

UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZÁN

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

E. P. INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



“APROVECHAMIENTO DE CÁLIZ DE AGUAYMANTO (*Physalis peruviana*) Y CÁSCARA DE YACÓN (*Smallanthus sonchifolius*) PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL”

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

TESISTAS:

Orizano Acuña, Vanesa.
Valdizán Espinoza, Héctor

ASESOR:

Dr. Villanueva Tiburcio, Juan Edson.

HUÁNUCO – PERÚ

2021

“APROVECHAMIENTO DE CÁLIZ DE AGUAYMANTO (*Physalis peruviana*) Y CÁSCARA DE YACÓN (*Smallanthus sonchifolius*) PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL”

Dedicatoria

El presente trabajo de tesis lo dedicamos principalmente a Dios, por ser el inspirador y darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A nuestros padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes hemos logrado llegar hasta aquí y convertirnos en lo que somos. Ha sido el orgullo y el privilegio de ser sus hijos.

A todas las personas que nos han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a los que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

Agradecimiento

Queremos expresar nuestra gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre nuestra vida y a toda nuestra familia por estar siempre presentes. Nuestro profundo agradecimiento a todas las autoridades y docentes de la Carrera Profesional de Ingeniería Agroindustrial, Instituto Tecnológico de la Producción por confiar en nosotros, por hacernos crecer día a día como profesional, gracias a cada una de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

De igual manera nuestro agradecimiento a Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional Hermilio Valdizán, por abrirnos las puertas y permitirnos realizar todo el proceso investigación dentro de su establecimiento educativo y formación profesional.

Al Dr. Villanueva Tiburcio, Juan Edson; por el asesoramiento permanente y colaboración en la ejecución del presente trabajo de investigación.

RESUMEN

Ante la creciente demanda por el consumo de combustibles fósiles y su efecto derivado de calentamiento global, existe la necesidad de buscar diferentes fuentes renovables para la producción de combustibles. La generación de residuos agroindustriales está despertando interés para la producción de bioetanol. El objetivo de la investigación fue obtener bioetanol a partir de residuos lignocelulósicos como cáliz de aguaymanto y cáscara de yacón. El desarrollo metodológico consistió en someter el material lignocelulósico a hidrólisis ácida y posterior fermentación a 38 y 40 °C con 40 y 50% de rumen de vaca. Los resultados de la caracterización mostraron que la cáscara de yacón tuvo $10,63 \pm 0,46$ %, de sólidos solubles y 0% en cáliz de aguaymanto, mientras que el rumen tuvo $38 \pm 0,01$ °C y pH $6,3 \pm 0,01$. Luego de la hidrólisis ácida y neutralización, los azúcares reductores de los mejores tratamientos en cáscara de yacón fueron T1 $4,54 \pm 0,04$ g/L; T2 $4,38 \pm 0,01$ g/L; T3 $4,19 \pm 0,01$ g/L; T4 $4,17 \pm 0,01$ g/L y cáliz de aguaymanto T1 $4,98 \pm 0,02$ g/L ($p < 0,05$); luego de la fermentación de 14 y 21 días, se determinó el análisis mediante superficie de respuesta reportando como parámetros óptimos para cáscara de yacón 38-38,1 °C y 40-40,5% de rumen, para cáliz de aguaymanto 38-38,3 °C y 40- 42% de rumen ($p < 0,05$), el análisis fisicoquímico del producto final, para yacón fue para T1, pH $6,15 \pm 0,05$; acidez $0,05 \pm 0,01$ mg ácido cítrico/100 g; °GL $10,00 \pm 1,00$, T2 pH $5,89 \pm 0,13$; acidez $0,05 \pm 0,01$ mg ácido cítrico/100 g; °GL $10,00 \pm 0,00$, T3 pH $6,73 \pm 0,07$; acidez $0,07 \pm 0,00$ mg ácido cítrico/100 g; °GL $14,67 \pm 0,5$; T4 pH $5,60 \pm 0,14$; acidez $0,05 \pm 0,00$ mg ácido cítrico/100 g; °GL $4,67 \pm 0,58$; en cáliz de aguaymanto T1.1 pH $6,45 \pm 0,07$; acidez $0,07 \pm 0,0$ mg ácido cítrico/100 g; °GL $13,00 \pm 1,00$ ($p < 0,05$). En conclusión, el material lignocelulósico de yacón y cáliz de aguaymanto fermentado con el rumen de vaca se puede obtener bioetanol.

Palabras clave: caracterización lignocelulósica, etanol anhidro, transformación, bioetanol

SUMMARY

Given the growing demand for the consumption of fossil fuels and its effect derived from global warming, there is a need to look for different renewable sources for the production of fuels. The generation of agro-industrial waste is awakening interest for the production of bioethanol. The objective of the research was to obtain bioethanol from lignocellulosic residues such as aguaymanto calyx and yacón peel. The methodological development consisted in subjecting the lignocellulosic material to acid hydrolysis and subsequent fermentation at 38 and 40 ° C with 40 and 50% cow rumen. The results of the characterization showed that the yacon shell had 10.63 ± 0.46%, soluble solids and 0% in aguaymanto calyx, while the rumen had 38 ± 0.01 ° C and pH 6.3 ± 0.01. After acid hydrolysis and neutralization, the reducing sugars of the best yacon shell treatments were T1 4.54 ± 0.04g / L; T2 4.38 ± 0.01g / L; T3 4.19 ± 0.01g / L; T4 4.17 ± 0.01g / L and aguaymanto calyx T1 4.98 ± 0.02g / L (p <0.05); After fermentation of 14 and 21 days, the analysis was determined by response surface, reporting as optimal parameters for yacon shell 38-38.1 ° C and 40-40.5% of rumen, for aguaymanto calyx 38-38 , 3 ° C and 40-42% of rumen (p <0.05), the physicochemical analysis of the final product, for yacon was for T1, pH 6.15 ± 0.05; acidity 0.05 ± 0.01 mg citric acid / 100 g; ° GL 10.00 ± 1.00, T2 pH 5.89 ± 0.13; acidity 0.05 ± 0.01 mg citric acid / 100 g; ° GL 10.00 ± 0.00, T3 pH 6.73 ± 0.07; acidity 0.07 ± 0.00 mg citric acid / 100 g; ° GL 14.67 ± 0.5; T4 pH 5.60 ± 0.14; acidity 0.05 ± 0.00 mg citric acid / 100 g; ° GL 4.67 ± 0.58; in aguaymanto calyx T1.1 pH 6.45 ± 0.07; acidity 0.07 ± 0.0 mg citric acid / 100 g; ° GL 13.00 ± 1.00 (p <0.05). In conclusion, the lignocellulosic material of yacon and aguaymanto calyx fermented with cow rumen can be obtained bioethanol.

Keywords: lignocellulosic characterization, anhydrous ethanol, transformation, bioethanol.

Índice General

Dedicatoria	2
Agradecimiento	3
RESUMEN	4
SUMMARY	5
I. INTRODUCCIÓN.....	10
II. MARCO TEÓRICO	13
2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	13
2.1.1. Recursos energéticos	13
2.1.2. Biocombustibles.....	14
2.1.3. Tipos, procesos y tecnologías de biocombustibles.....	16
2.1.4. Eficiencia en procesos productivos.....	16
2.1.5. Bioetanol.....	17
2.1.6. Producción de etanol	18
2.1.7. Características del etanol	19
2.1.8. Organismos degradadores de la celulosa.....	22
2.1.9. Fermentación de los azúcares liberados	22
2.1.10. Obtención de etanol a partir de celulosa con levaduras	22
2.1.11. Biomasa.....	23
2.1.12. Celulosa.....	25
2.1.13. Hemicelulosa	26
2.1.14. Lignina	27
2.1.15. Composición de materiales lignocelulósicos.....	28
2.1.16. Yacón (<i>Smallanthus sonchifolius</i>).....	28
2.1.17. Descripción botánica.....	30
2.1.18. Composición Química.....	31
2.1.19. Cáscara de yacón	31
2.1.20. Aguaymanto (<i>Physalis peruviana</i>)	32
2.1.21. Descripción taxonómica del aguaymanto	32
2.1.22. Cáliz de aguaymanto	32
2.1.23. Rumen	33
2.1.24. Bacterias celulolíticas	33

2.1.25.	Bacterias hemicelulolíticas y pectinolíticas	34
2.1.26.	Bacterias amilolíticas	34
2.1.27.	Bacterias que utilizan azúcares simples	34
2.1.28.	Bacterias que utilizan ácidos intermedios	35
2.1.29.	Bacterias proteolíticas.....	35
2.2.	Antecedentes	36
2.2.1.	Investigaciones previas.....	36
2.2.2.	Situación actual.....	39
2.2.3.	Industria de biocombustibles.....	40
2.2.4.	Empresas del sector peruano al comercio de biocombustibles ..	41
2.2.5.	Empresas productoras de etanol en Perú.....	42
2.2.6.	Consumidores nacionales de etanol	43
2.2.7.	Normas técnicas del bioetanol.....	43
2.2.8.	NTP 321.126 de etanol carburante	46
2.3.	Métodos de pretratamientos para la transformación de subproductos de biomasa lignocelulósica.	46
2.4.	Hipótesis	48
2.4.1.	Hipótesis general	48
2.4.2.	Hipótesis específicas	48
2.4.3.	Operacionalización de variables	49
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	50
3.1.	Tipo y nivel de investigación	50
3.2.	Lugar de ejecución.....	50
3.3.	Población, muestra y unidad de análisis	50
3.3.1.	Población	50
3.3.2.	Muestra.....	50
3.3.3.	Unidad de análisis.....	51
3.4.	Variables	51
3.4.1.	Variables en la etapa de hidrólisis	51
3.4.2.	Variables en la etapa de fermentación.....	51
3.4.3.	Variables intervinientes en etapa de hidrólisis	51
3.4.4.	Indicadores (algunos de estos indicadores son variables dependientes)	51

3.5.	Tratamientos en estudios	52
3.6.	Prueba de hipótesis	52
3.6.1.	Hipótesis nula	52
3.6.2.	Hipótesis de investigación	52
3.6.3.	Datos a registrar	52
3.6.4.	Técnicas de recolección y procesamiento de la información	53
3.7.	Materiales y Equipos	54
3.7.1.	Materia prima	54
3.7.2.	Materiales	54
3.7.3.	Equipos de laboratorio utilizados	54
3.7.4.	Material biológico	55
3.7.5.	Reactivos	55
3.7.6.	Materiales de escritorio	55
3.7.7.	Diseño de la investigación	56
3.8.	Análisis estadístico.....	57
3.8.1.	Prueba de metodología superficie de respuesta (MSR)	57
3.8.2.	Mejor tratamiento y punto óptimo.....	57
3.8.3.	Elementos de la MSR (Metodología Superficie de Respuesta) ..	58
3.8.4.	Diseño estadístico para la hidrólisis.....	58
3.8.5.	Diseño estadístico para el tiempo de fermentación	59
3.8.6.	Técnicas de optimización.....	61
3.8.7.	Diseños de superficie de respuesta aplicado.....	61
3.9.	Conducción de la investigación.....	62
3.9.1.	Procedimiento para la obtención de bioetanol	62
3.9.2.	Descripción del proceso.....	64
3.9.3.	Caracterización de cáliz de aguaymanto y cáscara de yacón. ...	65
3.10.	Análisis del rumen.	65
3.11.	Análisis antes del hidrólisis.....	65
3.12.	Análisis físico-químico después del hidrólisis.....	65
3.13.	Caracterización del producto final	66
3.14.	Análisis químico:.....	66
IV.	RESULTADOS	67
4.1.	Caracterización físico-química de la materia prima.....	67

4.2.	Análisis del rumen.....	67
4.3.	Análisis de pH de cáliz de aguaymanto y cáscara de yacón, previo a la hidrólisis ácida	67
4.4.	Análisis de los mejores tratamientos, luego de la hidrólisis ácida	68
4.5.	Obtención de bioetanol a partir de cáliz de aguaymanto y cáscara de yacón y análisis mediante superficie de respuesta	69
4.6.	Análisis del producto final	74
4.7.	Rendimiento en proceso y operación de los mejores tratamientos	75
V.	DISCUSIÓN.....	78
VI.	CONCLUSIONES	82
VII.	RECOMENDACIONES.....	83
VIII.	LITERATURA CITADA	85
	ANEXOS	92

I. INTRODUCCIÓN

En el Perú al igual que el resto del mundo, el consumo de energía de fuentes no renovables se ha incrementado considerablemente en los últimos años. La recepción de los derivados de los combustibles fósiles han sido una alternativa de ayuda positiva en nuestra vida cotidiana, pero esta alternativa nos está dañando gravemente, el proceso de su obtención es y ha sido perjudicial para el medio ambiente que nos rodea, estos problemas nos llevan a buscar otras fuentes de cómo obtener combustibles sin contaminación, el llamado biocombustible generado a partir de alimentos de gran poder fermentativos, biomasa; es decir, cualquier tipo de materia orgánica que haya tenido su origen inmediato un proceso biológico; si bien es cierto que esta opción es bien cuestionada por la agricultura, ya que genera el aumento en los precios en los alimentos, a partir de estas cuestiones surgió el biocombustible de segunda generación, lo cual no solo reduce en cierta parte al consumo de combustibles tradicionales (derivados de petróleo), sino que reduciría en gran medida las enormes cantidades de desechos orgánicos en todo el mundo, esta misma es la que hoy en día a evolucionado para bien. En muchos países se tienen normas para su mezcla con combustibles no renovables y metodologías para su producción, del mismo modo se estudia posibilidades como el combustible de tercera generación usando micro algas, pero está un poco lejos de su comercialización. Con este mismo concepto, la problemática de la investigación se centra en tratar de reducir las problemáticas que existen, el calentamiento global causado por emisiones tóxico no solo de refinerías u otras centrales térmicas, si no de desechos que inconscientemente desechamos al medio ambiente y como consecuencia tenemos problemas ambientales, en el Perú - Huánuco no es ajeno a este problema, es por ello que se trata de aprovechar los residuos orgánicos y darles un valor agregado, con esto no solo estaríamos reduciendo las contaminaciones, sino que indirectamente estaríamos reduciendo los costes excesivos con los combustibles de origen no renovales, la gran biodiversidad vegetal con la que cuenta nuestro país puede ser aprovechada para la obtención de la materia prima además de que representa una fuente de empleo, promueve una mejora económica y tecnológica en distintos niveles tanto industriales como tecnológicos. A esta alternativa se le llama bioetanol que

puede ser obtenido mediante la fermentación de los azúcares solubles provenientes de materiales vegetales ricos en azúcar y mediante el uso de levaduras y/o bacterias.

En este contexto, se pretende estudiar el potencial de obtener biocombustible a partir de los residuos lignocelulósicos (cáliz de aguaymanto y cáscara de yacón) provenientes de empresas agroindustriales por hidrólisis ácida-enzimática, con recursos en materia prima disponibles de la Región Huánuco específicamente de las empresas agroindustriales que genera muy poca utilidad económica o muchas veces es simplemente desechado, aprovechando el contenido de carbohidratos que posibilita el uso de microorganismos capaces de transformar este desecho en un producto industrial como el etanol. Este proyecto se centra en las etapas de pretratamientos y fermentación es decir en el desarrollo del proceso de hidrólisis necesario para los carbohidratos complejos presentes en los sustratos, usando la metodología como pretratamientos químicos, hidrólisis ácida y microorganismos del líquido ruminal vacuno para la fermentación con propósito de obtener resultados positivos. Se realizaron evaluaciones minuciosas a los tratamientos, obteniendo resultados esperados y resolviendo las cuestiones planteadas, como caracterizar el material lignocelulósico, determinar azúcares reductores después del hidrólisis ácida-enzimática y evaluar las condiciones de fermentación para la producción de bioetanol. Con esta investigación se espera dar un aporte al conocimiento y en gran medida llegar a incentivar a los estudios e investigaciones que ayuden a reducir inquietudes de la sociedad y contribuir al desarrollo de la región, dándoles valores agregados a cosas que normalmente se ven como desperdicios o desechos.

De acuerdo a lo mencionado, se plantearon los siguientes objetivos.

Objetivo general

- Obtención de bioetanol a partir de residuos lignocelulósicos (Cáliz de aguaymanto y cáscara de yacón) provenientes de empresas agroindustriales por hidrólisis ácida-enzimática.

Objetivos específicos

- Caracterizar el material lignocelulósico.
- Determinar azúcares reductores después del hidrólisis ácida-enzimática.
- Evaluar las condiciones de fermentación para la producción de bioetanol.

La investigación se realizó en el Cite Agroindustrial Huallaga, Unidad Técnica Ambo (UTA), laboratorio físico-químico de la Carrera Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán de Huánuco. El proceso de obtención fue a nivel experimental, la caracterización permitió determinar sus componentes en porcentajes de la cáscara de yacón y cáliz de aguaymanto, se determinó los azúcares reductores de los mejores tratamientos después del hidrólisis ácida-enzimática con las evaluaciones se determinaron los mejores tratamientos y se evaluó el porcentaje de bioetanol. Los resultados permitieron determinar que es posible la obtención de bioetanol a partir de residuos agroindustriales de aguaymanto y yacón.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1.1. Recursos energéticos

Los recursos energéticos alternativos captaron una atención espectacular debido al aumento del consumo de energía junto con el aumento de la población mundial y el consiguiente agotamiento de los combustibles fósiles naturales finitos. Además, la quema de combustibles fósiles convencionales contribuye al calentamiento global a largo plazo en forma de cargas atmosféricas al alza de dióxido de carbono, también la contaminación climática, el uso sin restricciones de combustibles fósiles limitados dando lugar a una disminución de los recursos energéticos y se predijo que la producción anual de petróleo puede disminuir drásticamente para 2050. Por lo tanto, muchos países han mostrado gran preocupación al explorar recursos de energía renovable y alternativa nuevos contra los combustibles de transporte a base de petróleo que no contribuirían a los gases de efecto invernadero a la atmósfera. Es por ello que, con el fin de resolver la crisis de agotamiento energético, se ha instado a los investigadores a producir etanol combustible a partir de la biomasa residual de las agroindustrias (Elahi & Rehman, 2018).

La bioconversión de materias primas con el medio ambiente para producir bioetanol, un recurso limpio, seguro y renovable; se considera una alternativa eficiente a los combustibles de transporte derivados del petróleo, ya que el uso de granos alimenticios para la producción de combustibles puede incitar a competencia directa entre el bioetanol y las tierras agrícolas limitadas necesarias para la producción de alimentos. Para resolver esas controversias, el enfoque más prometedor sería utilizar residuos agrícolas y materias primas que se han derivado de partes no comestibles de cultivos alimentarios, para su bioconversión en combustibles renovables. Así, tanto desde el punto de vista energético como medioambiental, podría ser muy ventajoso desarrollar bioetanol de segunda generación a partir de biomasa de lignocelulosa en la intercalación con la primera generación a partir de almidón y melaza (Elahi & Rehman, 2018).

2.1.2. Biocombustibles

Los combustibles biológicos son obtenidos de manera renovable a partir de restos orgánicos. Entre los principales biocombustibles de primera generación se encuentran el bioetanol, el biodiésel y el biogás. La producción de etanol deriva de las biomásas de los cultivos energéticos o feedstocks de maíz, sorgo, yuca y caña de azúcar, entre otros (Morelos, 2016).

Los biocombustibles se clasifican en generaciones dependiendo de la materia prima empleada en su elaboración, se presenta conforme a la Ley de Promoción y Desarrollo de la Bioenergética, los biocombustibles se definen como los combustibles obtenidos de la biomasa provenientes de materia orgánica de las actividades agrícola, pecuaria, silvícola, acuicultura, alga cultura, residuos de la pesca, domésticas, comerciales, industriales, de microorganismos y de enzimas, así como sus derivados producidos por procesos tecnológicos sustentables. Los biocombustibles se pueden clasificar en tres grupos: bioetanol, biodiesel y biogás. De acuerdo con la clasificación por generación (Arellano, 2015).

Tabla 1. Clasificación de biocombustibles por su generación con respecto a insumos alimentos, residuos orgánicos e insumos vegetales.

Generación	Materia prima	Producto	Ventaja	Desventaja
Primera	Insumos alimenticios (caña de azúcar, remolacha, granos de maíz).	Etanol, metanol, diésel y biogás.	Facilidad de procesamiento, baja emisión de GEI.	Desvío de recursos alimenticios hacia la producción de bioenergéticos.
Segunda	Residuos agrícolas forestales (bagazo de caña, sorgo).	Etanol, metanol diésel e hidrogeno.	No existe desviación de alimentos hacia bioenergéticas.	Poca disminución de los GEI con respecto a la primera generación.
Tercera	Insumos vegetales no alimenticios (algas verdes, árboles).	Diésel y etanol.	Utilización CO ₂ para la producción de insumos.	Utilización de tierra de cultivo destinadas para sembrar insumos.

Fuente: Adaptado de Arellano, (2015, p.8).

2.1.3. Tipos, procesos y tecnologías de biocombustibles

Con relación al bioetanol, este puede ser de primera o de segunda generación; para este último, su producción se realiza con la incorporación de nuevos procesos de investigación y desarrollo (I+D), con la obtención de compuestos de plantas como la lignina, la celulosa o hemicelulosa, entre otros procesos tecnológicos utilizados, como la hidrólisis enzimática, su parte, la producción de biodiésel de segunda generación también incorpora novedosas tecnologías para su obtención y se deriva de biomásas distintas a las oleaginosas, como la madera, la paja y residuos orgánicos, mediante procesos de gasificación, que permiten sintetizar combustibles líquidos de alta calidad (Morelos, 2016).

De acuerdo con información de la AIE (Agencia Internacional de la Energía), se estima que la demanda de biocombustibles para el transporte se incrementará para el año 2030 en un 55% respecto al consumo en 2004 (Osinergmin, 2017).

En relación con los años 2012-2021 de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), se estima que la producción mundial de bioetanol y biodiésel se duplique; este incremento de la producción se concentrará en países como Estados Unidos, Brasil y la Unión Europea (UE). En efecto, estos países, Estados Unidos (33,2%), Brasil (21,8%), UE (20,6%), Argentina (4,1%), Colombia (0,8%), representan la producción mundial de biocombustibles líquidos (Vásquez et al., 2016).

2.1.4. Eficiencia en procesos productivos

El análisis de la eficiencia en la producción de biocombustibles conduce al uso de los medios de producción y las tecnologías aplicadas, es decir, cómo y cuáles son los métodos utilizados para la optimización de los procesos que implican el uso racional de los insumos agrícolas, forestales, residuos orgánicos y tecnologías utilizadas en la producción de biocombustibles de primera y segunda generación (Morelos, 2016).

2.1.5. Bioetanol

El etanol es un combustible que puede producirse a partir de un gran número de substratos vegetales; sin embargo, dependiendo del substrato utilizado existe una variación del rendimiento entre el combustible consumido y el generado en dicho proceso. Este etanol, conocido como bioetanol, está sujeto a una fuerte polémica: para unos se perfila como un recurso energético potencialmente sostenible que puede ofrecer ventajas medioambientales y económicas a largo plazo en contraposición a los combustibles fósiles, mientras que para otros es el responsable de grandes deforestaciones y del aumento del precio de los alimentos, al suplantar selvas y terrenos agrícolas para su producción, dudando además de su rentabilidad energética. Una de las alternativas planteadas para la solución de dicha problemática, es la producción de bioetanol de segunda generación, en la cual la materia prima utilizada proviene de diversos residuos agrícolas. Hoy en día es una de las temáticas investigadas por muchas empresas del ámbito ambiental y productoras de combustible (Santamaría, 2014)

La producción actual de bioetanol se basa en etanol a partir de almidón y azúcares, pero esto ha generado un gran debate acerca de su sostenibilidad.

En este contexto, el bioetanol producido a partir de biomasa lignocelulósica es una alternativa interesante, ya que las materias primas lignocelulósicas no compiten con los cultivos alimentarios y también son menos costosas que las materias primas agrícolas convencionales. La biomasa lignocelulósica es la materia prima renovable más abundante, su producción anual se ha estimado 1×10^{10} millones de toneladas alrededor del mundo (Gómez et al., 2013).

El bioetanol se sintetiza bioquímicamente por las levaduras como el producto final de la glucólisis y de la regeneración anaerobia de esta, cualquier fuente de carbohidratos tiene el potencial de transformarse en etanol, por ejemplo, la sacarosa de polímeros simples como el almidón, se

la denomina producción de primera generación; cuando se obtiene de polímeros de carbohidratos complejos como la hemicelulosa y la celulosa se le denomina de segunda generación (Zamora et al., 2014).

El bioetanol, o etanol de biomasa, puede ser obtenido de maíz, de caña de azúcar, remolacha, por medio de procesos de fermentación enzimáticos de sus azúcares. Dado que la composición de la celulosa es muy rica en azúcar, resultaría muy útil producir alcoholes a partir de la fermentación de celulosa, principal componente estructural de los materiales vegetales (Zamora et al., 2014).

Según el Consejo Nacional de Defensa de los Recursos Renovables de Estados Unidos, más de mil millones de toneladas de materiales con celulosa (aserrín, césped, hojas de árboles, viruta de madera, etc.) se generan anualmente y de su destilación fermentativa son obtenidos cerca del 30% de los combustibles para los automóviles. El problema radica en los elevados costos que representa romper la rígida celulosa para posteriormente fermentarla y destilarla. Se espera que, en un futuro muy cercano, microorganismos genéticamente diseñados para degradar y producir el etanol, a partir de celulosa, permitan bajar los costos de producción del etanol desde esta fuente natural (Tejeda et al., 2011).

2.1.6. Producción de etanol

Alcohol a partir de caña de azúcar es la principal materia prima para la producción de etanol, ya sea en forma de jugo de caña o como melazas (subproducto de la industria azucarera). Se pueden obtener cerca de 70L de etanol/ton de caña y 9L etanol/ton de melaza, además de 100 kg de azúcar. Para efectos de costeo, Murtagh (2009) estimó que se debe esperar un rendimiento de 58 galones de etanol a partir de 1 ton de melazas que contengan un 46% de azúcares. El microorganismo más utilizado es *Saccharomyces cereviceae* por su capacidad de hidrolizar la sacarosa de la caña de azúcar para su conversión hasta glucosa y fructosa, dos hexosas fácilmente asimilables; además puede desarrollarse en condiciones anaeróbicas, pero se necesitan pequeñas cantidades de O₂ para la síntesis de sustancias como ácidos grasos y esteroides (Elahi & Rehman, 2018).

Los procesos continuos tienen mayores ventajas frente a los procesos por lotes debido a los menores costos del biorreactor, menores requerimientos de mantenimiento y operación, mejor control del proceso y mayor productividad. El 30% de las plantas productoras de bioetanol en Brasil emplean el cultivo continuo. La clave de este proceso son las mayores densidades celulares, las cuales se pueden alcanzar por inmovilización de células, recuperación y reciclaje de biomasa o control del crecimiento celular. Sin embargo, las levaduras cultivadas por períodos prolongados en condiciones anaeróbicas disminuyen su capacidad de producir alcohol. Adicionalmente, a tasas de dilución altas que garantizan productividades elevadas, el sustrato no alcanza a ser consumido completamente, por lo que los rendimientos disminuyen. Generalmente en la industria, aunque la productividad es importante, es más relevante la conversión del sustrato considerando que la mayor parte de los costos de producción corresponden a la materia prima. Este proceso piloto se basa en la fermentación en un tanque del cual se retira una corriente del líquido que va a una centrífuga. De la centrífuga se retira continuamente una corriente de levadura concentrada que se recircula al fermentador y otra corriente sin levadura que se envía a una torre de destilación; se logran así mayores rendimientos de alcohol debido a la baja formación de inhibidores, subproductos y bacterias en razón a los bajos tiempos de residencia alcanzados para el proceso de fermentación (3-6h). Un enfoque adicional consiste en la remoción del alcohol del medio de cultivo con vacío o membranas, lo que incrementa notablemente la eficiencia del proceso, pero implica un aumento en los costos de capital (Elahi & Rehman, 2018).

2.1.7. Características del etanol

El 30% de las plantas productoras de bioetanol en Brasil emplean el cultivo continuo. La clave de El etanol es un compuesto químico que en condiciones normales de temperatura y presión es un líquido incoloro e inflamable con un punto de ebullición de 78.4 °C. En las siguientes tablas podemos ver sus características físicas, químicas y termoquímicas.

Tabla 2. Propiedades físicas del etanol, obtenido a partir bioetanol de primera generación (alimentos como caña de azúcar, maíz, etc.).

Parámetros	Características
Apariencia	Incoloro
Densidad	789kg/m ³
Masa molar	46.07g/mol
Punto de fusión	-114 °C
Punto de ebullición	78°C
Temperatura crítica	241°C
Presión crítica	63atm
Estructura	Estructura cristalina monoclinico
Viscosidad	1,074mPa a 20°C
Índice de refracción	1,3611

Fuente: Adaptado de (Abascal, 2017)

Tabla 3. Propiedades químicas del etanol, obtenido a partir bioetanol de primera generación (alimentos como caña de azúcar, maíz, etc.).

Parámetros	Características
Acidez	15,9 pka
Solubilidad	Misible

Fuente: Adaptado de (Abascal, 2017)

Tabla 4. Propiedades termoquímicas, obtenido a partir bioetanol de primera generación (alimentos como caña de azúcar, maíz, etc.).

Parámetros	Características
Entalpia vaporización	-235 KJ/mol
Entalpia de liquido	-277,6 KJ/mol

Fuente: Adaptado de (Abascal, 2017)

Tabla 5. Mezclas obligatorias internacionales para bioetanol, la mezcla del etanol de primera generación se realiza de acuerdo las normas establecidos en cada país.

País	Mezcla obligatoria	Lugares
Argentina	E5	
Brasil	E18-25	
Canadá	E5	En 7 provincias
China	E10	En 9 provincias
Colombia	E8	
Guatemala	E5	
Jamaica	E10	
Paraguay	E24	
Perú	7.8	
España	E6.5	
EEUU	E10, E9, E2	E10, Misuri, Montana, Florida, Minnesota, Oregón; E9 en Florida; E2 en Luisiana y Washington.
Uruguay	E5	

Fuente: Adaptado de (Escalante & Fuentes., 2013, p. 140.)

Tabla 6. El etanol en distintos tipos de industrias, parámetros usados en el estado peruano para su respectivo comercio.

Producto	°GL (grados Gay Llusac)	Usos
Gasol		Son mezcla de etanol y gasolina para uso automotor.
Alcohol neutro	96° - 97°	Se utiliza en la elaboración de licores, química, biológica y farmacéutica.
Alcohol desnaturalizado	97°	Se utiliza en fines industriales, en solventes.
Alcohol medicinal	70° - 90°	Se utiliza en la preparación de lociones y solventes suaves.
Alcohol anhidro	99,6° - 99,8°	Es el alcohol deshidratado, que se utiliza como carburante en el Gasohol.

Fuente: Adoptado de (Escalante & Fuentes., 2013, p. 141.)

2.1.8. Organismos degradadores de la celulosa

Los hongos basidiomicetos y las bacterias aerobias degradan el material celulósico a través de la producción de celulasas extracelulares. Entre este grupo se encuentran las bacterias del género *Cellulomonas* y *Streptomyces*, que son los organismos más estudiados en esta área porque producen celulasas y actualmente dominan las aplicaciones industriales. Entre estos últimos se encuentran *Sclerotium rolfsii*, *Phanerochaete chrysosporium*, *Volvariella volvacea*, *Schizophyllum commune*, *Pycnoporus sanguineus*, *Bjerkandera adusta*, y algunos ascomicetos como *Trichoderma reesei*, y especies de *Aspergillus*, y *Penicillium*.

Los hongos y bacterias anaerobias degradan la celulosa a través de celulosomas. Los microorganismos aerobios producen celulasas con diferentes especificaciones y modos de acción, actuando en sinergismo para hidrolizar la celulosa (Camargo & Williams, 2012).

2.1.9. Fermentación de los azúcares liberados

La finalidad del pretratamiento es remover la lignina y la hemicelulosa, reducir la cristalinidad de la celulosa e incrementar la porosidad del material, mejorando la liberación de azúcares y evitando la degradación o pérdida de carbohidratos, así como la formación de compuestos inhibitorios para la posterior fermentación (Gonzales et al., 2015).

2.1.10. Obtención de etanol a partir de celulosa con levaduras

Los azúcares obtenidos de la biomasa celulósica pueden ser utilizados en la producción de bioetanol. La producción de etanol a partir de celulosa se logra a través de la degradación de esta para obtener celooligosacáridos y glucosa, seguido de la conversión de la glucosa a etanol por diferentes microorganismos como levaduras y bacterias. Las estrategias que se han seguido para generar levaduras que puedan hidrolizar celulosa mediante la expresión heteróloga de genes que codifican para celulasas. La levadura *Saccharomyces cerevisiae* es un huésped atractivo para la producción de proteínas recombinantes de importancia médica y alimenticia, debido a que es un organismo no patógeno libre de endotoxinas para el hombre y su utilización a escala industrial. Presenta como ventajas su fácil manejo y alta

velocidad de crecimiento en comparación con las bacterias en condiciones anaerobias, posee una organización subcelular eucarionte capaz de realizar los procesos postraduccionales de proteínas complejas. Las levaduras además, secretan proteínas por medio de un sistema de multicomponentes, permitiendo la maduración, el plegamiento correcto y la formación de enlaces disulfuro en estas, así como la glicosilación y otros procesos postraduccionales (Leturia et al., 2015).

Algunas bacterias celulolíticas utilizadas en pretratamientos biológicos son *Sphingomonas paucimobilis* y *Bacillus circulans* que incrementan la liberación de azúcares hasta en un 94% a partir de papel de oficina, bioconversión es la sacarificación y fermentación simultánea (SSF), en donde las enzimas hidrolíticas y los microorganismos fermentativos están en un mismo reactor *Saccaromyces cereviseae*. Entre los organismos usados en la sacarificación y fermentación simultánea están *Saccaromyces cereviseae*. Diversas especies de *Kluyveromyces* y *Candida*. Aumentar la tasa de hidrólisis por conversión de los azúcares que inhiben la actividad de las celulasas; aumentar la tasa de hidrólisis por conversión de los azúcares que inhiben la actividad de las celulasas; La levadura, también se ha expresado de manera eficiente el gen de una endoglucanasa del hongo basidiomiceto *Irpex lacteus*, observando un fuerte efecto sinérgico en la degradación de celulosa cristalina el etanol (Cuervo et al., 2009).

2.1.11. Biomasa

La biomasa la podemos clasificar en dos grandes grupos, natural y residual. La diferencia entre ambas se reduce a la implicación del hombre en el proceso de generación, es decir, la primera procede de ecosistemas naturales mientras que la residual son desechos de las actividades humanas. Esto hace que cuando se utiliza el término de biomasa natural, estamos haciendo referencia a residuos forestales o acuicultura, mientras que la biomasa residual contempla los cultivos energéticos y los excedentes agrícolas, así como los residuos industriales y domésticos. Independientemente de su origen podemos considerar que el 95% de la biomasa son carbohidratos, lignina, grasas y proteínas y el 5% restante lo

forman vitaminas, colorantes, aromatizantes y otras moléculas. Es ahí donde reside la importancia de utilizar un tipo de materia prima u otro debido a que según el tipo de biorefinería los componentes de interés son distintos, entre dichos componentes podemos desatacar los azúcares, el almidón, los lípidos, las proteínas, ciertos residuos orgánicos y lignocelulósicos (Aguilar & Aguilar, 2017).

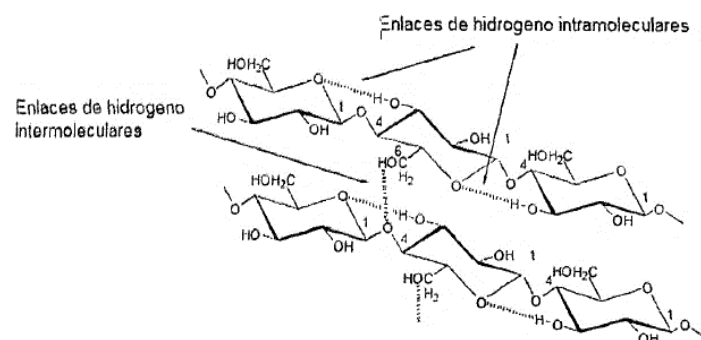
A través del proyecto de investigación desarrollado en la Especialización en Gestión de Residuos Sólidos de la Universidad EAN (Colombia) se pudo llevar a cabo un proceso en el cual fue posible simular a través de una muestra de origen sintético el equivalente de una FORSU (Fracción Orgánica de Residuos Sólidos Urbanos), y a partir de ella, obtener por vía fermentativa bioetanol en concentraciones cercanas a las 65 ppm desde las 25 horas de proceso, obteniendo un rendimiento de 0.5 g etanol/g de glucosa para un tiempo de prueba total de 35 horas (Martínez et al., 2009). Al respecto en otras investigaciones menciona que la biomasa lignocelulósica es una matriz compuesta principalmente por esterres extraíbles, proteínas, carbohidratos, celulosa, hemicelulosa, lignina y material mineral. Es un hetero polímero complejo y el componente estructural de las plantas. Se encuentra en residuos agrícolas, industriales, forestales, municipales, pastos de crecimiento rápido, material vegetal del mar, y biomasa proveniente de zonas semiáridas. La energía almacenada en sus componentes, hacen de la lignocelulosa un compuesto con un enorme potencial biotecnológico. La celulosa, hemicelulosa y la lignina forman estructuras llamadas micro fibrillas, organizadas en macrofibras que regulan la estabilidad de la pared celular de las plantas Arellano (2015).

La lignocelulosa es el principal componente de la pared celular de las plantas, esta biomasa producida por la fotosíntesis es la fuente de carbono renovable más prometedora para solucionar los problemas actuales de energía. El principal impedimento tecnológico para la utilización de la biomasa vegetal es, en general, la ausencia de una tecnología de bajo costo dirigida a la resistencia de la lignocelulosa. Se han desarrollado diversos métodos que mejoran la hidrólisis de la lignocelulosa, como los pretratamientos fisicoquímicos y biológicos. La finalidad del pretratamiento

es remover la lignina, hidrolizar la hemicelulosa a azúcares fermentables, y reducir la cristalinidad de la celulosa para liberar la glucosa. El propósito de esta revisión es mostrar un panorama de los métodos que se han desarrollado para hidrolizar la lignocelulosa (Cuervo et al., 2009).

La celulosa, la hemicelulosa y la lignina conforman la biomasa lignocelulósica, altamente invulnerable a la conversión química y biológica. Por lo tanto, se ha observado un aumento de intereses en la utilización de materiales de lignocelulosa como biomasa para la producción de etanol. La demanda de enzimas microbianas está aumentando debido a su potencial para ser utilizada en diversas aplicaciones en una amplia variedad procesos. Se ha informado de una amplia variedad de cepas microbianas para producir enzimas xilanolíticas, incluyendo bacterias, levaduras, hongos filamentosos y actinomicetos (Elahi & Rehman, 2018).

2.1.12. Celulosa



Fuente: Tomado de Arellano, C., (2015, p. 89).

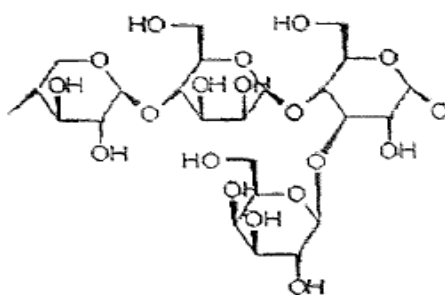
Figura 1. Estructura general de la celulosa.

La celulosa es un polímero de cadena lineal (homopolímero de unidades de glucosa unidas por enlaces β -(1-4))-glucosídicos, es el biopolímero más abundante y renovable de la tierra, formado por la unión de unidades anhidro glucosa, en cadenas de glucano. Los materiales lignocelulósicos (residuos agrícolas, agro-industriales y forestales) pueden presentar en su composición hasta 50%, de celulosa, y por ese motivo han sido bastante utilizados para la obtención de ese biopolímero y de sus derivados, para la producción de papeles o de compuestos de elevado valor comercial, tales como glucosa, etanol y otros (Mussatto et al., 2006).

La mayor parte de la celulosa no se encuentra libre en las plantas, sino que se asocia a la lignina y la hemicelulosa, en diferentes concentraciones para formar parte de la planta, y se caracteriza por presentar una fuerte resistencia frente a las acciones de degradación de toda clase. Las celulasas son sintetizadas por una gran variedad de bacterias y hongos, pero relativamente pocos microorganismos pueden producir las enzimas necesarias para degradar la celulosa cristalina. Las especies de hongos celulolíticos más estudiados, pertenecen al género *Trichoderma*, considerado uno de los mejores productores de enzimas, aunque especies de *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Neurospora crassa*, entre otras, son buenas productoras de celulasas (Marcelo et al., 2011).

Su estructura es altamente cristalina debido a la presencia de puentes de hidrógeno ínter e intermoleculares que influyen en su morfología, rigidez, orientación, resistencia y reactividad. Las zonas de alta cristalinidad son difíciles de hidrolizar en sus unidades manométricas, mientras que las zonas de menor cristalinidad, es decir amorfas, son accesibles y susceptibles a las reacciones químicas (Arellano, 2015).

2.1.13. Hemicelulosa



Fuente: Adoptado de Arellano, C., (2015, p. 89.)

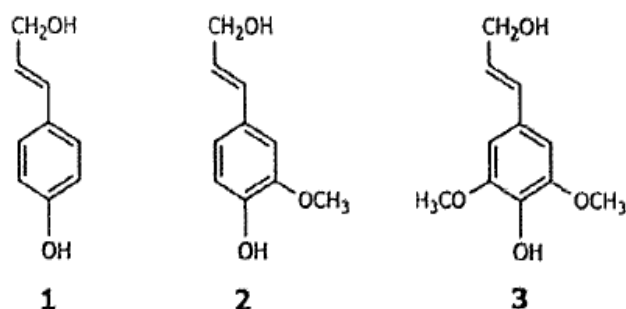
Figura 2. Estructura de la hemicelulosa.

La hemicelulosa es un heteropolímero compuesto principalmente por los azúcares xilosa y arabinosa, aunque también presenta en su composición glucosa, manosa, galactosa y algunos ácidos glucurónicos y ácidos urónicos. La cadena principal de xilana está compuesta de residuos de β -xilopiranosas unidos mediante un enlace β (1>4). Se caracteriza por tener una configuración estructural amorfa y muy hidrofílica, por lo que es más accesible y fácil de hidrolizar que la celulosa. Se muestra la estructura de

la hemicelulosa, la cual es una estructura compleja de carbohidratos que consiste de diferentes polímeros, tales como: pentosas (xilosa y arabinosa), hexosas (glucosa, manosa y galactosa), y ácidos urónicos, la degradación y utilización del xilano, el principal componente de la hemicelulosa (Grilli et al., 2015).

Los azúcares tipo C_6 son fácilmente fermentables a etanol, pero los microorganismos normalmente usados en la industria para obtener alcohol etílico no son capaces de metabolizar los azúcares de cinco átomos de carbono. A diferencia de la celulosa, la cual siempre tiene la misma estructura y composición, las de la hemicelulosa pueden variar ampliamente entre especies de plantas. Las cadenas poliméricas individuales contienen de 50 a 100 unidades monoméricas de azúcares. Debido a que las cadenas de hemicelulosa no son lineales, tiene ramificaciones laterales y no tienen estructura regular, este polímero no es cristalino y es fácilmente hidrolizado (Arellano, 2015).

2.1.14. Lignina



Fuente: Tomado de, Arellano, C., (2015, p. 89.)

Figura 3. Componentes estructurales de la lignina: (1) alcohol p-cumarílico, (2) alcohol coniferílico, (3) alcohol sinapílico.

La lignina es el componente no carbohidrático más importante presente en la pared celular de la planta madura. Se considera que la lignina cumple dos funciones fundamentales en los vegetales: Dar resistencia y servir de pegamento a la pared celular y aportar resistencia al ataque de los microbios (Mussatto et al., 2006).

La lignina es un heteropolímero amorfo, tridimensional y ramificado formado por alcoholes aromáticos que da soporte estructural, rigidez, impermeabilidad y protección a los polisacáridos estructurales (celulosa y

hemicelulosa) y es altamente resistente a la degradación química y biológica. Puede constituir del 15 al 25% de la biomasa lignocelulosa, esta composición varía en cada especie (Arellano, 2015).

2.1.15. Composición de materiales lignocelulósicos

La composición de un material lignocelulósico varía dependiendo de muchos factores, entre los que podemos mencionar: especie, clima, nutrientes, ubicación geográfica, entre otros. Es importante conocer la cantidad de celulosa contenida en los materiales lignocelulósicos, pues en ella, principalmente, se encuentra el potencial para generar biocombustibles. Los materiales lignocelulósicos suelen caracterizarse principalmente según su contenido en fibras mediante normas TAPPI (*Technical Association of the Pulp and Paper Industry*) (Riaño et al., 2010).

Tabla 7. Composición lignocelulósicos, de diferentes tipos de materia orgánico.

Material Lignocelulósico	Celulosa (%)	Hemicelulosa (%)	Lignina (%)
Papel	85-99	0	0-15
Césped	25-40	35-50	10-30
Agave salmiana	47	13	10
Madera	45-50	25-35	25-35
Cascar de nuez	25-30	25-30	30-40
Cascarilla de arroz	25,89 – 35,5	18,1 – 21,35	18,20 – 24,6
Bagazo de caña	48,81	24,42	25,82
Cascara de plátano	13,2	14,8	14,0
Paja de trigo	30	50	15
Pasto de crecimiento rápido	45	31	12

Fuente: Recuperado de (Riaño et al., 2010, p. 61.).

2.1.16. Yacón (*Smallanthus sonchifolius*)

El yacón viene concitando el interés público debido a sus efectos benéficos potenciales para la salud humana. Las raíces del yacón contienen fructooligosacáridos (FOS), un tipo particular de azúcares de baja digestibilidad que aportan pocas calorías al organismo y pueden ser consumidos por diabéticos porque no elevan el nivel de glucosa en la sangre. Diferentes estudios han asociado las siguientes propiedades a un consumo elevado de FOS: reduce el nivel de triglicéridos y colesterol, mejora la asimilación de calcio, fortalece la respuesta del sistema

inmunológico, previene el estreñimiento, reduce el riesgo del cáncer de colon y restaura la microflora intestinal (Puerta, 2011). De ello las industrias procesan de acuerdo al requerimiento de cliente.

Según (Manrique et al., 2003) se clasifica de la siguiente manera:

Reino: *Plantae*
División: *Magnoliophyta*
Clase: *Magnoliopsida*
Orden: *Asterales*
Familia: *Asteraceae*
Subfamilia: *Asteroideae*
Tribu: *Millerieae*
Género: *Smallanthus*
Especie: *S. Sonchifolius*

2.1.17. Descripción botánica

El yacón es una planta arbustiva perenne de 1.5 a 3 m de altura. Las raíces frescas de yacón pueden alcanzar una longitud de 25 cm, por 10 cm de diámetro. Indican que las raíces de yacón pueden variar en su forma pudiendo ser esféricas hasta parecidos a la forma de un limón o de una pera invertida. El tejido de la raíz es suave, debido a que está principalmente constituido por agua, representa el 90% de su peso fresco. Como consecuencia de ello, las raíces son muy frágiles por lo que pueden maltratarse durante su cosecha y transporte. El peso de cada raíz es variable, incluso en la misma planta. El peso de las raíces puede variar de 50 a 1000 g, en promedio entre 200 a 500 g. Bajo condiciones normales una planta produce entre 2 a 3 kg de raíces, pero en condiciones de irrigación, control de plagas y fertilizantes, se puede superar los 5 kg (Puerta, 2011).

2.1.18. Composición Química

El yacón es una de las raíces con mayor contenido de agua, entre el 83 y 90% del peso fresco de las raíces (Aguila, 2015).

Tabla 8. Composición química del yacón.

Componentes de raíz de yacón	Promedio (mg/100g)
Materia seca	11,5
Carbohidratos totales	10,6
Fructanos	6,20
Glucosa libre	0,34
Fructosa libre	0,85
Sacarosa libre	1,40
Proteína	0,37
Fibra	0,36
Lípidos	0,024
Calcio	0,009
Fósforo	0,024
Potasio	0,228

Fuente: Adaptado de (Aguila, 2015, p. 133).

2.1.19. Cáscara de yacón

La cáscara puede tener un sabor no muy agradable, pero contiene carbohidratos 89,95%. El cultivo puede tener un gran potencial. El follaje y las cáscaras de yacón tienen un contenido proteico del 11 al 17%. El valor alimenticio de los tubérculos es bajo y consiste principalmente de carbohidratos. El contenido de azúcares consiste principalmente en inulina (un polímero de la fructosa). Las composiciones de los tubérculos secos varían desde 4 a 7% de cenizas, 6 a 7% de proteína, 10 a 12 sólidos solubles, 0,4 a 1,3% de grasa, 4 a 6% de fibra y aproximadamente 60% de azúcares (Águila, 2015).

2.1.20. Aguaymanto (*Physalis peruviana*)

En los últimos años muchas personas y países en el mundo han puesto su interés en el aguaymanto. El aguaymanto, como sabemos, es una fruta exótica, no tradicional, de sabor agridulce que hoy en día se siembra en la sierra del Perú, en lugares como Huánuco, Huancavelica, y sobre todo en Cajamarca; este último ocupa el primer lugar en la producción de esta fruta. La característica más importante, además de su brillante color amarillo y diminuto tamaño, es que el aguaymanto se adapta fácilmente a muchos pisos ecológicos de los que existe en nuestro país, por lo que es ideal sembrarlo en regiones ubicadas entre 1.800 y 2.800 metros sobre el nivel del mar y en lugares con alta luminosidad y temperaturas promedio entre 13 y 18 grados centígrados. Siendo algunas partes de la costa y selva también opciones óptimas de cultivo de la sierra (Talla & Vicente, 2018).

2.1.21. Descripción taxonómica del aguaymanto

Según (Mendoza & Xenia, 2015) se clasifica de la siguiente manera:

Reino:	<i>Plantae</i>
Subreino:	<i>Tracheobionta</i>
División:	<i>Angiospermae</i>
Clase:	<i>Magnoliopsida</i>
Subclase:	<i>Asteridae</i>
Orden:	<i>Solanale</i>
Familia:	<i>Solanaceae</i>
Género:	<i>Physalis</i>
Especie:	<i>Peruviana</i>
Nombre científico:	<i>Physalis peruviana</i>
Nombres comunes:	Uchuva, uvilla, tomatillo, aguaymanto.

2.1.22. Cáliz de aguaymanto

El aguaymanto es exportada generalmente fresca o deshidratada y libre de cáliz, el cual se desecha sin ningún uso en especial. Si se tiene en cuenta que el cáliz contiene varios compuestos entre los que destacan fibra cruda 5%, saponinas 2%, flavonoides 1,5%, y lípidos 0,3% (Mendoza & Xenia,

2015), por ello se busca aprovechar dicho recurso sobrante de la agroindustria, ya que le dan un valor agregado de gran potencial al fruto.

2.1.23. Rumen

El rumen es un ecosistema complejo donde los nutrientes consumidos por los rumiantes son digeridos mediante un proceso de fermentación realizado por los microorganismos ruminales (bacterias, protozoos y hongos). Dichos microorganismos están en simbiosis, debido a su capacidad de adaptación e interacción, y mientras el rumiante proporciona el ambiente necesario para su establecimiento estos proporcionan energía al animal, la que proviene de los productos finales de la fermentación. Dentro del rumen, los microorganismos coexisten en un entorno reducido y a un pH cercano a la neutralidad. Estos microorganismos fermentan los sustratos, la temperatura del contenido ruminal oscila entre 38 y 40 °C. Estas temperaturas están asociadas a la fermentación activa y a la producción de calor por el animal (Castillo et al., 2014)

En general, los microorganismos del rumen no pueden satisfacer por sí solos los requerimientos de aminoácidos de los rumiantes de alta producción. Por ende, la inclusión de proteínas no degradables en el rumen puede incrementar el suministro total de aminoácidos al intestino delgado y modificar el perfil de aminoácidos. Las bacterias celulolíticas y las metanógenas son afectadas intensamente una vez que el pH del rumen desciende por debajo de 6,0. También son afectados los protozoos del rumen por el descenso de pH determinado por un consumo excesivo de concentrados en la dieta. Si se mantiene el pH en 5,5 puede aparecer en el rumen un elevado número de protozoos (Castillo & Domínguez, 2019).

2.1.24. Bacterias celulolíticas

Las bacterias ruminales pueden hidrolizar la celulosa y metabolizar los azúcares solubles producidos. Los productos finales del metabolismo microbiano, así como la síntesis de proteína microbiana son el resultado de varios factores: características físicas y químicas del alimento, fisiología del aparato digestivo del rumiante y composición de la flora microbiana del rumen. Las especies de bacterias más importantes que degradan la

celulosa son: *Ruminococcus flavefaciens*, *Ruminococcus albus*, *Bacteroides succinogenes* y *Butyrivibrio fibrisolvens*. bajo determinadas condiciones especies tales como *Eubacterium cellulosolvens* puede constituir la bacteria celulolítica más importante en el rumen. Estudios con *albus* indican que posee un complejo de varias enzimas con funciones específicas en la degradación escalonada de la celulosa hasta glucosa (Guerrero, 2011).

2.1.25. Bacterias hemicelulolíticas y pectinolíticas

Las principales bacterias hemicelulolíticas del rumen son: *Butyrivibrio fibrisolvens*, *Bacteroides ruminicola* y *Ruminococcus sp.* La mayoría de las especies predominantes de *ruminococcus* celulolíticas degradan y utilizan con eficacia la hemicelulosa. Las principales bacterias que degradan la pectina son también *Butyrivibrio fibrisolvens*, *Bacteroides ruminicola* y *Lachnospira multiparus*. Otras bacterias pectinolíticas incluyen *succinivibrio dextrinosolvens*, *Treponema* y *Streptococcus bovis*. bacterias *Fibrisolvens* posee una enzima extracelular pectinolíticas que es una exopectato liasa. Esta enzima divide la cadena de pectina en su extremo terminal. Otras bacterias pectinolíticas del rumen poseen endopectato liasa, que efectúa la rotura al azar a lo largo de la cadena de pectina (Del Rosario, 2009).

2.1.26. Bacterias amilolíticas

Las principales bacterias amilolíticas del rumen como: *Bacteroides amylophilus*, *Streptococcus bovis*, y *Bacteroides ruminicola*, *Succinivibrio dextrinosolvens* usa también dextrina, aunque no todos los almidones. Las bacterias amilolíticas suelen predominar en el rumen cuando se consumen dietas ricas en almidón, aunque algunas bacterias como *Bacteroides ruminicola*, parecen ser más prevalentes con dietas pobres en almidón. En la degradación amilasa extracelular que parte al azar la cadena del almidón (Mussatto et al., 2006).

2.1.27. Bacterias que utilizan azúcares simples

Todas las bacterias del rumen que degradan carbohidratos complejos son capaces asimismo de fermentar algunos azúcares simples. *Ruminicola flavefaciens* puede fermentar la glucosa, aunque pueden utilizar celobiosa de forma eficiente. Disponen de un enzima, celobiosa y fosforilasa, que

fermenta la celobiosa en lugar de la glucosa. *Treponema bryantii* se asocia a especies celulolíticas del rumen y estas espiroquetas utilizan algunos de los azúcares y celulo-dextrinas que se liberan durante la degradación de la celulosa. *Lactobacillus vitulinus* y *Lactobacillus ruminus*, se han identificado como fermentadores de azúcar en el rumen. Estos fermentadores de azúcares aparecen cuando se consumen dietas ricas en cereales o forrajes jugosos que contienen elevadas concentraciones de azúcares (Marrero et al., 2017).

2.1.28. Bacterias que utilizan ácidos intermedios

Las bacterias que utilizan ácidos intermedios en el rumen realizan la fermentación secundaria de los productos finales de otras bacterias del rumen. Entre estos ácidos se incluyen lactato, succinato y metanoato. El lactato puede ser fermentado hasta acetato, propionato o ácidos grasos de cadena más larga por bacterias tales como *Megasphaera elsdenii* y *Selenomonas ruminantium*. El intercambio del lactato aumenta con el consumo de cereales y se produce el correspondiente aumento de bacterias que utilizan lactato. El succinato es el principal producto final de muchas bacterias importantes del rumen incluyendo especies celulolíticas. Este es convertido en propionato y CO₂ por *Ruminantium*, *Veillonella alcalescens* (Castillo & Domínguez, 2019).

2.1.29. Bacterias proteolíticas

Las bacterias proteolíticas del rumen incluyen *Bacteroides amylophilus*, *Bacteroides ruminicola*, algunas cepas de *Butyrivibrio fibrisolvens* y *Streptococcus bovis*. Estudios realizados con inhibidores específicos indican que en el rumen aparecen al menos tres tipos de proteinasas microbianas, específicamente: cisteína-proteinasa, serina-proteinasa y metalo-proteinasa. Muchas de estas especies bacterianas disponen también de exopeptidasas para una posterior descomposición de oligopéptidos hasta aminoácidos y péptidos (Arelovich, 2008).

Luna et al., (2019), en el trabajo de tesis titulado “Aislamiento, caracterización bioquímica y filogenia de un rumen bacteriano que degrada la celulosa”, plantearon como objetivo Identificar y caracterizar un

microorganismo capaz de hidrolizar celulosa, aislado de un rumen de vaca. Reportaron que la bacteria aislada mostró actividad celulolítica detectada con rojo Congo; Además, esta bacteria fermentó glicerol, ribosa, xilosa, sacarosa, galactosa y glucosa. Sin embargo, la inferencia filogenética indicó que esta bacteria pertenece al género *Shigella*, con una identidad máxima del 98% con respecto a las otras especies taxonómicas.

2.2. Antecedentes

2.2.1. Investigaciones previas

En el trabajo de investigación “Extracción y caracterización de lignina proveniente del pretratamiento de biomasa para la producción de etanol” el objetivo del presente estudio fue investigar la influencia del pH en la precipitación del licor negro, variando el pH de 1 a 7, así como caracterizar los componentes de su estructura química para posibles usos futuros. Después de obtener la masa precipitada, se realizaron los análisis espectrofotométricos infrarrojo y ultravioleta, así como la cuantificación de los fenoles totales. Fracciones sólidas y líquidas de ligninas de diferentes pH. Los resultados demostraron que las mayores concentraciones de lignina se obtuvieron con los valores de pH más bajos. Los análisis instrumentales indicaron diferencias en los componentes de cada lignina, lo que sugirió que su composición química está influenciada por el cambio de pH. Además, la concentración total de fenoles en el sobrenadante de las muestras fue menor a un pH más bajo, lo que confirma que hay concentraciones más altas de estos en la fracción sólida de ligninas (Bes et al., 2019).

En el trabajo de tesis “Caracterización de biomasa residual de la Región Arequipa para la producción de biocombustibles” seleccionaron biomasa residual generada en la región Arequipa que se utilizó en la producción de biocombustibles (biodiesel, bioetanol y biogás). Se partió de una matriz basada en productos con biomasa residual disponible en la Región, provenientes del sector agrícola y pecuario, posterior a ello en el proceso de selección se consideraron factores específicos de los residuos que se usarán como materias primas en la obtención de cada biocombustible. En

cuanto a la obtención de bioetanol, se utilizó la biomasa con alto porcentaje de celulosa. Finalmente, mediante la caracterización de la biomasa residual, se seleccionaron las materias primas: cascarilla de arroz de Castilla y marlo de maíz de Arequipa para el bioetanol lo cual muestran la eficiencia en rendimiento (Leturia, 2015).

En el estudio “Análisis energético y exergético del proceso de obtención de etanol a partir de la fruta del banano”, (Velásquez et al., 2010). Analizan el comportamiento energético y exergético al escalar el proceso, desarrollado a nivel de laboratorio, de una planta de producción que utilizó el banano para la producción de etanol. En el documento se involucra el cultivo y transporte del material vegetal, hidrólisis del banano, fermentación de los azúcares, destilación del etanol y planta de utilidades. Adicionalmente, se analizan indicadores en base energética y exergética para evaluar el proceso. Dicha evaluación concluye que el proceso de obtención de etanol a partir de la fruta del banano presenta un balance energético positivo (Zapata & Pelaez, 2010).

Estudian la producción en continuo de etanol a partir de banano de rechazo utilizando células inmovilizadas en alginato de sodio y comparándose las fermentaciones en batch con células libres e inmovilizadas (*Saccharomyces cerevisiae*), utilizando un medio estándar de fermentación y mosto de banano como sustrato. En estas experimentaciones demuestran la factibilidad de producción de etanol; puesto que, las fermentaciones con mosto de banano presentaron un incremento del 31% en la producción de etanol durante las primeras 14 horas de fermentación, pasando de producir 33.78 g/L de alcohol con células libres a 44.18 g/L con células inmovilizadas. Del mismo modo, se dispone de tesis que explican la viabilidad de la obtención de bioetanol a partir de residuos agrícolas (Zapata & Pelaez, 2010).

En la Región Piura, Escalante & Fuentes (2013). Realizaron un estudio experimental de obtención de bioetanol a partir de residuos agrícolas de banano orgánico en Piura, cuyo objetivo de la investigación es obtener etanol a partir de residuos agrícolas de banano orgánico (hojas,

pseudotallos, raquis), a nivel de laboratorio por lo que reportan la eficiencia de un 80%.

En el trabajo de investigación de maestría titulado “Evaluation of ethanol production from potato, cassava and orange wastage in discontinuous cultivation using *Saccharomyces cerevisiae*” produjeron etanol utilizando un jarabe glucosado elaborado a partir de residuos de papa, naranja y yuca, por cultivo discontinuo como una alternativa para el manejo de los residuos generados. Para cumplir con el objetivo planteado utilizaron cepas *Saccharomyces cerevisiae*, una cepa nativa y una cepa control obtenida del cepario. La elaboración de los medios de fermentación los residuos se sometieron a un tratamiento de hidrólisis química con ácido clorhídrico al 2%v, temperatura de 75°C y 8 horas, estos parámetros fueron seleccionados como resultado del análisis estadístico del diseño factorial 3³ el cual encontró diferencias estadísticamente significativas ($p \geq 0,05$) en las variables evaluadas sobre la generación de azúcares reductores. Finalmente, se realizaron fermentaciones de 500ml a 30°C 150rpm con base en un diseño factorial 4² para la evaluación de los sustratos fermentativos y el microorganismo fermentador, en donde se encontró que no existen diferencias significativas ($p \geq 0,05$) tanto para los sustratos como para las cepas: control (CTL) y nativa (LYP), en la producción de etanol (Quintero et al., 2015).

En la investigación “Evaluación de los principales residuos lignocelulósicos agroindustriales del departamento de la libertad, Perú como potenciales materias primas para la obtención de bioetanol”. Tuvo como objetivo evaluar a los principales residuos lignocelulósicos agroindustriales de la región La Libertad, Perú, con la finalidad de determinar su potencial uso como materia prima para la producción de bioetanol de segunda generación. Se procedió a realizar la determinación y ubicación geográfica de los principales residuos del departamento La Libertad y, posteriormente, a la determinación de su potencialidad como futuras materias primas para la producción de bioetanol mediante la determinación de azúcares reductores totales; para lo cual, se procedió al secado y fraccionado de los residuos seleccionados y posteriormente a hidrólisis química, física y físico-

química, utilizando como soluciones extractantes agua destilada estéril, ácido sulfúrico e hidróxido de sodio al 1,25 % en una relación partícula-solvente 1:10. La determinación de los azúcares reductores totales se realizó en los filtrados obtenidos de cada uno de los tratamientos, empleando el método de Folin-Wu. Los resultados indican que la provincia de Virú es la que genera la mayor cantidad de residuos lignocelulósicos productos del procesamiento del espárrago, maíz amarillo y alcachofa. Se concluyó que los principales residuos lignocelulósicos con potencialidad para ser usados como materia prima para la producción de bioetanol (Vásquez et al., 2015).

En el trabajo de investigación “Producción de bioetanol a partir de la fermentación alcohólica de jarabes glucosados derivados de cáscaras de naranja y piña”, el objetivo de este trabajo fue obtener bioetanol a partir de cáscaras de naranja (*Citrus sinensis*) y piña (*Ananás sativus*). Se determinó el contenido de azúcares reductores de los materiales lignocelulósicos. Mediante un pretratamiento físico se redujo el tamaño de las muestras y, la remoción de lignina se realizó con hidróxido de sodio y sulfato de calcio. La hidrólisis ácida se llevó a cabo con ácido sulfúrico al 5% a 125 °C y 15 psi para obtener un jarabe azucarado. Este jarabe fue fermentado con *Saccharomyces cerevisiae* en un reactor con agitación durante 7 horas. El etanol obtenido fue separado por micro destilación. Se determinó el contenido de etanol por cromatografía de gases y se encontró, finalmente, que con las cáscaras de naranja se obtuvo mayor contenido de etanol, 8.4 mg/g, que, con las cáscaras de piña, 1.0 mg/g (Tejada et al., 2010).

2.2.2. Situación actual

En América Latina el interés por la producción y uso de biocombustibles, surgió con gran auge, por lo que se ha desarrollado un marco legal relacionado con la promoción de los Biocombustibles. Creándose normas para mezcla en contenido volumétrico de biocombustibles, como por ejemplo en Argentina 88% Nafta +12% bioetanol, Brasil 82% gasolina + 18% alcohol etílico anhidro (mínimo), 72,5% gasolina + 27,5% alcohol etílico anhidro (máximo), Colombia 90% a 92% diésel + 8% a 10% biodiésel

según Región, Perú 92,2% gasolina + 7,8% alcohol carburante, 95% diésel + 5% biodiesel (Vásquez et al., 2016).

La producción de etanol en el año 2022 se pronostica en 160 millones de litros, lo que corresponde a una reducción del 33 % del pronóstico para el año. El país tiene dos modernas instalaciones de producción de etanol, ambas ubicadas en el departamento de Piura. En el Perú existen empresas muy importantes en el rubro tales como: Caña Brava, Industrias del Espino, Biodiesel Perú Internacional, Maple Energy, Pure Biofuels del Perú, Agroindustrias LS (Agrillsa) y Heaven Petroleum Operators quienes ya están ejecutando importantes inversiones para la ampliación de sus plantas de producción y cultivos. En cuanto a la exportación del biocombustible, Foreign Agricultural Service (FAS) Lima hizo una previsión para el 2022 de exportaciones de etanol a aproximadamente 69 millones de litros, debido a que el etanol peruano obtiene en el extranjero precios más altos relativos a Perú (Santillana & Salinas, 2016).

Según Flavio Castellar, director ejecutivo de Arreglo Productivo Local de Alcohol (APLA), el Perú tiene el potencial agrario para convertirse en el principal país exportador de etanol de segunda generación en América Latina debido a sus numerosos campos de producción de caña de azúcar. Con respecto al uso de biocombustibles, se espera analizar su viabilidad a mediano y a largo plazo, pues en años recientes no se están dando los resultados esperados en cuanto a etanol para mezclas. En lo que se refiere a los combustibles utilizados para cocinar, en las zonas rurales aún son muchos los hogares que siguen usando biomasa como principal combustible para cocinar que se espera mejorar (Osinergmin, 2017).

2.2.3. Industria de biocombustibles

A fines del año 2017, países como Estados Unidos y Brasil lideraban el crecimiento de la producción de bioetanol, con una producción anual de 15 330 y 7 295 millones de galones respectivamente, mientras que la Unión Europea ha sido la principal fuente de crecimiento de la producción de biodiesel (Garea & Abascal, 2017).

En la Tabla 9 se muestra con mayor detalle una lista de los principales productores de etanol a nivel mundial durante el año 2017.

Tabla 9. Producción mundial de combustible etanol durante el año 2017.

Países	Millones de galones
Estados Unidos	15 330
Brasil	7 295
Unión Europea	1 377
China	845
Canadá	436
Tailandia	322
Argentina	264
India	225
Resto del mundo	490
Total	26 584

Fuente: recuperado de República Federal Alemana, (2015, p. 5).

2.2.4. Empresas del sector peruano al comercio de biocombustibles

Es así que, el Perú desde el año 2006 se ha planteado incrementar progresivamente la producción de bioetanol y biodiesel, en el reglamento de la Ley aprobado mediante el D.S. 013-2005-EM, se establece como objetivo “la promoción de inversiones para la producción y comercialización de biocombustibles” (Vásquez et al., 2016).

El Perú tiene el potencial agrario para convertirse en el principal país exportador de etanol de segunda generación en América Latina debido a sus numerosos campos de producción de caña de azúcar, es por eso que en la actualidad existen dos grandes empresas representativas en el sector de biocombustibles: Caña Brava y Maple Energy. Caña Brava es una empresa localizada en Piura, con una capacidad de producción de 430 mil litros de etanol por día, la cual está conformada por Agrícola de la Chira S.A. encargada de la plantación y cosecha de la caña de azúcar; Sucroalcolera del Chira S.A. encargada de la molienda y de la producción industrial del etanol y; finalmente, Bioenergía de la Chira S.A. la cual es responsable de la generación de la energía eléctrica a partir del bagazo con una capacidad de alimentación de 5 000 t/día (Grupo Romero, 2015).

Por otro lado, Maple Energy inició su operación en el año 2012; sin embargo, a inicios del año 2015 sus acciones fueron compradas por Industria Agropecuaria Aurora S.A.C del Grupo Gloria. Está ubicada en el margen sur del río Chira, cuya función es la producción de etanol a partir

de la caña de azúcar con una capacidad de 35 millones de galones de etanol al año; además, está diseñada para maximizar la eficiencia en producción al instalar una planta que genere 37 MW de energía, a través del uso del bagazo de la caña de azúcar como combustible (Domínguez, 2016).

2.2.5. Empresas productoras de etanol en Perú

A. Caña Brava.

Caña Brava es el conjunto de 3 empresas del grupo Romero que se dedican exclusivamente a la producción de etanol a partir de la caña de azúcar: Agrícola de la Chira S.A., que se encarga de la cosecha y plantación de la caña de azúcar; Sucroalcolera de la Chira S.A., encargada de la molienda y la producción industrial de etanol y; Bioenergía de la Chira S.A. responsable de la generación de energía eléctrica a partir del bagazo. Su planta está localizada en el departamento de Piura y tiene una capacidad de producción de 350 mil litros de etanol anhidro por día, con una molienda de 4 000 toneladas diarias de caña. La empresa inició a sus operaciones en el 2009. En diciembre de ese mismo año, la empresa exportó USA \$ 5,4 millones en etanol a Holanda, convirtiéndose en la primera empresa exportadora de etanol anhidro en el Perú (Osinergmin y Vásquez, 2017).

B. Maple

Maple es una empresa integrada de energía independiente, con activos y operaciones en Perú. A través de sus subsidiarias Maple Etanol SRL ("Maple Etanol") y Maple Biocombustibles SRL, la empresa comenzó sus operaciones de cosecha de caña de azúcar y producción de etanol a finales de marzo del 2012 (Vásquez et al., 2016)

C. Corporación Azucarera del Perú S.A (Coazúcar)

Coazúcar es una corporación agroindustrial peruana dedicada a la siembra y procesamiento de la caña de azúcar; así como, a la comercialización de subproductos derivados como: azúcar, alcoholes, melaza y bagazo. Coazúcar es una empresa holding del Grupo Gloria que controla las empresas Casa Grande S.A, Cartavio S.A., San Jacinto S.A, San Juan S.A, Empresa Agrícola Sintuco S.A y Empresa Agraria Chiquitoy S.A. En la

actualidad la empresa mantiene operaciones directas de fabricación de etanol en Cartavio, Casa Grande y San Jacinto (Escalante et al., 2013).

2.2.6. Consumidores nacionales de etanol

Los consumidores más importantes de etanol en el Perú, las refinerías de petróleo, mezclan la gasolina con el etanol carburante para comercializarlo como Gasohol.

En el Perú existen 6 refinerías de las cuales solo 2 producen Gasohol:

A. Refinería la Pampilla (Repsol): principal productora de Gasohol del país, sus instalaciones se ubican en la Provincia Constitucional del Callao.

B. Refinería Talara (Petroperú): fue la primera refinería en comercializar Gasohol, sus instalaciones se ubican en la localidad de Talara, departamento de Piura (Vásquez et al., 2016).

2.2.7. Normas técnicas del bioetanol

En el Perú existen algunas especificaciones que se deben cumplir para la comercialización y control de la calidad de los biocombustibles y de sus mezclas. En la tabla 9, se muestran las especificaciones técnicas para el etanol de acuerdo a la Norma Técnica Peruana (NTP) del año 2009 y se detallan los métodos de ensayos típicos, requeridos para certificar las características necesarias que debe cumplir el bioetanol; algunas de ellas son la apariencia que debe tener el etanol, la cual debe ser claro y brillante; libre de contaminantes suspendidos o precipitados; el contenido de fósforo; azufre, entre otros, que se deben tener en cuenta a la hora de ser mezclado con el combustible tradicional.

Tabla 10. Especificaciones Técnicas Etanol – NTP 321.126.2009.

Característica	Especificaciones		Método de ensayo		
	Min	Max	ASTM	EN	NTP
Etanol anhidro %volumen	95,2	-	D5501	EN 15721	-
Metanol, % volumen	-	0,5	D5501	EN 15721	-
Contenido de agua, % peso	-	0,3	E203 E1064	-	-
Contenido de desnaturalizante, % volumen	2.00	3.00	-	-	-
Goma existente, lavada con solvente mg/100ml	-	5.0	D381	-	-
Contenido de cloruros inorgánico, ppm masa(mg/l)	-	10	D7319 D7328	-	-
Apariencia	Claro y brillante, libre de contaminantes suspendidos o precipitados		Inspección Visual		-
Acidez	-		D1613	-	-
pH	6.5-9		D6423	-	-

Fuente: Adaptado de “Norma Técnica Peruana 321. 126. 2009.”, Osinergmin, (2009, p.50).

Por otro lado, alrededor del mundo también existen especificaciones técnicas del etanol carburante que deben cumplirse para su comercialización y uso en motores.

Tabla 11. Especificaciones técnicas del etanol carburante alrededor del mundo, los parámetros que toma cada país son diferentes, dependiendo de las regulaciones que sean establecidas.

Características	Unidad		Países				
			U	EE.U	Bras	Suiz	Europ
Densidad(20°C)	Kg/m ³	Max	-	-	791,5	792	-
Grado alcohólico 20°C	a °GL/%v /v	Min	-	-	99,3	-	-
Grado alcohólico 20°C	a °GL/%v /v	Min	92,1	-	99,6	99,7	98,7
Agua	%v/v	Max	1	-	-	0,3	0,3
Acidez total	mg/l/% m/m	Max	56	-	30	56	56
Conductividad eléctrica	µS/m	Max	-	-	500	500	-
pH	-	-	6,5-9,0	-	-	6,5-9,0	6,5-9,0
Contenido de cobre	de mg/kg	Max	0,1	-	0,07	0,1	0,1
Ion cloruro	mg/kg/(mg/l)	Max	40	-	-	10	25
Goma existente, lavado con solvente	con mg/100 ml	Max	5	-	-	5	-
Metanol	%v/v	Max	0,5	-	-	0,5	1
C3-C5	%v/v	Max	-	-	-	2	2
Desnaturalizante	%v/v	-	1,96-4,76	-	-	-	-
Contenido sulfato	de mg/kg	Max	-	-	-	50	10
Contenido fósforo	d mg/l	Max	-	-	-	-	0,5
Material volátil	no mg/l	Max	-	-	-	-	100

Fuente: Adaptado de, (Escalante & Fuentes, 2013, p. 31.)

2.2.8. NTP 321.126 de etanol carburante

La presente norma técnica peruana, elaborada por el Comité Técnico de Normalización, especifica los requisitos de calidad de derivados de petróleo y combustibles líquidos, biocombustibles en el año 2011, posteriormente revisada en el 2017 (Inacal, 2017).

Tabla 12. NTP (Norma Técnica Peruana) 321 etanol-carburante.

Característica	Especificaciones	
	Mínimo	Máximo
Etanol anhidro, porcentaje en volumen	95,20	
Metanol, porcentaje en volumen		0,50
Contenido de agua, porcentaje en peso		0,30
Contenido desnaturalizante, porcentaje en volumen	2,00	3,00
Goma existente, lavada con solvente mg/100MI		5,00
Contenido de cloruros inorgánico, ppm (mg/L)		10,00
Apariencia	Claro, brillante, libre de contaminantes suspendidos o precipitados.	
Contenido e de cobre, mg/kg		0,10
Contenido de fosforo, mg/L		0,50
Acidez (ácido acético) (mg/L)		0,007
pH	6,50	9,00
Azufre, ppm		30,00
Sulfato total, ppm		4,00

Fuente: Tomado de "Norma Técnica Peruana 321. 126. (2009) y", Osinergmin, (2009).

2.3. Métodos de pretratamientos para la transformación de subproductos de biomasa lignocelulósica.

Un pretratamiento ideal es reducir el contenido de lignina, disminuyendo la cristalinidad de la celulosa en la siguiente tabla 13 se muestran diferentes métodos de pretratamientos, que facilitan la caracterización de materiales lignocelulósicos.

Tabla 13. Distintos tratamientos, el en desdoblamientos de compuestos inherentes en la materia orgánica (hidrólisis), para su posterior fermentación.

Pretratamientos Mecánicos		
Métodos	Ventajas	Desventajas
Trituración mecánica	El incremento del área superficial específica, reduce el grado de polimerización, este es un factor que incrementa los rendimientos del hidrolisis entre el 5–25% (dependiendo de la clase de biomasa, clase y duración de la molienda), también se disminuye el tiempo de digestión entre el 23–59% (así se incrementa la velocidad de la hidrolisis).	A pesar de no producirse inhibidores (como furfural y HMF (hidroximetilfurfural)), la molienda es ideal tanto para el metano y la producción de etanol. Sin embargo, esta operación requiere de alta consumo energético y se encontró este pretratamiento económicamente no viable
Ultrasonido		El efecto sobre la biomasa es muy superficial.
Pretratamientos térmicos		
Explosión de vapor	Hidrolisis de 80 al 100% de la hemicelulosa. Alta concentración de sólidos. Reducción del tamaño con menor gasto energético. Despolimerización baja de la celulosa y recuperación fácil de esta por lavado. La lignina inalterada se puede extraer.	Destrucción de una parte de los xilanos de las hemicelulasas. Incompleta rotura de la matriz lignina-carbohidratos. Generación de inhibidores que afectan el proceso de fermentación. Debe combinarse con H ₂ SO ₄ , SO ₄ o CO ₂ para mejorar la eficiencia.
Agua caliente líquida presurizada	Se recuperan la mayoría de las pentosas. Hidrolisis de la hemicelulosa de 80-100%. Baja o nula formación de inhibidores. Respecto al pretratamiento con vapor, este tiene la ventaja de solubilizar productos de hemicelulosa y lignina en concentraciones más bajas.	Debido a las bajas concentraciones se reduce el riesgo de degradación de productos como furfural y la condensación y la precipitación de compuestos de lignina.
Pretratamiento fisicoquímico		
Proceso de explosión de fibra con amoníaco (AFEX)	No se producen inhibidores. No requiere pequeños tamaños de partícula para aumentar su eficiencia.	No se solubiliza la hemicelulosa. La composición del material sometido a este proceso prácticamente no cambia. Solo es aplicable y efectivo hasta un 90% en materiales con contenidos de lignina menores a 15%.
Explosión con CO ₂	Es más barato que la explosión con amoníaco. No origina los compuestos inhibitorios que se originan durante la explosión por vapor.	Rendimientos relativamente bajos comparados con la explosión por vapor y el proceso AFEX.
Pretratamientos químicos		

Hidrolisis Ácida	Ácidos concentrados: se obtienen rendimientos de hidrolisis superiores al 90%. Ácidos diluidos: bajo consumo de ácidos; hidrolisis del 80 al 100% de la hemicelulosa; la temperatura alta favorece el hidrolisis de la celulosa.	Existe el riesgo de formación de inhibidores. Ácidos diluidos: Requiere altas temperaturas para alcanzar rendimientos aceptables de conversión de celulosa a glucosa; a pesar de las temperaturas altas.
Tratamientos con ozono	La eliminación efectiva de la lignina. No origina productos inhibidores.	Los altos costos por la cantidad de ozono requerido.
Hidrolisis con álcalis	Descenso del nivel de cristalización. Separación de las uniones estructurales entre la lignina y los carbohidratos. Rotura de la estructura de la lignina.	La efectividad de este pretratamiento depende del contenido de lignina del material a tratar, que debe ser máximo de 18%.
Oxidación húmeda	Este tratamiento tiene la ventaja de no generar prácticamente productos de degradación como el furfural, y HMF.	Durante un pretratamiento oxidativo una gran cantidad de azúcares se pierden, porque no es un proceso selectivo.
Tratamiento Con solventes Orgánicos	Solubilizarían de la lignina e hidrolisis de la hemicelulosa casi total.	Para reducir costos y evitar problemas en la posterior etapa de fermentación, se deben reciclar los solventes.

Pretratamientos biológicos

Tratamiento con hongos	Bajo requerimiento energético, producción del proceso a condiciones ambientales.	La tasa de hidrolisis es demasiado lenta.
------------------------	--	---

Fuente: Adaptado de, Riaño et al., (2010, p. 61).

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

- La hidrólisis ácida-enzimática de materiales lignocelulósicos proporciona azúcares reductores con un potencial adecuado para la producción de bioetanol.

2.4.2. Hipótesis específicas

- Si se caracteriza el material lignocelulósico se conocerá el potencial para producir bioetanol que tiene la cáscara de yacón y cáliz de aguaymanto.
- Si se optimiza la hidrólisis del material lignocelulósico, se logra reducir la biomasa en azúcares reductores para la generación de bioetanol.
- Si evaluamos las condiciones de fermentación se obtendrá el mayor volumen de bioetanol.

2.4.3. Operacionalización de variables

Tabla 14. Operacionalización de variables. Las variables independientes son los que se tienden a tener un control sea en temperatura, concentraciones y tiempo, por otro lado, las variables dependientes tienen un comportamiento que no se puede controlar (% de azúcares reductores, % de producto final).

Variables	Dimensión	Indicador
Variables para la hidrólisis ácida		
Independientes: X ₁ = Temperatura de hidrólisis X ₂ = Porcentaje de rumen	Temperaturas Concentraciones	X ₁₁ = 38 °C, X ₁₂ = 40°C X ₂₁ = 40%, X ₂₂ = 50%
Dependientes: Y ₁ = Porcentaje de azúcares reductores	Análisis químico	Y ₁₁ = g de azúcares reductores /100 g de muestra.
Variables para la fermentación		
Independientes: X ₁ = Temperatura de fermentación X ₂ = Porcentaje de rumen	Temperaturas Concentraciones	X ₁₁ = 38 °C, X ₁₂ = 40°C X ₂₁ = 40%, X ₂₂ = 50%
Dependientes: Y ₁ = Tiempo de fermentación	Tiempo	Y ₁ = Tiempo de fermentación (14 y 21 días)
Y ₂ = Porcentaje de bioetanol producido.	Análisis físico-químico.	Y ₂₂ = % de bioetanol

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Tipo y nivel de investigación

De acuerdo al tipo de investigación pertenece a: Tipo: Aplicada, porque está orientada a la aplicación del conocimiento científico, para generar conocimiento a través del uso diferentes parámetros en el proceso de hidrólisis y fermentación del material lignocelulósico (Rojas, 2014).

Nivel: Experimental, porque se manipuló las variables independientes.

3.2. Lugar de ejecución

El trabajo de investigación se realizó en el laboratorio del Instituto Tecnológico de la producción de Huánuco - UTA (Unidad Técnica Ambo) y el laboratorio físico-químico y no alimentario de la Carrera Profesional de Ingeniería Agroindustrial-UNHEVAL.

3.3. Población, muestra y unidad de análisis

3.3.1. Población

La población estudiada estuvo constituida por la cantidad total de residuos provenientes de empresas agroindustriales cáliz de aguaymanto y cáscara de yacón procedente de la empresa GOLDEN BERRY SA, KARBEL SAC Y ANDEAN SUPERFOOD SRL, ya que dichas empresas tienen volúmenes considerables aprox. ½ tonelada por producción semanal por procesamiento de deshidratado de aguaymantos y jarabe de yacón.

3.3.2. Muestra

El bioetanol producido en la Unidad Técnica Ambo. Se usó un total de 150 kg de cáliz de aguaymanto y 180 kg cáscara de yacón seco y molido para todas las pruebas repetidas que se hicieron, por cada muestra dilución de agua 1:6, concentración de rumen (40 y 50%), tiempo (14 y 21 días) y temperatura de fermentación (38, 40 °C), se empleó para las evaluaciones correspondientes y la caracterización.

3.3.3. Unidad de análisis

Caracterización del material lignocelulósicos (ceniza, humedad, fibra cruda, pH, acidez).

Porcentaje de azúcares reductores.

Caracterización del bioetanol producido.

3.4. Variables

3.4.1. Variables en la etapa de hidrólisis

Variables independientes

X_1 = Temperatura de hidrólisis 38 y 40 °C.

X_2 = Porcentaje de rumen 40 y 50%

Variable dependiente

Y_1 = Azúcares reductores (g de azúcares reductores /100 g de muestra)

3.4.2. Variables en la etapa de fermentación

Variables independientes

X_1 = Temperatura de fermentación: 38 y 40°C.

X_2 = Porcentaje de rumen 40 y 50%

Variable dependiente

Y_1 = Tiempo de fermentación

Y_2 = % de bioetanol

3.4.3. Variables intervinientes en etapa de hidrólisis

- Tiempo de hidrólisis ácida.
- Porcentaje de ácido sulfúrico.
- Porcentaje de hidróxido de sodio.

3.4.4. Indicadores (algunos de estos indicadores son variables dependientes)

- Tiempo de fermentación empleado.
- g de azúcares reductores/100 g de muestra.
- Porcentaje de bioetanol-

3.5. Tratamientos en estudios

Tabla 15. Se presenta los tratamientos evaluados en la hidrólisis ácida y proceso de fermentación, la temperatura utilizada con los tratamientos con rumen por un tiempo de 24 horas y 8 tratamientos para cada muestra en fermentación.

Tratamiento de neutralización.		
Temperatura	Tiempo	Reactivos
38°C	3horas	H ₂ SO ₄ 3% y NaOH 3%

Tratamiento de hidrólisis ácida		
Temperatura	%Rumen	Tiempo
38 y 40°C	40 y 50%	24 horas

Tratamiento de fermentación.		
Temperatura	%Rumen	Tiempo
38 y 40°C	40 y 50%	14 y 21 días

3.6. Prueba de hipótesis

3.6.1. Hipótesis nula

Ho: La caracterización del material lignocelulósico, los azúcares reductores después de la hidrólisis ácida de materiales lignocelulósicos y las condiciones en la fermentación no proporcionarán los resultados adecuados para la generación de bioetanol.

Ho: $T_1=T_2=T_3=T_4=T_5=T_6=T_7=T_8=0$

3.6.2. Hipótesis de investigación

Hi: La caracterización material lignocelulósico, los porcentajes de azúcares reductores después de hidrólisis ácida y la condiciones en la fermentación si proporcionarán resultados óptimos para la generación de bioetanol.

Hi: Al menos un $T_i \neq 0$

3.6.3. Datos a registrar

Los datos registrados son los que se obtuvieron en el CITE AGROINDUSTRIAL, UT AMBO y el laboratorio físico-químico de la Carrera Profesional de Ingeniería Agroindustrial-UNHEVAL, es decir la caracterización del material lignocelulósicos (cáliz de aguaymanto y cáscara de yacón), porcentaje de azúcares reductores y características físico químicas del bioetanol.

3.6.4. Técnicas de recolección y procesamiento de la información

Técnicas de investigación documental y bibliográfica

- **Análisis documental.** - Nos permitió el análisis del material y precisarlo desde un punto de vista formal y luego desde su contenido.
- **Análisis de contenido.** - Nos permitió estudiar y analizar de una manera objetiva y sistemática el documento leído.
- **Fichaje.** - Se usó para constituir el marco teórico y la bibliografía del trabajo de investigación.

3.6.4. Técnicas de campo

- **Observación.** - Nos permitió recolectar los datos directamente del proceso y los resultados del comportamiento del trabajo experimental para obtener los resultados y conclusiones del informe final.
Instrumentos de investigación documental. - Se utilizaron los siguientes datos. Fichas de investigación o documentación. Entrevistas a los ingenieros expertos en biocombustibles, especificaciones técnicas internacionales y nacionales del bioetanol, proceso de fermentación y obtención del bioetanol.
- **Fichas de registros o localización**

Artículos científicos. - Science direc, scielo, whiley, etc.

Tesis de investigación en temas relacionados de diferentes universidades y empresas.

- **Herramientas y presentación de los resultados**

Los datos obtenidos se ordenaron y procesaron con una computadora utilizando el programa de acuerdo al diseño de investigación propuesto (STATISTICS), análisis de varianza y diferencias estadísticas (MINITAB), libreta de apuntes y cálculo (Excel)

La presentación de los resultados se presentó en cuadros, tablas, gráficos utilizando el programa Word, Excel y PowerPoint.

3.7. Materiales y Equipos

3.7.1. Materia prima

Cáliz de aguaymanto y cáscara de yacón. Procedentes de las empresas agroindustriales de Huánuco, Karbel SAC, Andean Super food SRL y Golden Berry SAC.

3.7.2. Materiales

Los materiales utilizados en la presente investigación fueron: vasos precipitados de 100 ml, 250, 500 y 1000 ml, fioles de 100 y 250 ml, hornilla eléctrica, gradilla, probeta de 100ml, vagueta, embudo, espátula, pipeta, papel filtro y tissue, placas petri, campanas desecadoras, colador, recipientes de plástico, tela organza, termómetro y tubos de ensayo, bidones, mangueras.

3.7.3. Equipos de laboratorio utilizados

- **Incubadora:** eléctrica, modelo vertical de 25 litros, marca AGINSA, de procedencia peruana.
- **Balanza analítica:** eléctrica, modelo AE 163, marca METTER TOLEDO, de 0.001 g de sensibilidad, de procedencia alemana.
- **Estufa:** marca MERMET UNIVERSAL, modelo TV-90, alemana
- **pH-metro:** digital, modelo PEN TYPE PH, rango 0.00 - 14.00, de procedencia chino.
- **Refrigeradora:** de 180 litros de capacidad, marca ELECTRO LUX, de procedencia americana.
- **Secador:** flujo de aire continuo: De 500 kg, sin marca, procedencia prototipo.
- **Autoclave:** de 55 litros de capacidad, marca RAYPA, de procedencia España.
- **Destilador:** materiales de vidrio de laboratorio y prototipo diseñado por los tesisistas.
- **Mufla:** marca AVIBERT, de procedencia España.
- **Alcoholímetro:** marca AMBIK % volumen con termómetro integrado a 20°C.

- **Densímetro:** marca REL 1.0-2-0
- **Termómetro:** marca BBLOVE AET-R1D1

3.7.4. Material biológico

- **Rumen** (liquido ruminal del estómago de vacuno)
- **Levadura** (*Saccharomyces cerevisiae*). marca (Fruit de 500g)

3.7.5. Reactivos

- Hidróxido de sodio 3%, marca (Zeus 98.8% de pureza)
- Ácido sulfúrico 3%, marca (CICARELI 95-98%de pureza))
- Sulfato de sodio (Na_2SO_4), marca (Biopacck de 100g)
- Ácido clorhídrico N/10(Baker 38% de pureza)
- Fenolftaleína, éter de petróleo(S/N)
- Agua destilada (obtenido de la Escuela de Ingeniería Agroindustrial-Unheval)

3.7.6. Materiales de escritorio

- Cuaderno de registro, lapiceros, lápiz de carbón 2B, 1 millar de papel bond, A4 de 80 gramos, cámara fotográfica digital, cinta de embalaje, computadora, calculadora.

3.7.7. Diseño de la investigación

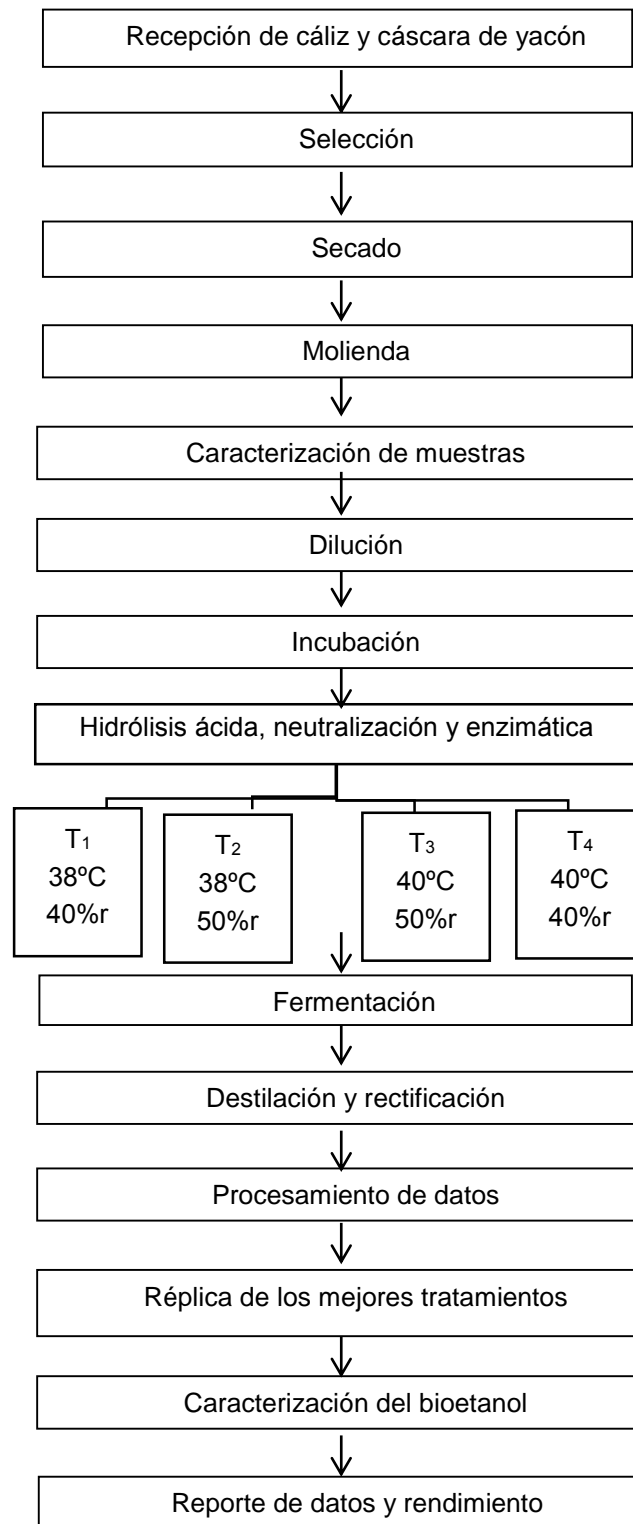


Figura 4. Diseño experimental para el trabajo de investigación(r=rumen).

Se obtuvo bioetanol a partir de cáscara de yacón y cáliz de aguaymanto, para encontrar dicha formulación se realizaron tratamientos aplicando 38 y 40 °C, 40 y 50 % rumen, diseño factorial 2² con puntos altos y bajos con 3 réplicas, se determinaron mediante la Metodología Superficie de Respuesta donde se encontró los mejores tratamientos, luego se determinaron azúcares reductores y finalmente se encontró el tiempo de fermentación óptimo de bioetanol encontrando características similares al bioetanol comercial.

3.8. Análisis estadístico

3.8.1. Prueba de metodología superficie de respuesta (MSR)

La MSR es la estrategia experimental y de análisis que permitió resolver el problema de encontrar las condiciones de operación óptimas de un proceso; es decir, aquellas que dan por resultado valores óptimos de una o varias características de calidad del producto (Muñoz et al., 2009).

En la MSR, es importante tener presente esta visión de las regiones de operabilidad y experimental; ya que, en principio, el punto óptimo que interesa encontrar pudiera localizarse en cualquier lugar de la región de operabilidad, dentro o fuera de la región experimental inicial. En procesos ya establecidos y muy estudiados, es de esperarse que dicho punto óptimo se encuentre no muy lejos de las condiciones de operación usuales, posiblemente dentro de la región experimental inicial. En cambio, cuando el proceso es nuevo o cuando se está escalando o rediseñando, es más probable que el punto de interés se ubique fuera de la primera región experimental propuesta para el experimento inicial, y en ese caso primero será necesario acercarse a dicho punto (Del Ángel et al., 2015).

3.8.2. Mejor tratamiento y punto óptimo

El mejor tratamiento o mejor combinación de niveles de los factores estudiados, y muchas veces éste resulta ser uno de los que se corrieron en el experimento. En particular, en diseños factoriales completos el mejor tratamiento es el tratamiento ganador, desde el punto de vista estadístico, de entre todos los que se probaron en el estudio. En cambio, el punto

óptimo implica que es la mejor combinación posible en toda la región de operabilidad (Muñoz et al., 2009).

3.8.3. Elementos de la MSR (Metodología Superficie de Respuesta)

La metodología de superficie de respuesta implica tres aspectos: diseño, modelo y técnica de optimización. El diseño y el modelo se piensan al mismo tiempo, y dependen del tipo de comportamiento que se espera en la respuesta. De manera específica, el modelo puede ser de primero o segundo orden (plano o con curvatura); por ello, el tipo de diseño utilizado y el modelo se clasifican, según sea el caso, como de primero o segundo orden (Del Ángel et al., 2015).

3.8.4. Diseño estadístico para la hidrólisis

Diseño factorial 2^2 con puntos altos y puntos bajos con 3 repeticiones.

Tabla 16. Valores reales y codificados de las variables independientes para el proceso de fermentación.

Variable	Nivel bajo	Nivel alto
Valores reales		
X ₁ Temperatura (°C)	38	40
X ₂ Rumen (%)	40	50
Valores codificados		
X ₁ Temperatura (°C)	-1	+1
X ₂ Rumen (%)	-1	+1

Tabla 17. Matriz codificada con tres repeticiones para el proceso de la hidrólisis para la obtención de bioetanol.

Réplicas	Niveles de Codificación		Producto obtenido
	X1	X2	% bioetanol
1	-1	-1	
1	1	-1	
1	-1	1	
1	1	1	
2	-1	-1	
2	1	-1	
2	-1	1	
2	1	1	
3	-1	-1	
3	1	-1	
3	-1	1	
3	1	1	

Letras de codificación de color negro, azul y rojo corresponden a las tres repeticiones con cáliz de aguaymanto y cáscara de yacón obtenidos en tres repeticiones.

Se caracterizaron ajustando un modelo a los datos experimentales. Los modelos que se utilizan en MSR son básicamente polinomios. De esta manera, si se tienen k factores (Muñoz et al., 2009).

El modelo aplicado, adaptado de Muñoz (2009) de primer orden está dado por:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^R \beta_i x_i + \varepsilon$$

El modelo aplicado de segundo orden es:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \beta_{ij} x_j X_j + \varepsilon$$

3.8.5. Diseño estadístico para el tiempo de fermentación

Diseño factorial 2^2 con puntos altos y puntos bajos con 3 repeticiones.

Tabla 18. Valores reales y codificados de las variables independientes para el tiempo de fermentación en días.

Variable	Nivel bajo	Nivel alto
Valores reales		
X ₁ Temperatura (°C)	38	40
X ₂ Rumen (%)	40	50
Valores codificados		
X ₁ Temperatura (°C)	-1	+1
X ₂ Rumen (%)	-1	+1

Tabla 19. Matriz codificada con tres repeticiones para el proceso de la fermentación para la obtención de bioetanol.

Réplicas	Niveles de Codificación		Producto obtenido
	X1	X2	Tiempo de fermentación (Días)
1	-1	-1	
1	1	-1	
1	-1	1	
1	1	1	
2	-1	-1	
2	1	-1	
2	-1	1	
2	1	1	
3	-1	-1	
3	1	-1	
3	-1	1	
3	1	1	

Letras de codificación de color negro, azul y rojo corresponden a las tres repeticiones con cáliz de aguaymanto y cáscara de yacón obtenidos en tres repeticiones

Se caracterizaron ajustando un modelo a los datos experimentales. Los modelos que se utilizan en MSR son básicamente polinomios. De esta manera, si se tienen k factores (Muñoz et al., 2009).

El modelo aplicado, adaptado de primer orden está dado por:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^R \beta_i X_i + \epsilon$$

El modelo aplicado de segundo orden es:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \beta_{ij} x_j X_j + \varepsilon$$

3.8.6. Técnicas de optimización

R². Los niveles codificados para los factores (-1, +1), facilitaron las interpretaciones y los cálculos. Las condiciones óptimas o la dirección de experimentación futura, primero se realizó en condiciones codificadas y después se tradujo a condiciones o niveles reales (Muñoz et al., 2009).

La técnica de optimización a utilizado mencionados por el tipo de modelo ajustado y existen básicamente tres métodos, que son:

- Escalamiento ascendente (o descendente).
- Análisis canónico.
- Análisis de cordillera.

3.8.7. Diseños de superficie de respuesta aplicado

Los diseños de superficie de respuesta se clasifican con base al grado del modelo a utilizar. Estos diseños proporcionaron que los tratamientos a correr generan datos que permiten ajustar un modelo que describa una variable de respuesta en una región experimental.

Propiedades desarrolladas:

- Generó una distribución satisfactoria de los puntos experimentales sobre la región experimental. Los diseños utilizados fueron puntos distribuidos de manera uniforme sobre la región experimental.
- El diseño tuvo varias corridas experimentales.
- El diseño permitió que otros diseños de orden mayor se construyan a partir de él. Esto permitió que, cuando el comportamiento de la respuesta resulta ser más complicado se agregan puntos adicionales al diseño para tratar de explicar ese comportamiento.
- El experimento permitió la detección de la falta de ajuste, para lo cual se realizó repeticiones al menos en el centro del diseño.
- El diseño proporcionó un estimador puro de la varianza del error, lo cual se logra con repeticiones en el punto central.

- El software utilizado es STATISTICA, nos proporcionó herramientas eficientes para el procesamiento de datos.

3.9. Conducción de la investigación

El presente trabajo de investigación, estuvo enfocado en la obtención de bioetanol. El procedimiento para la ejecución del presente trabajo de investigación constó de 4 etapas de estudio:

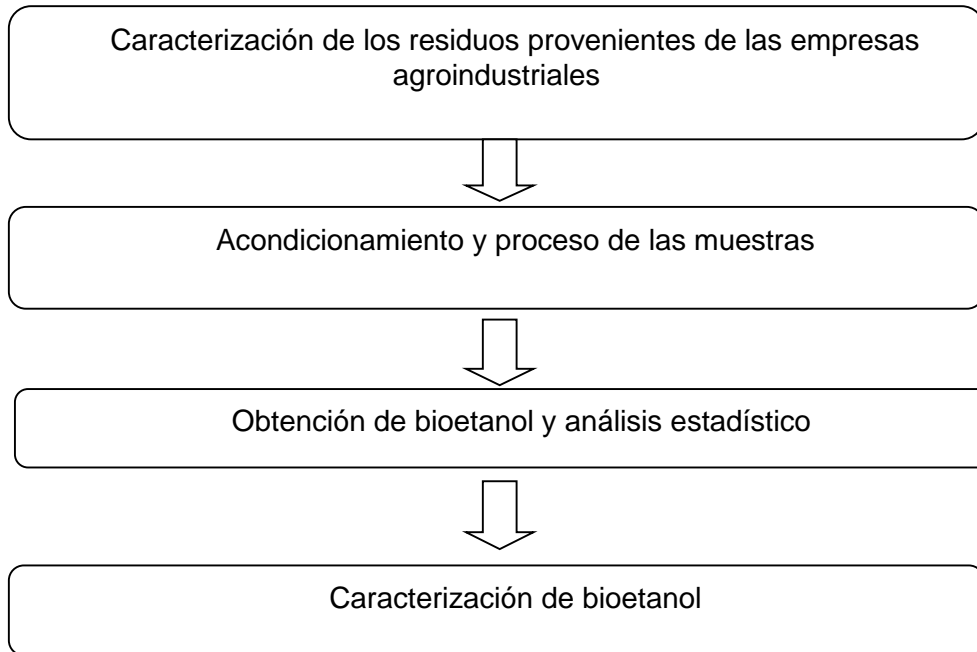


Figura 5. Esquema experimental de la investigación.

3.9.1. Procedimiento para la obtención de bioetanol

A continuación, en la figura 6, se muestra el flujograma de proceso aplicado para la obtención de bioetanol desde la obtención de cáliz de aguaymanto seco y molido hasta el almacenado del producto final.

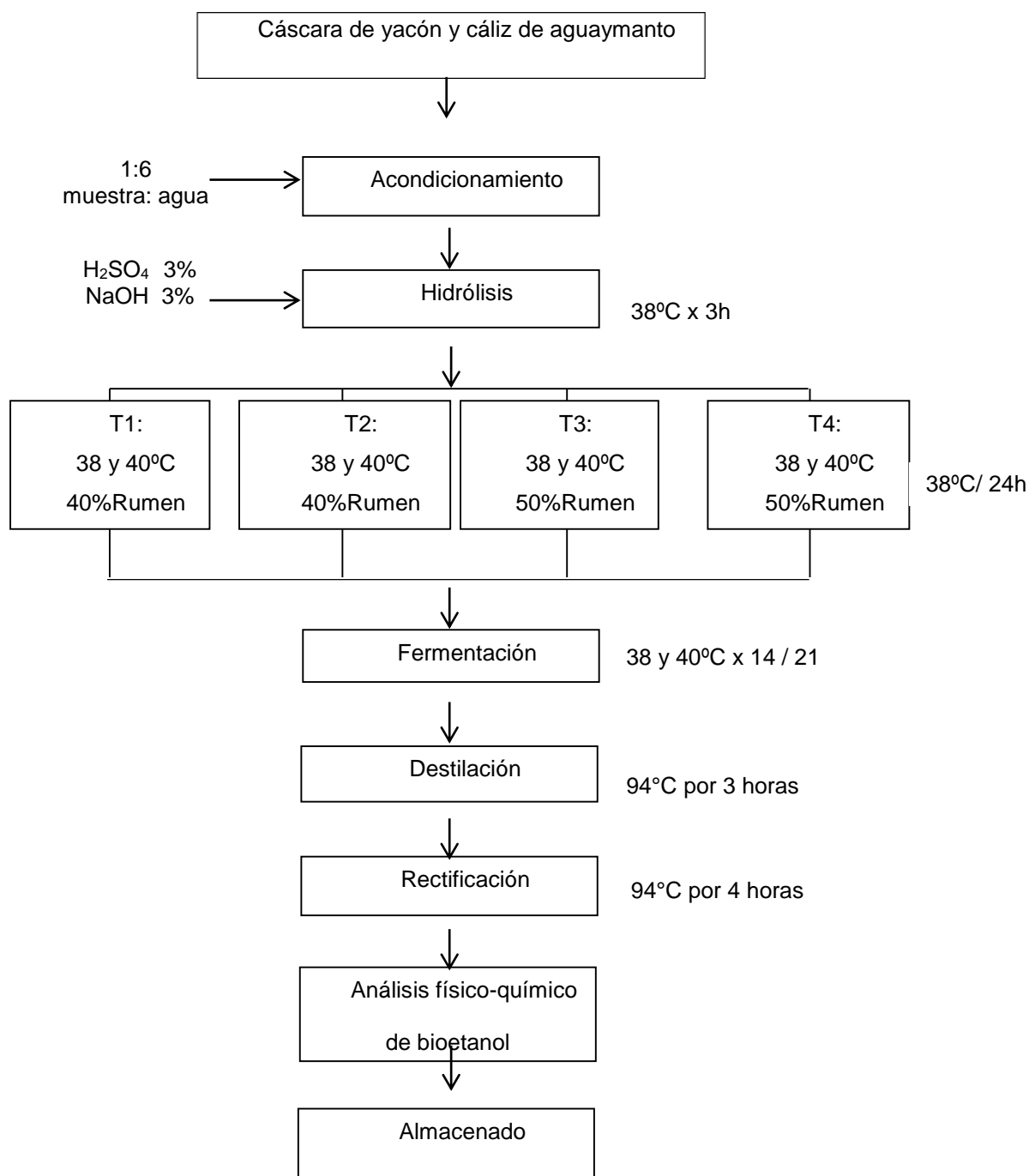


Figura 6. Flujograma de obtención de bioetanol de cáscara de yacón y cáliz de aguaymanto.

3.9.2. Descripción del proceso

- **Recepción del material lignocelulósico (Materia Prima)**

Los residuos se recolectaron en costales de 70 kg de las empresas GOLDEN BERRY SAC, ANDEAN SUPER FOOD SRL Y KARBEL SAC.

- **Lavado y desinfección**

Las cáscaras se trasladaron al ITP, Unidad Técnica Ambo, donde fueron lavados y desinfectados para eliminar las sustancias extrañas adheridas.

- **Secado**

Se realizó el secado a las materias primas en un secador de bandejas durante 16 horas a 80°C.

- **Molienda**

Se realizó la disminución de tamaño, hasta obtener materia cáliz de aguaymanto y cáscara de yacón en polvo, utilizando máquina moledora de granos.

- **Dilución**

Se realizó 1:6 para 8 muestras de cáscara yacón y 8 de cáliz de aguaymanto y se utilizó agua destilada.

- **Hidrólisis**

Para obtener el hidrolizado se realizó el pretratamiento con H_2SO_4 , y para neutralizar NaOH, durante 3 horas a temperatura de 38 y 40°C, luego se filtró y se agregó rumen a 40 y 50% y se dejó incubando durante 24 horas a temperatura de 38°C.

- **Fermentación**

Se activó la levadura *Saccaromyces cereviceae* y se agregó a la muestra hidrolizada, posterior a ello se puso a fermentar. a temperatura de 38 y 40°C.

- **Destilación**

Se acondicionó los materiales para la destilación, se realizó durante 5 horas a temperatura de ebullición.

- **Rectificación**

Esta etapa se rectificó el bioetanol obtenido en la destilación se realizó dos veces.

- **Análisis físico-químico**

Se evaluaron sus características físicas y químicas de bioetanol obtenido.

- **Almacenado**

Almacenar en un lugar fresco (14°C) y bien cerrado.

La elaboración de las muestras se realizó con 100g de cáscara molida de yacón y cáliz de aguaymanto por muestra, contando con 12 muestras en total. Se mezcló las muestras con agua en una proporción 1:6, se homogenizó, se realizó pretratamiento de hidrólisis ácida con 3 %v H₂SO₄ y se neutralizó con 3%v de NaOH previo balance estequiométrico, controlando tres horas cada proceso, posteriormente se filtró y se adicionó el rumen para la hidrólisis, se sometieron a cada tratamiento 38 y 40°C, 40 y 50 % rumen

3.9.3. Caracterización de cáliz de aguaymanto y cáscara de yacón.

- **Humedad:** Método (AOAC, 1997).
- **Cenizas totales:** Por incineración directa, (Matisseck 1992).
- **Fibra:** Por el método 7023, (AOAC 1984).
- **Acidez titulable:** Por titulación utilizando como indicador, fenolftaleína (AOAC 1997).
- **pH:** Método de potenciómetro (AOAC 1997).

3.10. Análisis del rumen.

- **Temperatura:** Mediante termómetro graduado °C (AOAC 1997).
- **pH:** Método de potenciómetro (AOAC 1997).
- **Microorganismos fermentables:** Método rápido (AOAC 997.02), (AOAC 2014.05).

3.11. Análisis antes de la hidrólisis.

- **pH:** Método de potenciómetro (AOAC 1997).

3.12. Análisis físico-químico después de la hidrólisis.

- **pH:** Método de potenciómetro (AOAC 1997).

- **Azúcares reductores:** Método Fehling Apara alimentos NMX-F-302-1985.

3.13. Caracterización del producto final

Análisis físico:

- **Apariencia:** Inspección visual.
- **Viscosidad:** Mediante el método ASTM D-446.
- **Color:** Inspección visual.
- **Densidad:** Mediante un densímetro graduado en densidades a 20°C, (AOAC 1997).

3.14. Análisis químico:

- **pH:** Método de potenciómetro (AOAC 1997).
- **Acidez titulable:** Por titulación utilizando como indicador, fenolftaleína (AOAC 1997).
- **Grados Gay Lussac:** Mediante densímetro de flotación graduado a 20°C, (AOAC 1997).

IV. RESULTADOS

4.1. Caracterización físico-química de la materia prima

Los resultados del análisis fisicoquímico realizado a la materia prima (cáliz de aguaymanto y cáscara de yacón) se muestran en la tabla 20.

Tabla 20. Características fisicoquímicas de las materias primas(residuo).

Características fisicoquímicas	Cáliz de aguaymanto	Cáscara de yacón
Ceniza (%)	6,18 ± 0,01 ^b	6,35 ± 0,08 ^a
Humedad (%)	9,53 ± 0,02 ^a	5,92 ± 0,03 ^b
Fibra cruda (%)	4,16 ± 0,06 ^a	3,06 ± 0,12 ^b
pH	5,00 ± 0,00 ^a	4,87 ± 0,02 ^b
Acidez(mg/100)	0,02 ± 0,01 ^b	0,08 ± 0,01 ^a
°Brix	0,00 ± 0,00 ^b	10,63 ± 0,46 ^a

Resultados expresados como promedio ± desviación estándar, n=3. Letras en superíndices indican diferencias estadísticas.

4.2. Análisis del rumen

Los resultados del análisis del rumen se presentan en la tabla 21, se utilizó rumen para la hidrólisis enzimática, analizado después de la recolección en el camal.

Tabla 21. Caracterización del rumen de vaca.

Características	Rumen
Temperatura	38°C± 0,01
Microorganismos fermentables*	<i>Ruminococcus flavefaciens</i> , <i>Lactobacillus vitulinus</i> y <i>Lactobacillus ruminus</i> .
pH	6,3± 0,01

*Los resultados de microorganismos fermentables se realizaron en el instituto Tecnológico de la producción en la provincia constitucional del Callao-Perú. Resultados de temperatura y pH expresados como promedio ± desviación estándar, n=3.

4.3. Análisis de pH de cáliz de aguaymanto y cáscara de yacón, previo a la hidrólisis ácida

A continuación, se muestran los resultados de la evaluación antes de la hidrólisis, donde se evaluaron 8 muestras de cáliz de aguaymanto y 8 de cáscara de yacón, por lo que se reporta un promedio de 3,2 en cáscara de yacón y 6,3 en cáliz de aguaymanto.

Tabla 22. Análisis de pH previo a la hidrólisis ácida.

Características	Cáliz de aguaymanto	Cáscara de yacón
pH	6,30 ± 0,01 ^a	3,23± 0,02 ^b

Resultados expresados como promedio ± desviación estándar, n=3. Letras en superíndices indican diferencias estadísticas.

4.4. Análisis de los mejores tratamientos, luego de la hidrólisis ácida

En la tabla 23, se muestran los resultados de azúcares reductores de los mejores tratamientos, esto se realizó después de la hidrólisis ácida, por lo que se reporta en cáscara de yacón, T₁(50% rumen, 40 °C, 21días) con 4,54g de azúcares por 100 gramos de muestra, T₂(40% rumen, 38°C, 14días) con 4,38g de azúcares por 100 gramos de muestra, T₃(40% rumen, 38°C, 21días) con 4,19g de azúcares por 100 gramos de muestra, T₄(40% rumen, 38°C, 14días) con 4,17g de azúcares por 100 gramos de muestra y en cáliz de aguaymanto T₁(40% rumen, 38°C, 21días) con 4,98g de azúcares por 100 gramos de muestra.

Tabla 23. Análisis de azúcares reductores después de la hidrólisis ácida.

Tratamientos	Cáscara de yacón (g/100g)	Cáliz de aguaymanto (g/100g)
T ₁	4,54 ± 0,04 ^a	4,98 ± 0,02
T ₂	4,38 ± 0,01 ^b	0,00
T ₃	4,19 ± 0,01 ^b	0,00
T ₄	4,17 ± 0,01 ^b	0,00
T ₅	0,00	0,00
T ₆	0,00	0,00
T ₇	0,00	0,00
T ₈	0,00	0,00

Resultados expresados como promedio ± desviación estándar, n=4 repeticiones. Letras en superíndice indican diferencias estadísticas en columna. T1(50% rumen,40°C, 21días), T2(40% rumen,38°C, 14días), T3(40% rumen,38°C, 21días), T4(40% rumen,38°C, 14días) y en cáliz de aguaymanto T1(40% rumen,38°C, 21días).

En la tabla 24, se muestran los resultados del pH, esto se realizó después de la hidrólisis ácida, por lo que se reporta en cáscara de yacón ocho tratamientos, y en cáliz de aguaymanto ocho tratamientos.

Tabla 24. Análisis de pH después de la hidrólisis ácida en cáscara de yacón y cáliz de aguaymanto.

Tratamientos	Cáscara de yacón	Cáliz de aguaymanto
T ₁	6,20 ± 0.10 ^b	5,50± 0,05 ^b
T ₂	6,51 ± 0.03 ^b	5,10± 0,05 ^b
T ₃	6,83 ± 0.06 ^a	5,40± 0,05 ^b
T ₄	6,10 ± 0,10 ^b	5,51± 0,15 ^a
T ₅	5,89 ± 0.06 ^b	5,00 ± 0,05 ^b
T ₆	5,21 ± 0.04 ^b	5,01± 0,08 ^b
T ₇	5,13 ± 0.01 ^b	5,00± 0,04 ^b
T ₈	5,83 ± 0.02 ^b	5,02± 0,01 ^b

Resultados expresados como promedio ± desviación estándar. Letras en superíndice indican diferencia estadística expresado en columna, n= 3 repeticiones cada tratamiento.

4.5. Obtención de bioetanol a partir de cáliz de aguaymanto y cáscara de yacón y análisis mediante superficie de respuesta

En la Tabla 25, se muestra los resultados de la obtención de bioetanol a partir de los diferentes tratamientos de fermentación.

Tabla 25. Obtención de bioetanol a partir de cáliz de aguaymanto y cáscara de yacón.

Réplicas	Codificador	Codificador	Temperatura	Rumen	Bioetanol (%)	
	X1	X2	(°C)	(%)	Cáscara de yacón	Cáliz de aguaymanto
1	-1	-1	38	40	15	13
1	1	-1	40	40	5	0
1	-1	1	38	50	10	0
1	1	1	40	50	10	0
2	-1	-1	38	40	14	12
2	1	-1	40	40	2	0
2	-1	1	38	50	11	0
2	1	1	40	50	11	0
3	-1	-1	38	40	17	14
3	1	-1	40	40	6	0
3	-1	1	38	50	10	0
3	1	1	40	50	9	0

En la **Figura 7** se muestra la superficie de respuesta de la producción de bioetanol mediante la fermentación con rumen de vaca.

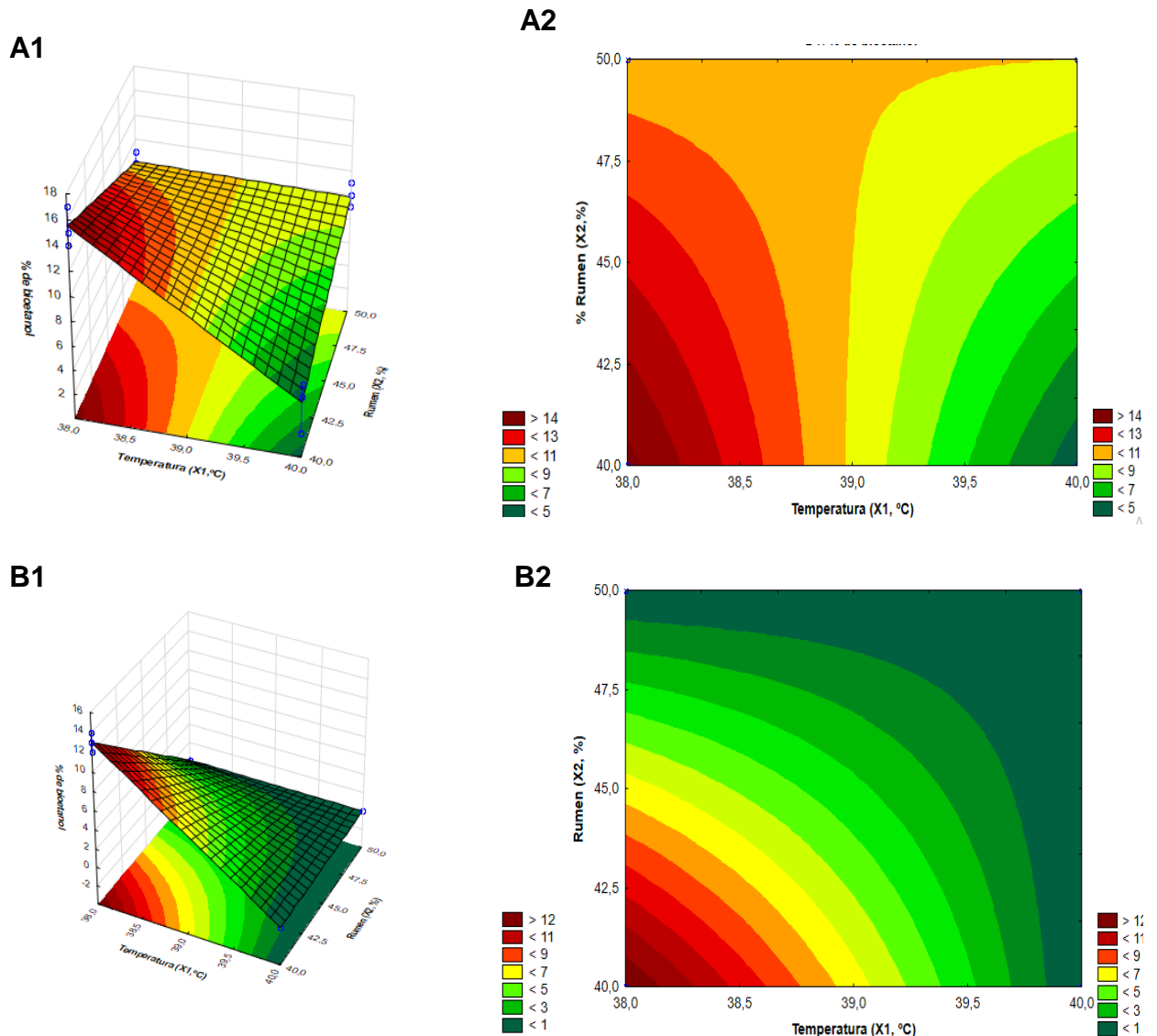


Figura 7. Producción de bioetanol (%) a partir de cáscara de yacón (A) y cáliz de aguaymanto (B). A1 y B1) Gráfico de superficie de respuesta; A2 y B2) Gráfico bidimensional.

Como se puede apreciar en la figura 8 A, el valor máximo del porcentaje de bioetanol se encuentra en la región de color rojo representa la combinación de temperatura (38-38,1°C) y porcentaje de rumen (40-40,5%) y para el cáliz de aguaymanto (B) con temperatura entre 38-38,3°C y porcentaje de rumen (40-42%) que representan valores óptimos para obtener la mayor cantidad de bioetanol

Al realizar el análisis de varianza (Anexos, tabla 30 y 31), para cáscara de yacón, se obtuvo que los efectos principales de temperatura fueron significativos ($p < 0,05$), mientras que los porcentajes de rumen no fueron significativos ($p > 0,05$), pero sí la interacción entre la temperatura y porcentaje de rumen ($p < 0,05$); mientras que para el cáliz de aguaymanto, ambos factores y la interacción fueron significativos ($p < 0,05$). Esto se puede corroborar con el diagrama de Pareto, el cual se muestra en la Figura 9, donde se puede observar que la temperatura y la interacción entre temperatura y % de rumen son significativos, mientras que el % de rumen no es significativo.

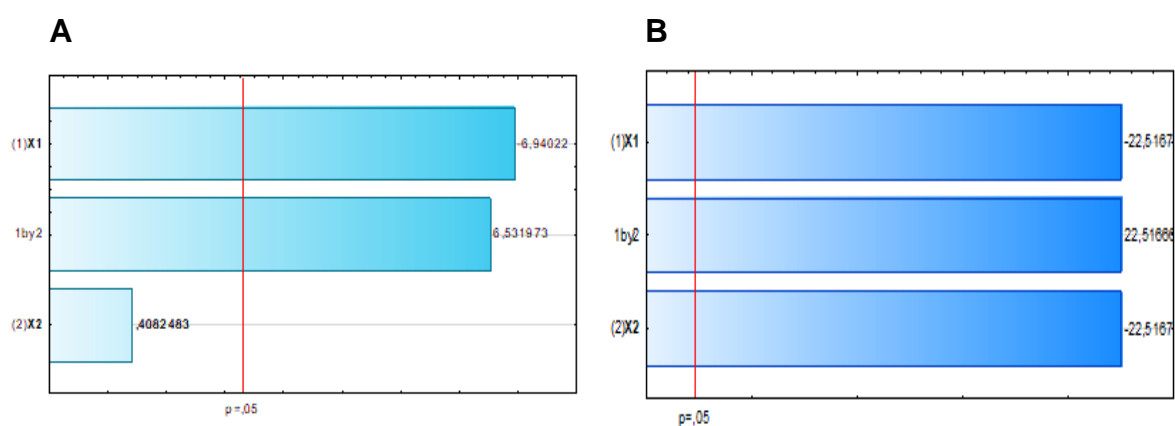


Figura 8. Diagrama de Pareto para el porcentaje de bioetanol obtenido por la fermentación con rumen de vaca A) Cáscara de yacón B) Cáliz de aguaymanto.

Derivado de los análisis de superficie de respuesta, se obtuvieron ecuaciones matemáticas, los cuales se muestran en:

$$Z = 10 - 2,83x + 0,167y + 2,667xy + 0$$

$$z = 3,25 - 3,25x - 3,25y + 3,25xy + 0$$

Tabla 26. Tiempo de fermentación (días) a partir de cáliz de aguaymanto y cáscara de yacón fermentado a 38 y 40 °C.

Réplicas	Codificador	Codificador	Temperatura	Rumen	Tiempo de fermentación (Días)	
	X1	X2	(°C)	(%)	Cáscara de yacón	Cáliz de aguaymanto
1	-1	-1	38	40	21	21
1	1	-1	40	40	14	0
1	-1	1	38	50	14	0
1	1	1	40	50	21	0
2	-1	-1	38	40	21	21
2	1	-1	40	40	14	0
2	-1	1	38	50	14	0
2	1	1	40	50	21	0
3	-1	-1	38	40	21	21
3	1	-1	40	40	14	0
3	-1	1	38	50	14	0
3	1	1	40	50	21	0

En la **Figura 9** se muestra la superficie de respuesta del tiempo de fermentación.

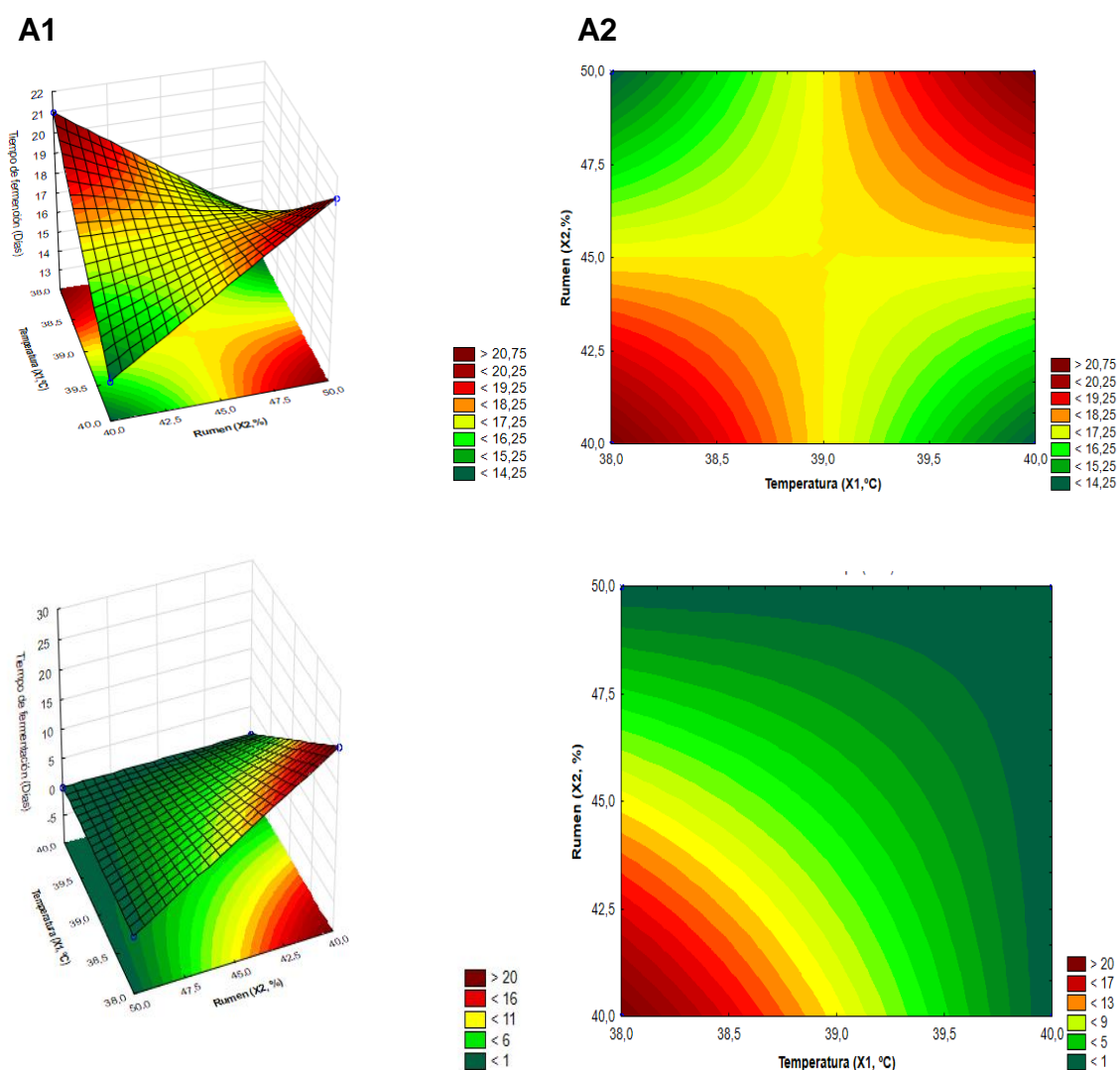


Figura 9. Tiempo de fermentación (Días) con cáscara de yacón (A) y cáliz de aguaymanto (B). A1 y B1) Gráfico de superficie de respuesta; A2 y B2) Gráfico bidimensional.

Como se puede apreciar en la figura 9 A, el valor máximo del porcentaje de bioetanol se encuentra en la región de color rojo representa la combinación de temperatura (38-38,3°C) y porcentaje de rumen (40-41,5%) y para el cáliz de aguaymanto (B) con temperatura entre 38-38,2°C y porcentaje de rumen (40-41,5%) que representan valores óptimos para obtener la mayor cantidad de bioetanol.

Derivado de los análisis de superficie de respuesta, se obtuvieron ecuaciones matemáticas, los cuales se muestran en:

$$z=5,25-5,25x-5,25y+5,25xy+0 / z=17,5+x+y+3,5xy+0$$

4.6. Análisis del producto final

En la tabla 28 se muestra los análisis físico-químico del producto final de los mejores tratamientos, en cáscara de yacón, T₁(50% rumen, 40°C, 21días), T₂(50% rumen, 38°C, 14días), T₃(40% rumen, 38°C, 21días), T₄(40% rumen, 40°C, 14días) y en cáliz de aguaymanto T₁(40% rumen, 38°C, 21días).

Tabla 28. Análisis físico-químico del bioetanol destilado obtenido por fermentación de cáscara de yacón y cáliz de aguaymanto.

Características físicas	Análisis físico				
	Cáscara de yacón				Cáliz de aguaymanto
	T1	T2	T3	T4	T1.1
Apariencia	Claro	Claro Brillante	Claro brillante	Claro	Claro Brillante
Viscosidad (MPa a 25°)	1,043 ± 0,00 ^d	1,060 ± 0,00 ^b	1,066 ± 0,00 ^a	1,050 ± 0,00 ^c	1,070 ± 0,00
Color	Incoloro-con partículas suspendidas	Incoloro	Incoloro	Incoloro con partículas suspendidas	Incoloro
Densidad(kg/m ³)	689,9 ± 0,14 ^c	730,6 ± 0,10 ^b	780,4 ± 0,06 ^a	506,5 ± 0,26 ^d	726,9 ± 0,28
Características químicas	Análisis químico				
	Cáscara de yacón				Cáliz de aguaymanto
	T1	T2	T3	T4	T1.1
pH	6,15±0,05 ^b	5,89 ±0,13 ^c	6.73±0,07 ^a	5.60±0,14 ^d	6,45±0,07
Acidez titulable (mg/100)	0,05 ±0,01 ^b	0,05±0,01 ^b	0,07±0,00 ^a	0,05±0,00 ^b	0,07±0,01
Grados Gay Lussac(°GL)	10,00±1,00 ^b	10,00±0,00 ^b	14,67±0,5 ^a	4,67±0,58 ^c	13,00 ±1,00

Resultados expresados como promedio ± desviación estándar, n=3 repeticiones por tratamiento. Letras en superíndice indican diferencias estadísticas.

4.7. Rendimiento en proceso y operación de los mejores tratamientos

En las siguientes tablas se muestran los movimientos de materia involucrada en cada etapa del proceso para la obtención de rendimiento de bioetanol, en los mejores tratamientos, T₁(50% rumen, 40°C, 21días), T₂(50% rumen, 38°C, 14días), T₃(40% rumen, 38°C, 21días), T₄(40% rumen, 40°C, 14días) y en cáliz de aguaymanto T₁(40% rumen, 38°C, 21días).

Tabla 29.1. Muestra los movimientos de las cantidades de materia que entran y salen en operaciones en procesos para determinar el rendimiento en tratamiento uno (T₁)

Operación	Movimiento			Continua (g)	Operación	Proceso
	Inicio (g)	Ingreso (g)	Salida (g)		%	%
Recepción de biomasa seca molida	100,0			100,0	100,0	100,0
Adición de agua	100,0	600,0		700,0	700,0	700,0
Homogenizado	700,0			700,0	100,0	700,0
Hidrólisis ácida	700,0	18,0		718,0	102,6	718,0
Neutralizado	718,0	18,0		736,0	102,5	736,0
Filtrado	736,0			736,0	100,0	736,0
Adición de rumen	736,0	368,0		1104,0	150,0	1104,0
Fermentado	1104,0	5,0		1109,0	100,5	1109,0
Destilado	1109,0		550,0	559,0	50,4	559,0
Rectificado	559,0		430,0	129,0	23,0	129,0

Tabla 29.2. Muestra los movimientos de las cantidades de materia que entran y salen en operaciones en procesos para determinar el rendimiento en tratamiento dos (T₂).

Operación	Movimiento				Operación	Proceso
	Inicio (g)	Ingreso (g)	Salida (g)	Continua (g)	%	%
Recepción de biomasa seca molida	100,0			100,0	100,0	100,0
Adición de agua	100,0	600,0		700,0	700,0	700,0
Homogenizado	700,0			700,0	100,0	700,0
Hidrólisis ácida	700,0	18,0		718,0	102,6	718,0
Neutralizado	718,0	18,0		736,0	102,5	736,0
Filtrado	736,0			736,0	100,0	736,0
Adición de rumen	736,0	368,0		1104,0	150,0	1104,0
Fermentado	1104,0	5,0		1109,0	100,5	1109,0
Destilado	1109,0		540,0	569,0	51,3	569,0
Rectificado	569,0		400,0	169,0	29,7	169,0

Tabla 29.3. Muestra los movimientos de las cantidades de materia que entran y salen en operaciones en procesos para determinar el rendimiento en tratamiento tres (T₃).

Operación	Movimiento				Operación	Proceso
	Inicio (g)	Ingreso (g)	Salida (g)	continua (g)	%	%
Recepción de biomasa seca molida	100			100,0	100,00	100,00
Adición de agua	100,0	600,0		700,0	700,0	700,0
Homogenizado	700,0			700,0	100,0	700,0
Hidrólisis ácida	700,0	18,0		718,0	102,6	718,0
Neutralizado	718,0	18,0		736,0	102,5	736,0
Filtrado	736,0			736,0	100,0	736,0
Adición de rumen	736,0	294,4		1030,4	140,0	1030,4
Fermentado	1030,4	5,0		1035,4	100,5	1035,4
Destilado	1035,4		550,0	485,4	46,9	485,4
Rectificado	485,4		400,0	85,0	17,5	85,0

Tabla 29.4. Muestra los movimientos de las cantidades de materia que entran y salen en operaciones en procesos para determinar el rendimiento en tratamiento cuatro (T₄).

Operación	Movimiento				Operación	Proceso
	Inicio (g)	Ingreso (g)	Salida (g)	Continua (g)	%	%
Recepción de biomasa seca molida	100			100,0	100,00	100,00
Adición de agua	100,0	600,0		700,0	700,0	700,0
Homogenizado	700,0			700,0	100,0	700,0
Hidrólisis ácida	700,0	18,0		718,0	102,6	718,0
Neutralizado	718,0	18,0		736,0	102,5	736,0
Filtrado	736,0			736,0	100,0	736,0
Adición de rumen	736,0	294,4		1030,4	140,0	1030,4
Fermentado	1030,4	5,0		1035,4	100,5	1035,4
Destilado	1035,4		550,0	485,4	46,9	485,4
Rectificado	485,4		410,0	75,4	15,5	75,4

Tabla 29.5. Muestra los movimientos de las cantidades de materia que entran y salen en operaciones en procesos para determinar el rendimiento en tratamiento 1 de cáliz de aguaymanto (T₁).

Operación	Movimiento				Operación	Proceso
	Inicio (g)	Ingreso (g)	Salida (g)	Continua (g)	%	%
Recepción de biomasa seca molida	100			100,0	100,00	100,00
Adición de agua	100,0	1000,0		1100,0	1100,0	11000,0
Homogenizado	1100,0			1100,0	100,0	1100,0
Hidrólisis ácida	1100,0	30,0		1130,0	102,7	1130,0
Neutralizado	1130,0	30,0		1160,0	102,5	1160,0
Filtrado	1160,0			1160,0	100,0	1160,0
Adición de rumen	1160,0	464,0		1624,0	140,0	1624,0
Fermentado	1624,0	5,0		1629,0	100,3	1629,0
Destilado	1629,0		750,0	879,0	53,9	879,0
Rectificado	879,0		680,0	199,0	22,6	269,0

V. DISCUSIÓN

En esta investigación, obtención de bioetanol a partir de residuos lignocelulósicos (cáliz de aguaymanto y cáscara de yacón) provenientes de empresas agroindustriales por hidrólisis ácida, se pudo obtener etanol anhidro en T₁(50% rumen, 40°C, 21días) =10°GL, T₂(50% rumen, 38°C, 14días) =10°GL, T₃(40% rumen, 38°C, 21días) =15°GL, T₄(40% rumen, 40°C,14días) =5 °GL y en cáliz de aguaymanto T₁(40% rumen, 38°C, 21días) =13°GL. Esto quiere decir, que los residuos tienen materiales lignocelulósicos que tienden a fermentarse cuando se realiza la hidrólisis ácida, es decir, genera bioetanol a partir de cáscara de yacón y cáliz de aguaymanto. Leturia, 2015 refieren que la selección residual y la cantidad de celulosa muestra el rendimiento de bioetanol. En tal sentido, bajo lo referido anteriormente y al analizar estos resultados confirmamos que la cantidad de azúcares reductores muestra el porcentaje de bioetanol

A partir de los hallazgos encontrados en la caracterización del material lignocelulósico aceptamos la hipótesis específica, se pudo obtener en cáscara de yacón seco y molido: ceniza 6.367%, humedad 5.93%, fibra cruda 3.01%, pH 4.87, acidez 0.079(mg/100), °Brix 10.1; en cáliz de aguaymanto: ceniza 6.181%, humedad 9.53%, fibra cruda 4.20%, pH 5, acidez 0.0186(mg/100), °Brix 10.1; y en rumen: temperatura 38°C, microorganismos fermentables *Ruminococcus flavefaciens*, *Lactobacillus vitulinus* y *Lactobacillus ruminus*, pH 6.367. Dichos resultados que al ser comparados con lo encontrado por Águila (2015). Quienes determinaron los componentes de la cáscara de yacón reportando fibra de 4 a 6%, 4 a 7% de cenizas, 10 a 12 sólidos solubles. Como también, Mendoza (2015) destaca la fibra cruda 5% en cáliz de aguaymanto. Por otro lado, Castillo (2014) infieren que, dentro del rumen los microorganismos coexisten en un entorno reducido y a un pH cercano a la neutralidad, ya que la temperatura del contenido ruminal debe oscilar entre 38 y 40° C para estar asociadas a la fermentación activa, las bacterias del rumen que degradan carbohidratos complejos son capaces de fermentar algunos azúcares simples, asimismo el *Ruminococcus flavefaciens* puede fermentar la

glucosa, aunque pueden utilizar celobiosa de forma eficiente. Por lo consiguiente también, Del Rosario (2009), quien concluyó que las especies celulolíticas (*Lactobacillus vitulinus* y *Lactobacillus ruminus*) del rumen utilizan algunos de los azúcares y celulodextrinas que se liberan durante la degradación de la celulosa para fermentar. Con estos resultados se afirma que las características realizadas están dentro del rango al analizar con resultados de los autores.

Respecto a la segunda parte de la hipótesis específica evaluar las condiciones de hidrólisis y fermentación para la producción de bioetanol aceptamos la hipótesis específica, los resultados obtenidos fueron 4 mejores tratamientos en cáscara de yacón de 8 muestras, resultado del análisis estadístico superficie de respuesta, el cual se encontró diferencias estadísticamente significativas ($p \geq 0,05$) en las variables evaluadas, T₁(50% rumen, 40°C, 21días), T₂(40% rumen, 38°C, 14días), T₃(40% rumen, 38°C, 21días), T₄(40% rumen, 38°C, 14días) y la hidrólisis ácida con 3% de SO₄ y 3% NaOH para neutralizar y 1 tratamiento en cáliz de aguaymanto de 8 muestras, T₁(40% rumen, 38°C, 21días) y la hidrólisis ácida durante 24 horas con 3% de SO₄ y 3% NaOH para neutralizar. Datos que al ser comparados con lo encontrado por Riaño (2010), concluye que en los ácidos concentrados se obtienen rendimientos de hidrólisis superiores al 90% y en ácidos diluidos bajo del 80% de la hemicelulosa. Se requiere de altas temperaturas para alcanzar rendimientos aceptables de conversión de celulosa a glucosa porque la efectividad de este pretratamiento depende del contenido de lignina del material a tratar, que debe ser máximo de 18%.

Según el objetivo específico, determinar azúcares reductores después de hidrólisis ácida, los resultados obtenidos con cáscara de yacón T₁(50% rumen, 40°C, 21días) con 4,54g de azúcares/100g de muestra, T₂(40% rumen, 38°C, 14días) con 4,38g de azúcares/100g de muestra, T₃(50% rumen, 38°C, 21días) con 4,19g de azúcares/100g de muestra, T₄(40% rumen, 40°C, 14días) con 4,17g de azúcares/100g de muestra y en cáliz de aguaymanto T₁ (40% rumen, 38°C, 21días) con 4,98g de azúcares/100g de muestra. Estos resultados guardan estrecha relación

con lo que sostiene Arellano (2015), la cantidad de celulosa contenida en los materiales lignocelulósicos es el potencial principal para generar biocombustibles. Así también, Águila (2015), reporta que el yacón contiene fructooligosacáridos frutanos 6.20, un tipo particular de azúcares de baja digestibilidad, lo que hace que se fermente con más prontitud sus azúcares. Por otro lado, Castillo (2014), menciona que el cáliz contiene varios compuestos entre los que destacan celulosa. De igual forma, Águila (2015), menciona que el contenido de azúcares consiste principalmente en inulina un polímero de la fructosa con un 60% de azúcares reductores. Del mismo modo, Leturia (2015), que las materias primas con azúcares reductores más de 5g es la base para obtener alcohol. Con estos resultados podemos inferir que la cantidad de azúcares es, la clave para obtener la cantidad de alcohol ello es acorde con lo que en este estudio se halla.

En lo que respecta la caracterización del etanol, en cáscara de yacón, los resultados mostrados en la tabla 23 y 24 muestran; T₁ apariencia claro, viscosidad 1.042, color incoloro con partículas suspendidas, densidad 689.4 Kg/m³, pH 6.1, acidez titulable 0.05 (mg/100), 10°GL; T₂ apariencia claro brillante, viscosidad 1.060, color incoloro, densidad 730,6 Kg/m³, pH 5.9, acidez titulable 0.06 (mg/100), 10°GL; T₃ apariencia claro brillante, viscosidad 1.067, color incoloro, densidad 780.4 Kg/m³, pH 6.7, acidez titulable 0,07 (mg/100), 15°GL; T₄ apariencia clara, viscosidad 1.050, color incoloro, densidad 506.5 Kg/m³, pH 5,5, acidez titulable 0,05 (mg/100), 5°GL y en cáliz de aguaymanto; T₁ apariencia clara, viscosidad 1.070, color incoloro con partículas suspendidas, densidad 726.9 Kg/m³, pH 6.4, acidez titulable 0.06 (mg/100), 13°GL. Estos resultados son corroborados por la NTP 321.126 de etanol quienes normalizan los estándares mencionando que debe ser la apariencia claro brillante, color incoloro con partículas suspendidas, acidez 0.007(mg/L), etanol 95.20 °GL. Como también, Cunza (2011), en su empresa indican las características primordiales que se debe realizarse antes de comercializar el etanol pH 6.5-9, densidad 791.5-792 Kg/m³, grado alcohólico a 20°C 96 °GL, acorde con D1613, D6423, NTP 321.126.2009 y ASTM. En tal

sentido, bajo lo estandarizado y al analizar estos resultados se encuentran en un rango aceptable dentro de las normas establecidas.

VI. CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos planteados y resultados obtenidos en la investigación se concluye lo siguiente

- Se concluye que a partir del material lignocelulósico usado (cáliz de aguaymanto y cáscara de yacón) con temperaturas y % de rumen óptimo en la hidrólisis y un proceso de fermentación controlado en días, se obtiene un producto con características propias a bioetanol.
- La caracterización fisicoquímica de los residuos lignocelulósicos, permitieron conocer los componentes activos, ya que estas ofrecieron un mejor resultado en los tratamientos.
- En cuanto a los azúcares reductores se concluyó que después de la hidrólisis ácido, los resultados de los azúcares fueron positivamente influidos en la obtención del bioetanol.
- Se evaluó satisfactoriamente los parámetros de hidrólisis y tiempo de fermentación, teniendo una relación congruente con los parámetros de las investigaciones citados en la bibliografía.

VII. RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados, discusiones y conclusiones de la investigación, planteamos las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda trasladar el rumen en un material que permita mantener la temperatura del rumen, cuando baja la temperatura puede haber pérdida de microorganismos fermentables y fermentar el sustrato en más tiempo.
- Se recomienda utilizar temperaturas de fermentación controlada, ya que esto conlleva a la obtención de resultados fallidos.
- Se recomienda utilizar para cáliz de aguaymanto parámetros cercanos a 40% rumen, 38°C, 21 días, porque se descartaron otros parámetros utilizados en la investigación.
- Se recomienda el uso de reactivos controlados con los protocolos de seguridad adecuados, ya que una manipulación inadecuada puede llevar a ciertos peligros. El uso de reactivos va depender del residuo a utilizar, porque cada residuo tiene diferente porcentaje de lignocelulosa.
- Se recomienda controlar la temperatura de fermentación, porque de ello va depender el tiempo de fermentación, en lugares cálidos la fermentación se realiza en menos días y en lugares fríos en más tiempo.
- Se recomienda detectar el punto espejo para la posterior destilación del mosto. Cuando el mosto fermentado está en el punto espejo quiere decir que está listo para destilar.
- Se recomienda el uso de equipos menos rudimentarios, debido a que los distintos ejemplos de investigaciones realizadas dan como buenos resultados con métodos y equipos medianamente avanzados
- Tener un control detallado sobre la materia prima a utilizar, como por ejemplo realizar una caracterización adecuada en este caso cáliz de aguaymanto y cascara de yacón, del mismo modo llevar un control específico de los insumos como el líquido ruminal y los reactivos químicos.

- Tener en cuenta la metodología a utilizar, que este sea el adecuado o que se ajuste al proyecto planteado, con el fin de darle un mejor resultado a en el momento de la culminación de investigación, puesto que existen metodología que ayudaran a una mejora significativa y hacer uso de métodos estadísticos adecuados que ayuden a optimizar los resultados obtenidos.

VIII. LITERATURA CITADA

- Abascal, R. L. (2017). Estudio de la obtención de bioetanol a partir de diferentes tipos de biomasa lignocelulósica. Matriz de reacciones y optimización. 74.
- Aguila, R. A. M. (2015). IMPLENTACION AL VACIO FLUCTOOLIGOSACARIDOS DE YACON. 133.
- Aguilar, A., & Aguilar, D. (2017). Nuevos paradigmas en la cosecha de la caña para el uso sustentable de la biomasa en la bioeléctrica. Parte II. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, vol. 51, núm. 1, enero-abril, 2017, pp. 8-15, 9.
- Arellano, C. (2015). Obtención de bioetanol a partir de materiales lignocelulósicos sometidos a hidrólisis enzimática. 89.
- Arelovich, H. M. (2008). Elementos minerales. Su impacto en la fermentación ruminal. Revista Argentina de Producción Animal 28 (3): 235-253 (2008), 19.
- Bes, K., Lemões, J. S., Silva, C. F. L., Silva, S. D. dos A., Bes, K., Lemões, J. S., Silva, C. F. L., & Silva, S. D. A. (2019). Extração e caracterização da lignina proveniente do pré-tratamento de biomassa para produção de etanol de 2a geração. Engenharia Sanitaria e Ambiental, 24(1), 55-60. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522019156352>
- Camargo, N., & Williams, D. (2012). Using agricultural waste for the production of biofuels (departamento del Meta—Colombia). Tecnura, 16(34), 142-156.
- Castillo, A. R., Burrola-Barraza, M. E., Domínguez-Viveros, J., & Chávez-Martínez, A. (2014). Rumen microorganisms and fermentation. Archivos

de medicina veterinaria, 46(3), 349-361. <https://doi.org/10.4067/S0301-732X2014000300003>

Castillo Lop E., & Dominguez, M. G. (2019). Factors that affect the ruminal microbial composition and methods to determine microbial protein yield. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 10(1). <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i1.4547>

Cuervo, L., Folch, J. L., & Quiroz, R. E. (2009). Lignocelulosa Como Fuente de Azúcares Para la Producción de Etanol. 13(3), 16.

Del Ángel, M. T., García, P., Lagunes, L. M., García, R., & Cabrera, E. G. (2015). APLICACIÓN DE METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA PARA LA DEGRADACIÓN DE NARANJA DE METILO CON TiO₂ SOL-GEL SULFATADO. 1, 8.

Del Rosario Blanco, M. D. R. (2009). BACTERIAS RUMINALES. 5.

Domínguez, S. (2016). Perú puede ser una potencia en la exportación de etanol. *El Peruano*, Recuperado el 24 de Mayo de 2017, 86.

Elahi, A., & Rehman, A. (2018). Bioconversión de materiales hemicelulósicos en etanol por la levadura *Pichia kudriavzevii* 2-KLP1 aislada de residuos industriales. *Revista argentina de microbiología*, 50(4), 417-425. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2017.07.008>

Escalante, J., & Fuentes, H. (2013). ESTUDIO EXPERIMENTAL DE OBTENCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE RESIDUOS AGRÍCOLAS DE BANANO ORGÁNICO EN PIURA. *Univ de Piura*, 31-140.

Garea, A., & Abascal, R. (2017). ESTUDIO DE LA OBTENCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE DIFERENTES TIPOS DE BIOMASA LIGNOCELULÓSICA. MATRIZ DE REACCIONES Y OPTIMIZACIÓN. 01(01), 76.

- Gonzales et al, Y. (2015). Obtención de azúcares fermentables desde residuos de cartón para cultivar levaduras de interés biotecnológico. Vol.6 (28): 88-105, 18.
- Grilli, D., Egea, V., Lama, S. P., Carcaño, D., Allegretti, L., Escudero, M. S., & Arenas, G. N. (2015). Degradación y utilización de la hemicelulosa contenida en especies forrajeras por *Pseudobutyrvibrio ruminis* y *Pseudobutyrvibrio xylanivorans*. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, 14.
- GrupoRomero, G. (2015). Caña Brava. Caña Brava. http://www.gruporomero.com.pe/es-PE/empresas/cana_brava/
- Guerrero, C. (2011). Aislamiento de Bacterias ruminales degradadoras de celulosa. 90.
- Inacal. (2017). El Centro de Información y Documentación (CID) del Inacal, servicio de e-Alerta de normas técnicas peruanas. Resolución Directoral N° 002-2017-INACAL/DN (2017-02-14), 12.
- Leturia, M. L. S., Febres, L. M. C., Leturia, M. L. S., & Febres, L. M. C. (2015a). Caracterización de biomasa residual de la región Arequipa para la producción de biocombustibles. Enfoque UTE, 6(4), 42-54. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v6n4.77>.
- Leturia, M. L. S., Febres, L. M. C., Leturia, M. L. S., & Febres, L. M. C. (2015b). Caracterización de biomasa residual de la región Arequipa para la producción de biocombustibles. Enfoque UTE, 6(4), 42-54. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v6n4.77>

- Manrique, I., Párraga, A., & Hermann, M. (2003). Jarabe de yacón: Principios y procesamiento. Michael Hermann, Centro Internacional de la Papa Oscar A. Hidalgo, Agro Consult International S.A.C., 40.
- Marcelo, Y. F., Rodríguez, M. L., Álvarez, G. M., Mendoza, J. C. D., -Ortiz, A. D., bañez-Fuentes, M.-L., & Cabañas, K. T. (2011). Selección de hongos aislados de bagazo de caña con actividad celulasa sobre celulosa cristalina para posibles aplicaciones industriales. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, 11.
- Marrero, Y., Rodríguez, D., Galindo, J., & Aldama, A. I. (2017). Población microbiana ruminal e indicadores fermentativos en bovinos que consumen caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) y concentrado. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, vol. 41, núm. 2, 2007, pp. 149-156 Instituto de Ciencia Animal, 41, 9.
- Martínez, B., Herrera, F., & Peralta, L. (2009). Sensor Virtual Adaptable de Concentración de Etanol para Fermentadores Industriales. Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI, 6(3), 61-67. [https://doi.org/10.1016/S1697-7912\(09\)70265-1](https://doi.org/10.1016/S1697-7912(09)70265-1)
- Mendoza, J. C., & Xenia Enma. (2015). INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DE SECADO EN LA DEGRADACIÓN TÉRMICA DEL ÀCIDO ASCORBICO EN EL AGUAYMANTO (*Physalis peruviana* L). 124.
- Mussatto, S. I., Dragone, G., Fernandes, M., Rocha, G. J. M., & Roberto, I. C. (2006). EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS DE HIDRÓLISIS ÁCIDA E HIDRÓLISIS ALCALINA EN LA ESTRUCTURA DEL BAGAZO DE MALTA PARA LIBERACIÓN DE FIBRAS DE CELULOSA. 10.

- Osinermin, E. G. en J., & Vásquez, A. (2017). La industria de la energía renovable en el Perú: 10 años de contribuciones a la mitigación del cambio climático. Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, Osinermin, 2017, Primera edición: febrero 2017, 157.
- Puerta, M. F. P. (2011). CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y MOLECULAR DE MATERIALES DE YACÓN (*Smallanthus sonchifolius* Poep. & Endl) H. Robinsón COLECTADOS EN LA ECO REGIÓN EJE CAFETERO DE COLOMBIA. 92.
- Quintero Mora, L. P., Martínez Castilla, Y., Velasco Mendoza, J. A., Arévalo Rodríguez, A., Muñoz, Y. A., & Urbina Suarez, N. A. (2015). Evaluation of ethanol production from potato, cassava and orange wastage in discontinuos cultivation using *Saccharomyces cerevisiae*. Revista ION, 28(1), 43-53.
- Riaño, A. M. S., Morales, A. I. G., Hernández, J. A. M., & Barrero, C. A. R. (2010). Producción de bioetanol a partir de subproductos agroindustriales lignocelulósicos. Tumbaga, 1(5), 61-91.
- Rojas, M. (2014). Tipos de Investigación científica: Una simplificación de la complicada incoherente nomenclatura y clasificación. REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria, 16(1), 15.
- Santamaria, I. H. (2014). DISEÑO DE UN BIOREACTOR PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE DESECHOS ORGÁNICOS A ESCALA DE LABORATORIO. 72.
- Santillana, J., & Salinas, J. (2016). ETANOL COMBUSTIBLE EN EL PERU, ACTUALIZACION AL AÑO 2015/2016. Educación en Ingeniería Química.

<http://ssecoconsulting.com/etanol-combustible-en-el-peru-actualizacion-al-antildeo-20152016.html>

Talla, Á., & Vicente, N. (2018). 5. Osmo deshidratación del aguaymanto (*Physalis peruviana*). *APORTE SANTIAGUINO*, 11, 55.
<https://doi.org/10.32911/as.2018.v11.n1.456>

Tejada, C., Villabona, Á., Marimón Bolívar, W., Madariaga, N., Tarón Dunoyer, A., Tejada, L., Castillo-Saldarriaga, C., Henao, D., & Alvear-Alayón, M. (2010). Producción de bioetanol a partir de la fermentación alcohólica de jarabes glucosados derivados de cáscaras de naranja y piña. Publicada en línea por la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería - ACOFI- www.acofi.edu.co, 5, 6.

Vásquez, A., De la Cruz, R., & Coello, F. (2016). Los Biocombustibles: Desarrollos recientes y tendencias internacionales. Gerencia de Políticas y Análisis Económico – Osinergmin, Segunda versión: Noviembre 2016, 101.

Vásquez, C. B. B., Ruiz, C. M. R., & Torres, C. A. L. (2015). EVALUACIÓN DE LOS PRINCIPALES RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS AGROINDUSTRIALES DEL DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD, PERÚ COMO POTENCIALES MATERIAS PRIMAS PARA LA OBTENCIÓN DE BIOETANOL. *ARNALDOA*, 22(1), 225-232-232.
<https://doi.org/10.22497/191>

Velásquez, H. I., Ruiz, A. A., & Junior, S. de O. (2010). Análisis energético y exergético del proceso de obtención de etanol a partir de la fruta del banano. 11.

- Zamora, T., Prado-Fuentes, A., Capataz-Tafur, J., Barrera-Figueroa, B. E., & Peña-Castro, J. M. (2014). Demostraciones prácticas de los retos y oportunidades de la producción de bioetanol de primera y segunda generación a partir de cultivos tropicales. *Educación Química*, 25(2), 122-127. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(14\)70534-8](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(14)70534-8)
- Zapata, A. M., & Pelaez, J. (2010). Producción en continuo de etanol a partir de banano de rechazo (cáscara y pulpa) empleando células inmovilizadas. *Tumbaga*, 1(5), 49-60.

ANEXO 01

Recolección del residuo



Figura 11. Recepción de materia prima (cáliz de aguaymanto).



Figura 12. Recepción de materia prima (cáscara de yacón).

Análisis de la cáscara de yacón y cáliz de aguaymanto



Figura 13. Análisis de ceniza de cáliz de aguaymanto y cáscara de yacón.



Figura 14. Análisis de fibra cruda

Hidrólisis



Figura 15. Filtrado de rumen



Figura 16. Proceso de hidrólisis ácida.



Figura 17. Proceso de neutralización



Figura 18. Proceso de acondicionamiento de muestra

Proceso de fermentación



Figura 19. Activación de levadura



Figura 20. Proceso de incubación



Figura 21. Proceso de fermentación

Proceso de destilación y rectificación

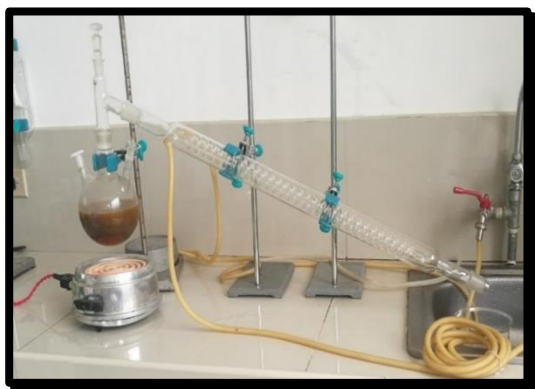


Figura 22. Proceso de destilación nivel laboratorio



Figura 23. Proceso de destilación nivel planta piloto.

Producto final



Figura 24. Bioetanol

Tabla 30. Análisis de varianza para la variable porcentaje de bioetanol en cáscara de yacón.

ANOVA; Var:% de bioetanol; R-sqr=0,91919; Adj:,88889 (Spreadsheet in Workbook1)

2**(2-0) design; MS Residual=2, DV: % de bioethanol

Factor	SS	Df	MS	F	P
(1) Temperatura °C	96,33	1,00	96,33	48,17	0,00
(2) Rumen %	0,33	1,00	0,33	0,17	0,69
1 by 2	85,33	1,00	85,33	42,67	0,00
Error	16,00	8,00	2,00		
Total SS	198,00	11,00			

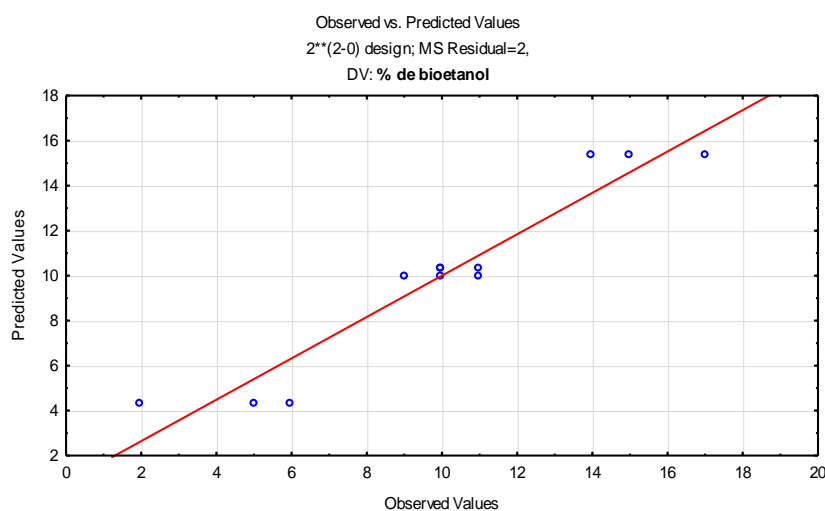


Figura 25. Linealidad de los valores experimentales con los predichos para el porcentaje de bioetanol a partir de cáscara de yacón.

Tabla 30.1. Coeficiente de regresión para predecir el porcentaje de bioetanol de cáscara de yacón, según el modelo secundario seleccionado.

Factor	Coeficiente de regresión	Error Puro	t8	p	-95%	95%
Mean/Interc.	10,00	0,41	24,49	0,00	9,06	10,94
(1) Temperatura °C	-2,83	0,41	-6,94	0,00	-3,77	-1,89
(2) Rumen %	0,17	0,41	0,41	0,69	-0,77	1,11
1 by 2	2,67	0,41	6,53	0,00	1,73	3,61

Tabla 31. Análisis de varianza para la variable porcentaje de bioetanol en cáliz de aguaymanto.

ANOVA; Var.:% de bioetanol; R-sqr=,99477; Adj:,99281 (Spreadsheet in Workbook2) 2**(2-0) design; MS Residual=,25 DV: % de bioethanol

Factor	SS	Df	MS	F	P
(1) Temperatura °C	126,75	1,00	126,75	507,00	0,00
(2) Rumen %	126,75	1,00	126,75	507,00	0,00
1 by 2	126,75	1,00	126,75	507,00	0,00
Error	2,00	8,00	0,25		0,00
Total SS	382,25	11,00			

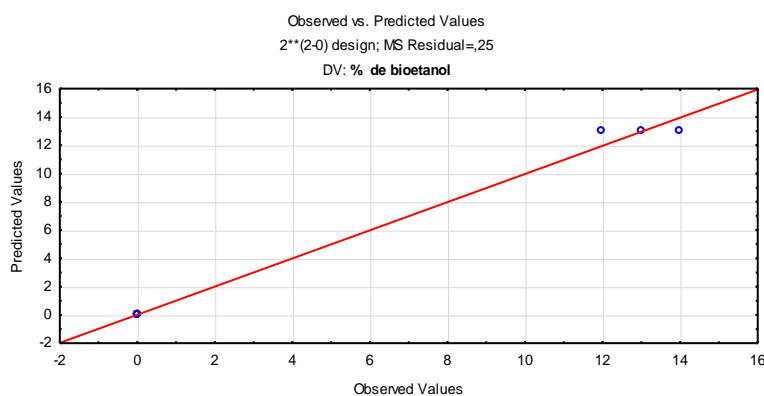


Figura 26. Linealidad de los valores experimentales con los predichos para el porcentaje de bioetanol a partir de cáliz de aguaymanto.

Tabla 31.1. Coeficiente de regresión para predecir el porcentaje de bioetanol de cáliz de aguaymanto, según el modelo secundario seleccionado.

Factor	Coeficiente de regresión	Error Puro	P	-95%	95%	-95%
Media/Interacción	3,25	0,14	22,52	0,00	2,92	3,58
(1) Temperatura °C	-3,25	0,14	-22,52	0,00	-3,58	-2,92
(2) Rumen %	-3,25	0,14	-22,52	0,00	-3,58	-2,92
1 by 2	3,25	0,14	22,52	0,00	2,92	3,58

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

<u>Factor</u>	<u>N</u>	<u>Media</u>	<u>Agrupación</u>
Ceniza. Cáscara de yacón_2	3	6,3933	A
Ceniza. Cáliz de aguaymanto_2	3	6,18000	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

<u>Factor</u>	<u>N</u>	<u>Media</u>	<u>Agrupación</u>
pH. Cáliz de aguaymanto	3	5,00000	A
pH. Cáscara de yacón	3	4,8700	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

<u>Factor</u>	<u>N</u>	<u>Media</u>	<u>Agrupación</u>
Humedad. Cáliz de aguaymanto_3	3	9,5300	A
Humedad. Cáscara de yacón_3	3	5,9233	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

<u>Factor</u>	<u>N</u>	<u>Media</u>	<u>Agrupación</u>
Fibra. Cáliz de aguaymanto__4	3	4,1667	A
Fibra. Cáscara de yacón_4	3	3,0667	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

<u>Factor</u>	<u>N</u>	<u>Media Agrupación</u>
Acidez. Cáscara de yacón_5	3	0,07667 A
Acidez. Cáliz de aguaymanto__5.	3	0,020000 B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

<u>Factor</u>	<u>N</u>	<u>Media Agrupación</u>
°Brix. Cáscara de yacón_6	3	10,637 A
°Brix. Cáliz de aguaymanto__6	3	0,000000 B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Figura 27. Diferencia estadística de resultados de las características físicoquímico realizado a la materia prima (cáliz de aguaymanto y cáscara de yacón).

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

<u>Factor</u>	<u>N</u>	<u>Media Agrupación</u>
Cáliz de aguaymanto	3	6,3000 A
Cáscara de yacón	3	3,2267 B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Figura 28. Diferencia estadística de pH previo a la hidrólisis ácida con cáliz de aguaymanto y cáscara de yacón.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

<u>Factor</u>	<u>N</u>	<u>Media Agrupación</u>
T1- Cáliz de aguamanto	3	4,9800 A
T1-Cáscara de yacón	3	4,5467 B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Figura 29. Diferencia estadística de azúcares reductores en cáliz de aguaymanto y cáscara de yacón.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

<u>Factor</u>	<u>N</u>	<u>Media</u>	<u>Agrupación</u>
T1-CÁSCARA DE YACÓN	3	6,2000	A
T1-CÁLIZ DE AGUAYMANTO	3	5,4667	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

<u>Factor</u>	<u>N</u>	<u>Media</u>	<u>Agrupación</u>
T2-CÁSCARA DE YACÓN_2	3	6,5167	A
T2-CÁLIZ DE AGUAYMANTO_2	3	5,0667	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

<u>Factor</u>	<u>N</u>	<u>Media</u>	<u>Agrupación</u>
T3-CÁSCARA DE YACÓN_3	3	6,8333	A
T3-CÁLIZ DE AGUAYMANTO_3	3	5,3667	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

<u>Factor</u>	<u>N</u>	<u>Media</u>	<u>Agrupación</u>
T4-CÁSCARA DE YACÓN_4	3	6,1000	A
T4-CÁLIZ DE AGUAYMANTO_4	3	5,4667	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Figura 30. Diferencia estadística de cuatro tratamientos de pH después de la hidrólisis ácida con cáliz de aguaymanto y cáscara de yacón.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

<u>Factor</u>	<u>N</u>	<u>Media</u>	<u>Agrupación</u>
T3	3	1,06600	A
T2	3	1,06067	B
T4	3	1,050	C
T1	3	1,04300	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Factor	N	Media	Agrupación
T3.	3	780,367	A
T2.	3	730,600	B
T1.	3	689,893	C
T4.	3	506,800	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Factor	N	Media	Agrupación
T3,	3	0,07000	A
T2,	3	0,05667	B
T1,	3	0,05333	B
T4,	3	0,05167	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Factor	N	Media	Agrupación
T.3.	3	14,667	A
T.2.	3	10,00	B
T.1.	3	10,000	B
T.4.	3	4,667	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Tabla 32. Producción de bioteabol simulado a partir de los modelos matemáticos obtenidos derivados de los análisis de superficie de respuesta.


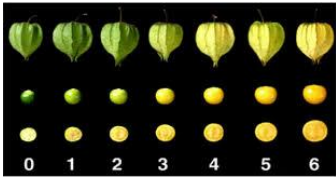
Temperatura	Rumen	Bioetanol (%)	
		Cáscara de yacón	Cáliz de aguaymanto
(°C)	(%)		
46	15	99,3	-
46	20	95,0	-
45	20	93,0	-
45	21	92,0	-
39	31	-	85,0
38	35	-	78,0



Tabla 32. Rendimiento de bioetanol

Tratamiento	Cantidad de muestra	Grado alcohólico obtenido	Cantidad de bioetanol sin rectificar(g)	Cantidad de bioetanol rectificado (70°)	Rendimiento en porcentaje(%)
T1(cy*)	100g	10	505	125	24,8
T2(cy*)	100g	10	435	55	12,8
T3(cy*)	100g	14,6	435	55	12,8
T4(cy*)	100g	5	435	55	12,8
T1,1(ca*)	100g	13	460	96	17,6-

*cy, cáscara de yacón. *ca, cáliz de aguaymanto.

ANEXO 02

FICHA TÉCNICA DEL AGUAYMANTO	
Fecha: Setiembre del 2020	Versión: 2020
Nombre científico	<i>Physalis peruviana</i>
Zona de origen	Acomayo, Ambo, Huácar
Variedad	Andina y dorada.
Procedencia	Karbel SAC, Golden Berry SA, y Andean Super Food SRL.
Características biométricas del fruto.	Diámetro 1.8 cm; peso 3.45 g; ancho 2,42 cm; altura 2,44cm.
Características biométricas del cáliz.	
Descripción físico-químico del cáliz de aguaymanto.	Ceniza (%) 6,18; pH 5,00; acidez total (mg/100 g) 0,02; humedad (%) 9,53; solidos solubles (°Brix) 0,00.
Características organolépticas del fruto.	Forma de globo u ovoide color amarillo variando a ocre o amarillo naranja cuando madura, su piel es delgada y lustrosa, está recubierta con un cáliz, sabor agridulce.
Composición nutricional del fruto.	<p>Proteína 0.3-1.5; grasa 0.15-0.5 g; carbohidratos 11.0-19.6 g; fibra 0.4-4.9g; carotenos 16 mg; tiamina 0.1-0.18 mg; riboflavina 0.03-0.18 mg; niacina 0.8-1.7 mg; vitamina C 20-43 mg; potasio 210-467 mg; magnesio 7-19 mg; calcio 2-28 mg; fosforo 27-55.3 mg; hierro 0.3-1.2 mg; Zinc 0.28-0.40 mg.</p> 
Estado de madurez del aguaymanto.	<p>Estado de madurez entre 3 a 6</p> 

FICHA TÉCNICA DEL YACÓN		
Fecha: Setiembre del 2020		Versión: 2020
Nombre científico	<i>Smallanthus sonchifolius</i>	
Zona de origen	Chinchao, Ambo, Huácar, San Francisco de Cayran	
Variedad	Blanca, Anaranjada y Morada	
Procedencia	Golden Berry SA, y Andean Super Food SRL.	
Características biométricas del yacón.	Tubérculos fusiformes, peso de 200 a 500 gr, 25 cm de largo y 10 cm de diámetro.	
Descripción físico-químico del yacón residual.	Ceniza 6,35(%); Humedad 5,92 (%); Fibra cruda 3,06 (%); pH 4,87; Acidez(mg/100) 0,08; °Brix 10,63.	
Características organolépticas del yacón.	Cáscara de color canela al marrón oscuro, dentro pueden ser de color blanco, amarillo, morado, naranja, y algunas veces con puntos fucsia, piel áspera, semi-gruesa, sabor dulce y olor característico.	
Composición nutricional del yacón.	Por cada (100g). 54 calorías; 12.5 gr de carbohidratos; 0.3 gr de proteínas; 86.6 gr de agua; 0.3 gr de grasas; 0.5 gr de fibra dietéticas.	
Estado de madurez del yacón.	Maduro sazón y maduro.	

ANEXO 03



"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para mujeres y hombres"
"Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia"

Ambo, 02 de enero de 2021.

Carta N° 001-2021

Señora:

Vanessa Orizano Acuña

Huánuco.-

ASUNTO : Sobre Tesis "Aprovechamiento de cálica de aguaymanto (*Physalis peruviana*) y cascara de yacón (*Smallanthus sanchifolius*) para la producción de bioetanol".

Reciba usted un cordial saludo a nombre de la Unidad Técnica Agroindustrial Ambo. El motivo de la presente es para dar constancia que la Tesis "Aprovechamiento de cálica de aguaymanto (*Physalis peruviana*) y cascara de yacón (*Smallanthus sanchifolius*), fue realizada en coordinación con la Unidad Técnica Agroindustrial Ambo y los tesisistas: Vanesa Orizano Acuña y Hector Valdivia Espinoza, egresados de la Carrera Profesional de Ingeniería Agroindustrial, de la Universidad Nacional Hermilio Valdivia. Al respecto cabe mencionar que la tesis fue revisada por los especialistas de la Unidad Técnica Agroindustrial Ambo, razón por la cual se determina que se encuentra apta para la sustentación.

Atentamente

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA PRODUCCIÓN
CITE Agroindustrial Huánuco

Ing. Juan Carlos Barrantes
Coordinador General CITE Ambo

CITEagroindustrial
U.T. Ambo

EL PERÚ PRIMERO



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

En la ciudad de Huánuco a los 18 días del mes de enero del año 2021, siendo las 4:30 pm. horas de acuerdo al Reglamento de Grado Académico y Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias y a la directiva de sustentación virtual de tesis, aprobada con Resolución Consejo Universitario N°0970-2020-UNHEVAL, del 29.MAY.2020, se reunieron en la Plataforma del Cisco Webex de la UNHEVAL los miembros integrantes del Jurado de tesis designados con Resolución N° 001-2021-UNHEVAL-FCA-D, del 13. Enero del .2021, para proceder con la evaluación de la sustentación de la tesis titulada: **“APROVECHAMIENTO DE CÁLIZ DE AGUAYMANTO (*Physalis peruviana*) Y CÁSCARA DE YACÓN (*Smallanthus sonchifolius*) PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL”** presentado por la Bachiller en Ingeniería Agroindustrial: **Vanesa Orizano Acuña**, bajo el asesoramiento del Dr. **Juan Edson Villanueva Tiburcio**.

El Jurado de tesis está integrado por los siguientes docentes:

Mg. Roger Estacio Laguna	Presidente
Dr. Rubén Max Rojas Portal	Secretario
Dr. Ángel David Natividad Bardales	Vocal
Mg. Fleli Ricardo Jara Claudio	Accesitario

Finalizado el acto de sustentación, luego de la deliberación y verificación del calificativo por el Jurado, se obtuvo el siguiente resultado: Aprobado..... por unanimidad..... con el cuantitativo de dieciocho..... y cualitativo de muy buena, quedando el sustentante...apto.... para que se le expida el **TÍTULO DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL**.

El acto de sustentación se dio por concluido, siendo las 18:30 horas.

Huánuco, 18 de enero del 2021

Mg. Roger Estacio Laguna
Presidente del Jurado de Tesis
Resolución N° 001-2021-UNHEVAL/FCA-D

Dr. Rubén Max Rojas Portal
Secretario del Jurado de Tesis
Resolución N° 001-2021-UNHEVAL/FCA-D

Dr. Ángel David Natividad Bardales
Vocal del Jurado de Tesis
Resolución N° 001-2021-UNHEVAL/FCA-D

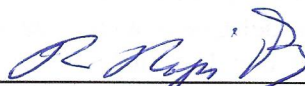
- Deficiente (11, 12, 13) Desaprobado
- Bueno (14, 15, 16) Aprobado
- Muy Bueno (17, 18) Aprobado
- Excelente (19, 20) Aprobado

OBSERVACIONES:

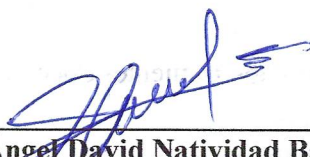
Ninguno



Mg. Roger Estacio Laguna
Presidente del Jurado de Tesis
Resolución N° 001-2021-UNHEVAL/FCA-D



Dr. Rubén Max Rojas Portal
Secretario del Jurado de Tesis
Resolución N° 001-2021-UNHEVAL/FCA-D



Dr. Ángel David Natividad Bardales
Vocal del Jurado de Tesis
Resolución N° 001-2021-UNHEVAL/FCA-D

Huánuco, 18 de enero del 2021

LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES:

Huánuco, ____ de ____ del 20__

PRESIDENTE

SECRETARIO

VOCAL



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
HUANUCO - PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

En la ciudad de Huánuco a los 18 días del mes de enero del año 2021, siendo las 4:30 horas de acuerdo al Reglamento de Grado Académico y Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias y a la directiva de sustentación virtual de tesis, aprobada con Resolución Consejo Universitario N°0970-2020-UNHEVAL, del 29.MAY.2020, se reunieron en la Plataforma del Cisco Webex de la UNHEVAL los miembros integrantes del Jurado de tesis designados con Resolución N° 001-2021-UNHEVAL-FCA-D, del 13. Enero del .2021, para proceder con la evaluación de la sustentación de la tesis titulada: "APROVECHAMIENTO DE CÁLIZ DE AGUAYMANTO (*Physalis peruviana*) Y CÁSCARA DE YACÓN (*Smallanthus sonchifolius*) PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL" presentado por la Bachiller en Ingeniería Agroindustrial: **Héctor Valdizán Espinoza**, bajo el asesoramiento del Dr. **Juan Edson Villanueva Tiburcio**.

El Jurado de tesis está integrado por los siguientes docentes:

Mg. Roger Estacio Laguna	Presidente
Dr. Rubén Max Rojas Portal a	Secretario
Dr. Ángel David Natividad Bardales	Vocal
Mg. Fleli Ricardo Jara Claudio	Accesitario

Finalizado el acto de sustentación, luego de la deliberación y verificación del calificativo por el Jurado, se obtuvo el siguiente resultado: Aprobado por Unanimitad con el cuantitativo de diecisiete y cualitativo de Muy bueno, quedando el sustentante Apto para que se le expida el **TÍTULO DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL**.

El acto de sustentación se dio por concluido, siendo las 18:30 horas.

Huánuco, _____ de _____ del 20__

Mg. Roger Estacio Laguna
Presidente del Jurado de Tesis
Resolución N° 001-2021-UNHEVAL/FCA-D

Dr. Rubén Max Rojas Portal
Secretario del Jurado de Tesis
Resolución N° 001-2021-UNHEVAL/FCA-D

Dr. Ángel David Natividad Bardales
Vocal del Jurado de Tesis
Resolución N° 001-2021-UNHEVAL/FCA-D

- Deficiente (11, 12, 13) Desaprobado
- Bueno (14, 15, 16) Aprobado
- Muy Bueno (17, 18) Aprobado
- Excelente (19, 20) Aprobado

OBSERVACIONES:

Ninguna

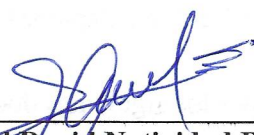


Mg. Roger Estacio Laguna
Presidente del Jurado de Tesis
Resolución N° 001-2021-UNHEVAL/FCA-D

Huánuco, ____ de ____ del 20__



Dr. Rubén Max Rojas Portal
Secretario del Jurado de Tesis
Resolución N° 001-2021-UNHEVAL/FCA-D



Dr. Ángel David Natividad Bardales
Vocal del Jurado de Tesis
Resolución N° 001-2021-UNHEVAL/FCA-D

LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES:

Huánuco, ____ de ____ del 20__

PRESIDENTE

SECRETARIO

VOCAL

ANEXO 04
AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TESIS ELECTRÓNICAS
DE PREGRADO

1. IDENTIFICACIÓN PERSONAL:

Apellidos y nombres: Orizano Acuña, Vanesa

DNI: 71649304 Correo electrónico: orizanoacunavanesa@gmail.com

Celular: 995594184

Apellidos y nombres: Valdizán Espinoza, Héctor

DNI:46772082 Correo electrónico: hvaldizan5@gmail.com

Celular: 967075868

2. IDENTIFICACIÓN DE LA TESIS:

Pregrado
Facultad de Ciencias Agrarias
Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial

Título profesional obtenido:

Ingeniero Agroindustrial

Título de la Tesis:

APROVECHAMIENTO DE CÁLIZ DE AGUAYMANTO (*Physalis peruviana*)
Y CÁSCARA DE YACÓN (*Smallanthus sonchifolius*) PARA LA
PRODUCCIÓN DE BIOETANOL.

Tipo de acceso que autoriza(n) el(los) autor(es):

Marcar (x)	Categoría de Acceso	Descripción del Acceso
X	PÚBLICO	Es público y accesible al documento a texto completo por cualquier tipo de usuario que consulta el repositorio.
	RESTRINGIDO	Solo permite el acceso al registro del metadato con información básica, mas no el texto completo.

Al elegir la opción "Público" a través de la presente autorizo o autorizamos de manera gratuita al Repositorio Institucional – UNHEVAL, a publicar la

versión electrónica de esta tesis en el Portal web repositorio.unheval.edu.pe, por un plazo indefinido, consintiendo que con dicha autorización cualquier tercero podrá acceder a dichas páginas de manera gratuita, pudiendo revisarla, imprimirla o grabarla, siempre y cuando se respete la autoría y sea citada correctamente.

En caso haya(n) hayan marcado la opción “Restringido” favor de detallarlas razones por las que se eligió este tipo de acceso.

Asimismo, pedimos indicar el periodo de tiempo en que la tesis tendría el tipo de acceso restringido:

- () 1 año
- () 2 años
- () 3 años
- () 4 años

Luego del periodo señalado por usted(es), automáticamente la tesis pasara a ser de acceso al público.

Pillco Marca, 26 de enero del 2021.



VALDIZÁN

ESPINOZA, Héctor



ORIZANO ACUÑA, Vanesa