscara de tres variedades de la Musa paradisiaca*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Trujillo] Repositorio de la UNITRU. <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/18990?show=full>
- Nieto, H. (2009). *Evaluación de las condiciones de la fermentación alcohólica utilizando Saccharomyces cerevisiae y jugo de caña de azúcar como sustrato para obtener etanol* [Tesis de titulación, Escuela Politécnica del Ejército]
- Núñez, R. Á., Pérez, B. R., Motzezak, R. H., y Chirinos, M. (2012). Contenido de azúcares totales, reductores y no reductores en Agave cocui Trelease. *Multiciencias*, 12(2), 129-135.
- Olivares Merino, M. I. (2021). Hidrólisis y Fermentación de Materiales Lignocelulósicos con *Hansenula polymorpha*.

- Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International journal of morphology*, 35(1), 227-232.
- Paucarchuco, K. M. M., León, C. R. R., & Espíritu, M. M. B. (2019). La economía circular: modelo de gestión de calidad en el Perú. *Puriq*, 1(02), 120-132.
- PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). (2016). *Asamblea Regional GEO-6 sesión para América Latina y el Caribe. Nairobi: PNUMA*. <https://www.unep.org/global-environment-outlook/findings-and-data/assessment-findings/geo-6-regional-resumen-latin>
- Quintero, L., Martínez, Y., Velasco, J., Arévalo, A., Muñoz, Y. y Urbina, N. (2015). Evaluación de residuos de papa, yuca y naranja para la producción de etanol en cultivo discontinuo utilizando *Saccharomyces cerevisiae*. *Revista ION*, 28(1), 43-53.
- Ramos, F. D. (2016). *Biocombustibles*. Asociación Civil Ciencia Hoy.
- Rodríguez, H. (2019). *Evaluación de la obtención de etanol mediante residuos de cáscara de limón y naranja, provenientes de la empresa Alimentos SAS SAS* [Tesis de licenciatura, Fundación Universidad de América].
- Romero, M. G. (2020). Biocombustibles y producción de biohidrógeno. *MoleQla: revista de Ciencias de la Universidad Pablo de Olavide*, 38(8).
- Rosero Yar, E. M. (2023). *Diseño de un sistema de destilación para la obtención de etanol a partir de almidón de papa "Solanum tuberosum"* (Bachelor's thesis, Quito: UCE).
- Santi G., Crognale S., D'Annibale A., Petruccioli M., Ruzzi M., Valentini R., Moresi M. (2014). Orange peel pretreatment in a novel lab-scale direct steam-injection apparatus for ethanol production. *Biomass and Bioenergy*. 61, 146-156

- Scholz, M. J., M. R. Riley, and J. L. Cuello. (2013). Acid hydrolysis and fermentation of microalgal starches to ethanol by the yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Biomass and Bioenergy* 48: 59-65.
- Sheehan, G. J., and P. Greenfield. (1980). Utilisation, treatment and disposal of distillery wastewater. *Water Res. Pergamon* 14: 257-277.
- Siddiq, M., Ahmed, J., Lobo, M.G. y Ozadali, F. (2012). *Frutas tropicales y subtropicales: fisiología poscosecha, procesamiento y empaque*. John Wiley & Sons.
- Siliceo, M. (2014). *Análisis de la productividad de bioetanol* [Tesis de maestría. Universidad Autónoma del Carmen] Repositorio de la UAC <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/46727/SiliceoRodriguezMLuisa.pdf>
- Silva, M. A., Griebeler, N. P. and Borges, L. C. (2007). Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. *Rev. Bras. Engen. Agríc. Ambiental. Dep. Eng. Agr. - UFCG / Cnpq*, 11: 108-114.
- Solomon, B. D., Barnes, J. R. and Halvorsen, K. E. (2007). Grain and cellulosic ethanol: History, economics, and energy policy. *Biomass and Bioenergy* 31: 416-425.
- Sudhakar, M. P., R. Merlyn, K. Arunkumar, and K. Perumal. (2016). Characterization, pretreatment and saccharification of spent seaweed biomass for bioethanol production using baker's yeast. *Biomass and Bioenergy* 90: 148-154.
- Sun, Y. y Cheng, J. (2002). Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production. *Bioresource Technol. Vol. 83, pp. 1–11*.

- Tejeda L, Alvear M, Henao D, Castillo C, Marimon W, Tejeda C y Villabona A. (2010). Producción de bioetanol a partir de la fermentación alcohólica de jarabes glucosados derivados de cáscaras de naranja y piña. *Revista Educación en Ingeniería*. 2010; 10. 120-5.
- Tiwari, A., Kiran, T., Pandey, A., Basile A. y Dalena F, (2019) Second and Third Generation of Feedstocks. *The Evolution of Biofuels (Chap. 14, pp. 383-403)*. Elsevier Inc.
- Tomás, A. F. (2013). *Optimización de la producción de bioetanol a partir de residuos ricos en hidratos de carbono por microorganismos termófilos extremos* [Tesis doctoral, Universidad de Rioja].
- Torija , J. (2002). *Ecología de las levaduras, selección y adaptaciones vínicas*. [Tesis Doctoral, Universitat Rovira I Virgili]
- Torres, J. F. (2020). *Obtención de bioetanol a partir de residuos fermentables de los frutos de Citrus sinensis y Citrus reticulata generados en el mercado Santa Anita-Morales, 2020*. [Tesis de titulación, Universidad César Vallejo].
- Utekar, P., Kininge, M. y Gogate, P. (2021). Intensificación de la deslignificación e hidrólisis enzimática de residuos de piel de naranja mediante ultrasonidos para mejorar la producción de azúcares fermentables. *Ingeniería Química y Procesamiento-Intensificación de Procesos* , 168 , 108556.
- Uyazán, A. M., Gil, I. D., Aguilar, J. L., Rodríguez, G. and Caicedo, L. A. (2004). Deshidratación del etanol. *Ing. Inv.* 56: 49-59.
- Vaez, E., Zilouei, H., (2020). Towards the development of biofuel production from paper mill effluent. *Renew. Energy* 146, 1408–1415.

- Van Wyk, J. P. (2001). Biotechnology and the utilization of biowaste as a resource for bioproduct development. *Trends Biotechnol* 19, 172–177.
- Vargas, V. M. T., Mayorga, D. F. B., Álvarez, M. P. F., & Espinoza, J. P. C. (2022). Los biocombustibles como alternativa de energía a partir de recursos renovables y/o desechos. *Polo del Conocimiento*, 7(7), 386-407.
- Vásquez, S. M. (2019). *Obtención de bioetanol a partir de biomasa lignocelulósica presente en la cascarilla del arroz para ser utilizados en equipos motorizados* [Tesis de licenciatura, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio de la UPS <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17633/4/UPS-CT008382.pdf>
- Widmer, W., Zhou, W., Grohmann, K., (2010). Pre-treatment effects on orange processing waste for making ethanol by simultaneous saccharification and fermentation. *Bioresour. Technol.* 101 (14), 5242–5249.
- Xu, Y., Lu, Y., Zheng, L., Wang, Z., Dai, X., (2019). Perspective on enhancing the anaerobic digestion of waste activated sludge. *J. Hazard. Mater.*, 121847 <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121847>
- Yoon, S.-Y., Han, S.-H., Shin, S.-J. (2014). The effect of hemicelluloses and lignin on acid hydrolysis of cellulose. *Energy*, 77(1): 19-24.
- Zaldivar, J., Martinez, A. y Ingram, L. O. (1999). Effect of selected aldehydes on the growth and fermentation of ethanologenic *Escherichia coli*. *Biotechnol Bioeng* 65, 24–33.
- Zaxarovich, G., y Holguín, S. (2005). *Métodos químicos y fotométricos de análisis*. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco.

Zola, M. y. (2017). Estudio experimental de la Obtención de bioetanol a partir de cáscara de plátano en Piura, Perú. (Tesis de titulación, Universidad de Piura).

Repositorio de la UDEP

https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3305/ING_592.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Zuzuarregui A. (2005). Caracterización fisiológicas y moleculares de cepas vínicas de *Saccharomyces sp.* Influencia entre su comportamiento de vinificación. [Tesis doctoral, Universidad de Valencia.

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina del repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad

Tecnológica de los Andes.