



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
SEDE MORONA SANTIAGO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

**EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE AZÚCARES
FERMENTABLES/ETANOL MEDIANTE HIDRÓLISIS ACIDA A
PARTIR DE LA XANTHOSOMA SAGITTIFOLIUM COMO
FUENTE ENERGÉTICA RENOVABLE EN SEVILLA DON BOSCO
-ECUADOR.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA AMBIENTAL

AUTORA:

GABRIELA NICOL JINDIACHI CHIMBO

Macas – Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
SEDE MORONA SANTIAGO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

**EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE AZÚCARES
FERMENTABLES/ETANOL MEDIANTE HIDRÓLISIS ACIDA A
PARTIR DE LA XANTHOSOMA SAGITTIFOLIUM COMO
FUENTE ENERGÉTICA RENOVABLE EN SEVILLA DON BOSCO
-ECUADOR.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA AMBIENTAL

AUTORA: GABRIELA NICOL JINDIACHI CHIMBO

DIRECTOR: ING. JAVIER IGNACIO BRIONES GARCÍA

Macas – Ecuador

2023

© 2023, Gabriela Nicol Jindiachi Chimbo

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de autor.

Yo, Gabriela Nicol Jindiachi Chimbo, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los Textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

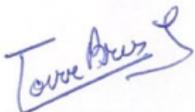
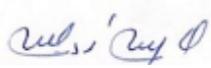
Macas, 31 de mayo de 2023

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Gabriela Nicol Jindiachi Chimbo', is centered on the page. The signature is fluid and cursive, with a prominent vertical stroke and a horizontal line crossing through it.

Gabriela Nicol Jindiachi Chimbo
1401164288

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
SEDE MORONA SANTIAGO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto de Investigación, **EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE AZÚCARES FERMENTABLES/ETANOL MEDIANTE HIDRÓLISIS ACIDA A PARTIR DE LA XANTHOSOMA SAGITTIFOLIUM COMO FUENTE ENERGÉTICA RENOVABLE EN SEVILLA DON BOSCO – ECUADOR.**, realizado por la señorita: **GABRIELA NICOL JINDIACHI CHIMBO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Carla Viviana Haro Velastegui Mgs. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 _____	2023-05-31
Ing. Javier Ignacio Briones García Msc. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	 _____	2023-05-31
Dr. Carlos Santiago Curay Yaulema Mgs. ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	 _____	2023-05-31

DEDICATORIA

Primeramente, agradezco a Dios, por darme sabiduría y permitirme culminar esta etapa tan anhelada. A mi hija Ángela de María Ramos que ha sido mi motivación para concluir esta primera etapa de mi vida profesional, este logro es para ti pequeña. A mi madre y mi familia por apoyarme incondicionalmente, y darme fuerza cuando más difícil este se tornó este trayecto.

Nicol

AGRADECIMIENTO

A Dios por permitirme demostrarme a mí misma que con perseverancia y constancia se puede lograr conseguir todo lo que se propone. A mi hija, mi madre y mi familia, gracias por el apoyo moral y la motivación para seguir adelante en toda mi carrera universitaria. A la carrera de Ingeniería ambiental de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Sede Morona Santiago, por permitirme y brindarme las facilidades para realizar este trabajo de investigación. A mi director de tesis el Ingeniero Javier Briones, y miembro el Doctor Carlos Curay, por el tiempo e impartirme sus conocimientos, y ser guías profesionales, y finalmente, a las personas que me han sabido brindar su amistad, apoyo, tiempo y ayuda en todo este trayecto.

Nicol

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN	xivv
SUMARY	xiv
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3
1.1. Planteamiento del problema.....	3
1.2. Limitaciones y delimitaciones	4
1.2.1. <i>Limitaciones</i>	4
1.2.2. <i>Delimitaciones</i>	4
1.3. Problema general de investigación	4
1.4. Problemas específicos de investigación.....	4
1.5. Objetivos.....	5
1.5.1. <i>Objetivo general</i>	5
1.5.2. <i>Objetivos específicos</i>	5
1.6. Justificación.....	5
1.6.1. <i>Justificación teórica</i>	5
1.6.2. <i>Justiicación práctica</i>	6

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Antecedentes de investigación	7

2.2.	Referencias teóricas	8
2.2.1.	Bases conceptuales	8
2.2.1.1.	<i>Biocombustibles</i>	8
2.2.1.2.	<i>Bioetanol</i>	8
2.2.1.3.	<i>Raíces y Tubérculos</i>	9
2.2.1.4.	<i>Almidón</i>	9
2.2.1.5.	<i>Hidrólisis</i>	9
2.2.1.6.	<i>Fermentación alcohólica</i>	9
2.2.2.	Bases teóricas	9
2.2.2.1.	<i>Xanthosoma sagittifolium</i>	9
2.2.2.2.	<i>Composición físico- química de la palma</i>	10
2.2.2.3.	<i>Composición del almidón</i>	10
2.2.2.4.	<i>Hidrólisis ácida</i>	10
2.2.2.5.	<i>Hidrólisis ácida como proceso de obtención de azúcares fermentables</i>	11
2.2.2.6.	<i>Mecanismos de hidrólisis de almidones mediante ácido</i>	11
2.2.2.7.	<i>Proceso de fermentación alcohólica</i>	11
2.2.2.8.	<i>Clasificación de los biocombustibles</i>	11

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	13
3.1.	Enfoque de investigación	13
3.2.	Nivel de investigación	13
3.3.	Diseño de investigación	13
3.3.1.	<i>Según la manipulación de las variables independientes</i>	14
3.3.2.	<i>Según las intervenciones en el trabajo de campo</i>	14
3.4.	Tipo de estudio	14
3.4.1.	<i>Población y planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra</i>	14
3.4.1.1.	<i>Población</i>	14
3.4.2.	<i>Selección</i>	14

3.4.3.	<i>Tamaño de la muestra</i>	15
3.4.4.	<i>Diseño experimental</i>	15
3.4.5.	<i>Diseños de los tratamientos</i>	15
3.5.	Métodos, técnicas e instrumentos de investigación	16
3.5.1.	<i>Materiales, equipos y reactivos</i>	16
3.5.2.	<i>Análisis fisicoquímico del tubérculo(Xanthosoma sagittifolium)</i>	17
3.5.2.1.	<i>Determinación del porcentaje de humedad</i>	17
3.5.2.2.	<i>Determinación del porcentaje cenizas por el método de calcinación</i>	17
3.5.2.3.	<i>Determinación del pH del tubérculo de la pelma</i>	18
3.5.2.4.	<i>Prueba de almidón</i>	18
3.5.3.	<i>Extracción del almidón de la Pelma (Xanthosoma sagittifolium)</i>	18
3.5.4.	<i>Caracterización físico-químico del almidón de la Xanthosoma sagittifolium</i>	20
3.5.4.1.	<i>Temperatura de gelatinización (°C)</i>	20
3.5.4.2.	<i>Determinación del contenido de Amilosa</i>	20
3.5.4.3.	<i>Determinación del contenido de Amilopectina</i>	20
3.5.4.4.	<i>Determinación de la solubilidad del almidón</i>	20
3.5.4.5.	<i>Densidad aparente</i>	21
3.5.5.	<i>Obtención de azúcares mediante la hidrólisis ácida del almidón de la Xanthosoma sagittifolium</i>	21
3.5.5.1.	<i>Preparación de soluciones de H₂SO₄</i>	21
3.5.5.2.	<i>Hidrólisis ácida en el almidón de Xanthosoma sagittifolium</i>	21
3.5.6.	<i>Caracterización del extracto líquido hidrolizado a partir del almidón de la Xanthosoma sagittifolium</i>	22
3.5.6.1.	<i>Determinación del pH</i>	22
3.5.6.2.	<i>Determinación de la acidez titulable</i>	22
3.5.6.3.	<i>Determinación del contenido de sólidos solubles</i>	22
3.5.6.4.	<i>Determinación de la conductividad eléctrica</i>	23
3.5.7.	<i>Obtención de bioetanol a partir del extracto hidrolizado del almidón de Xanthosoma sagittifolium</i>	23
3.5.7.1.	<i>Fermentación</i>	23

3.5.7.2.	<i>Destilación</i>	23
3.5.8.	<i>Caracterización del etanol obtenido</i>	24

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	25
4.1.	Análisis físico-químico del tubérculo de la <i>Xanthosoma sagittifolium</i>	25
4.2.	Extracción de almidón	26
4.3.	Resultados de la caracterización físico-química de almidón extraído de la palma	26
4.4.	Resultados de la obtención de azúcares mediante la hidrólisis ácida del almidón de la <i>Xanthosoma Sagittifolium</i>	28
4.4.1.	<i>Análisis estadístico de los resultados obtenidos</i>	28
4.5.	Resultados de la caracterización de la extracto hidrolizado	30
4.5.1.	<i>Rendimiento del proceso de hidrólisis</i>	31
4.5.2.	<i>Resultado de la caracterización de etanol</i>	32
4.5.2.1.	<i>Comparación del rendimiento del bioetanol con otras materias primas</i>	33

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES	34
RECOMENDACIONES	35
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1: Tratamientos (C= concentración, t= temperatura).....	15
Tabla 3-2: Materiales, equipos y reactivos:	16
Tabla 3-3: Requisitos del etanol anhidro grado carburante	24
Tabla 4-1: Caracterización físico-química del tubérculo	25
Tabla 4-2: Caracterización del almidón de la <i>Xanthosoma sagittifolium</i>	27
Tabla 4-3: Tratamientos aplicados al hidrólisis ácida.....	28
Tabla 4-4: Análisis de Varianza	29
Tabla 4-5: Caracterización del extracto hidrolizado	30
Tabla 4-6: Caracterización del etanol	32

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 3-1: Diagrama de flujo de la extracción de almidón de la <i>xanthosoma sagittifolium</i>	19
Ilustración 4-1: Balance de masa en la extracción del almidón a partir de <i>la Xanthosoma sagittifolium</i>	26
Ilustración 4-2: Brix° obtenidos en el proceso de hidrólisis ácida sometidas a diferentes Temperaturas y concentraciones	30
Ilustración 4-3: Balance de masa del proceso de hidrólisis.....	31

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: PROCESO PARA LA EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE LA *XANTHOSOMA SAGITTIFOLIUM*

ANEXO B: PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE AZÚCARES FERMENTABLES MEDIANTE HIDRÓLISIS ÁCIDA

ANEXO C: PROCESO DE OBTENCIÓN DE BIOETANOL

RESUMEN

El uso de combustibles convencionales ha incrementado la contaminación a nivel mundial, debido a la gran dependencia económica de las naciones, sin embargo, el uso de energías renovables son una alternativa a esta problemática, por lo tanto, este trabajo tuvo como objetivo principal evaluar la concentración de azúcares fermentables mediante la hidrólisis ácida a partir de la *Xanthosoma sagittifolium* para la obtención de etanol como fuente de energía renovable en Sevilla Don Bosco, Ecuador. La metodología aplicada tuvo un enfoque de tipo cuantitativo y cualitativo en la que se caracterizó el tubérculo mediante métodos físico-químicos, para la extracción de los azúcares fermentables se trabajó con nueve tratamientos y tres repeticiones, se varió la temperatura de hidrólisis (70, 80 y 90 °C) y la concentración de ácido sulfúrico (3, 6 y 10% v/v), posteriormente se empleó la fermentación y destilación para la obtención de etanol y se realizó una comparación mediante la norma INEN 2478:2009 Etanol Anhidro. En el tubérculo se determinó un valor de humedad de 60,40 %, porcentaje de cenizas de 0,34 %, pH de 5,95, el almidón presenta una temperatura de gelatinización de 55°C, contenido de amilosa 18,81 % y amilopectina de 81,19%, densidad aparente de 0,626 g/ml, el tratamiento con mayor concentración de azúcares fermentables (17,07 Brix°) es el t3C3. Mediante la norma INEN 2478:2009 Etanol Anhidro, arrojó un contenido de 8,5 % de alcohol, conductividad eléctrica de 55,8 y densidad de 0,08 g/ml a 20 °C. Bajo estos resultados, el alcohol obtenido no es apto para una mezcla de biocombustibles, sin embargo sus condiciones pueden mejoradas mediante, una destilación fraccionada, el rendimiento hallado en el proceso de obtención de etanol es de 20,83 %, al compararlo con otros métodos de obtención resulta bajo, por el tipo de hidrólisis aplicado a la materia prima utilizada.

Palabras clave: <PELMA (*Xanthosoma sagittifolium*) >, <HIDRÓLISIS ÁCIDA>, <TUBÉRCULOS>, <GRADOS BRIX>, <BIOETANOL>.

1149-DBRA-UTP-2023

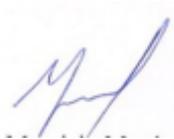


ABSTRACT

The use of conventional fuels has increased pollution worldwide due to the great economic dependence of nations. However, the use of renewable energies is an alternative to face this problem. The main objective of the current research work was to evaluate the concentration of fermentable sugars by acid hydrolysis from *Xanthosoma sagittifolium* in order to obtain ethanol, as a source of renewable energy in Sevilla Don Bosco-Ecuador. The methodology applied had a quantitative and qualitative approach, being the tuber characterized by physicochemical methods. For the extraction of fermentable sugars, it used nine treatments and three replicates, the hydrolysis temperature varied (70, 80 and 90 °C), and the concentration of sulfuric acid (3, 6 and 10% v/v). Subsequently, the fermentation and distillation processes were used to obtain ethanol and made a comparison using the INEN 2478:2009 Anhydrous Ethanol standard. In the tuber determined: a moisture value of 60.40%, ash percentage of 0.34%, pH of 5.95, starch presented a gelatinization temperature of 55°C, amylose content of 18.81% and amylopectin of 81.19%, bulk density of 0.626 g/ml, taking into account the treatment with the highest concentration of fermentable sugars (17.07 Brix°) is t3C3. According to INEN 2478:2009, anhydrous ethanol yielded an alcohol content of 8.5%, electrical conductivity 55.8 and density of 0.08 g/ml at 20 °C. Under these results, the alcohol obtained is not suitable for a biofuel blend, however its conditions can be improved by fractional distillation; the yield found in the process of obtaining ethanol is 20.83 %, when compared with other methods of obtaining is low due to the type of hydrolysis applied to the raw material used.

Keywords: <PELMA (*Xanthosoma sagittifolium*)>, <ACID HYDROLYSIS>, <TUBERS>, <BRIX GRADES>, <BIOETHANOL>.

1149-DBRA-UTP-2023



Lic. Mauricio Martínez P

0602902504

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la sociedad tiene una estrecha relación con el medio ambiente, especialmente por el aprovechamiento y uso de los recursos naturales y energéticos (Parra, 2014, p. 22). Por lo que el uso de combustibles de orígenes no renovables, como los combustibles fósiles, inciden en diferentes ámbitos, como en su costo elevado, agotamiento, creciente dependencia y su contribución a la contaminación ambiental (Sullivan, 2004, p.), este tipo de energía fósil representa gran porcentaje de la energía consumida en el mundo (Recompensa et al. 2008: p.), sin embargo para afrontar sus impactos causados se puede suplantar parte de este consumo a combustibles de origen biológico, aplicando las técnicas agrícolas y estrategias de procesamiento adecuadas, otorgando un 50 % en ahorro por emisiones, en contraste con los combustibles fósiles (Hernández y Hernández, 20082b: pp.16), debido a lo mencionado se han presentado nuevos retos de investigación con respecto a la relevancia de las fuentes de energía renovables (Villadiego et al. 2021, p.), uno de estos retos son el desarrollo de los biocombustibles que en la actualidad representan una fuente importante de energía renovable; además de generar nuevos y grandes mercados para los productores agrícolas fósiles (Hernández y Hernández, 20082b: pp.17), dado que también se podrían reemplazar en caso de que los precios de los hidrocarburos se incrementen demasiado o a largo plazo se agoten (FAO, 2010, p. 20).

El Ecuador se encuentra en el tercer puesto de los países latinoamericanos productores de bioetanol a partir de la caña de azúcar principalmente (Morelos, 2016, p. 125), además en un estudio sobre los beneficios económicos de la gasolina formulada con etanol (Eco País) se obtuvo un beneficio anual neto de 3´170,484 dólares (Morales, 2010, p. 37) evidenciando que está abriendo un espacio importante en este mercado. El país tiene una perspectiva de desarrollo de los biocombustibles desde el año 2010 hasta la actualidad donde se plantean las oportunidades que presenta éste (Macias et al., 2022: p.40), basado en la capacidad de producción de diferentes materias primas, como los residuos agrícolas del arroz, banano, cacao (Garcia et al., 2013: p.), así también como otros productos de primera generación que contienen una gran cantidad de almidón como los tubérculos (Martínez, 2018, p. 48).

No obstante, la producción del almidón adquirido de fuentes convencionales no es suficiente por lo que se buscan obtener fuentes no convencionales para conseguir este polímero (Torres, 2015, p.). La palma (*Xanthosoma sagittifolium*) puede ser una de las fuentes no convencionales para extraer almidón, debido a la cantidad de carbohidratos almacenados en sus raíces (Montaldo, 1991, p. 407). Para obtener la energía proveniente de este tubérculo se transforma el almidón en glucosa, este proceso se lo puede hacer mediante una reacción de hidrólisis ácida, la cual se la puede llevar a

cabo empleando ácidos concentrados a bajas temperatura o por el contrario ácidos diluidos a mayores temperaturas y menores tiempos de reacción (Sánchez et al., 2010)(Díaz, 2015, p.16).

Con esta premisa, el desarrollo de este estudio pretende aportar con la investigación de fuentes nuevas de energía renovables que aporten al desarrollo económico, tecnológico, sustentable y amigable con el ambiente, para el propósito de es este estudio es caracterizar el tubérculo de la palma, mediante parámetros físico-químicos y posteriormente evaluar la concentración de los azúcares fermentables extraídos mediante un proceso de hidrólisis ácida, para posteriormente caracterizar el bioetanol obtenido.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

Desde el inicio de la era industrial, el consumo de los combustibles fósiles se han incrementado constantemente, y en efecto a nivel mundial los derivados del petróleo lideran el consumo global de energía con el 34,2% del total de la energía ocupada (Kramer, 2019, p. 21). Por otra parte las emisiones mundiales de CO₂ son alrededor de 36,600 millones de toneladas; esto es un, 61% por encima de los niveles registrados 1990 (Cerilo, 2019, p. 3). Estas emisiones son provenientes de algunas fuentes principales como la producción de energía por combustión del carbón, petróleo y gas natural (Power, 2009, p. 110), a se le atribuye un aproximado de 4,5 millones de muertes prematuras al año relacionadas con la contaminación del aire (Greenpeace y CREA, 2020: p. 2), y la industria del cemento, y el venteo, es decir la combustión de los gases excedentes de la extracción y refinación de petróleo (Power, 2009, p. 110).

El 24 de febrero de 2022 estalló la guerra en Ucrania, un conflicto en el que los combustibles fósiles, son los que están financiando la guerra y, además, se han convertido en un arma de presión política y económica que evidencia lo mucho que dependemos de ello (Greenpeace, 2022, p. 6). El uso de esta fuente de energía ha sido el motor de desarrollo económico y la prosperidad de las naciones (Biol, 2019, p.74), no obstante su explotación y uso intensivo genera inconvenientes, como su extinción a mediano plazo y su contribución a la emisión de gases contaminantes, produciendo grandes desequilibrios ambientales y climáticos (Höök y Tang, 2013: p. 787), y posteriormente en el consumo del producto, causando efectos más severos y notorios sobre la salud humana (Castaño, 2008, p. 254).

Actualmente las principales materias usadas en la producción de bioetanol es del 60 % proveniente del maíz, el 25 % se produce de la caña, 2 % de la melaza , 3 % del trigo y el restante de otros cereales, yuca o remolacha (OCDE/FAO, 2021, p. 229). La producción de bioetanol en el mundo mostró un crecimiento acumulado del 31%, y en cuanto a consumo de biocombustibles líquidos tuvo un crecimiento acumulado del 67% en la última década (Torroba 2021, p.7), y para 2024 se proyecta una producción mundial de 134,5 mil millones de litros de bioetanol (Kolics et al., 1998, p.2609), lo que señala que el uso de la biomasa como materia prima, se ha incrementado y a ello se enfoca esta investigación, para seguir haciendo uso de energías renovables, eficientes, y sostenibles económica y ambientalmente.

1.2. Limitaciones y delimitaciones

1.2.1. Limitaciones

- Problemas en la extracción de almidón
- Mala formación en la solución del ácido en el proceso de hidrólisis ácida
- Variación en las temperaturas en proceso de hidrólisis ácida.
- Variación en la extracción de azúcares.
- Baja concentración de hidrólisis en el proceso.
- La cantidad de hidróxido de sodio para neutralizar el extracto hidrolizado previo a ser fermentado.

1.2.2. Delimitaciones

- Se utilizó la palma cultivada en la parroquia de Sevilla Don Bosco
- Se trabajó mediante la hidrólisis ácida de la *Xanthosoma sagittifolium*, con las condiciones de temperatura de 70, 80 y 90 °C.
- Se utilizó el ácido sulfúrico con concentraciones de 3, 6 y 9 % v/v.
- El tiempo de 40 minutos fue constante para todos los tratamientos.
- La cantidad de almidón de la palma utilizada en los tratamientos fue de 3 gramos.

1.3. Problema general de investigación

¿Cuál será la concentración de ácido sulfúrico que permita extraer una mayor cantidad de azúcares fermentables para la obtención de bioetanol a partir de la *Xanthosoma sagittifolium*?

1.4. Problemas específicos de investigación

¿Cómo influyen las características del tubérculo de la *Xanthosoma sagittifolium* en la obtención de los azúcares fermentables?

¿Cómo influyen la concentración de ácido sulfúrico y la temperatura dentro del proceso de hidrólisis ácida para la obtención de azúcares fermentables?

¿El bioetanol obtenido a partir de los azúcares fermentables a partir de la palma presenta características acorde a la norma NTE-INEN 2478:2009 Etanol Anhidro?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Evaluar la concentración de azúcares fermentables/etanol mediante hidrólisis ácida a partir de la *Xanthosoma sagittifolium* como fuente energética renovable en Sevilla Don Bosco, Ecuador.

1.5.2. Objetivos específicos

- Caracterizar el tubérculo de la *Xanthosoma sagittifolium* mediante análisis fisicoquímico.
- Determinar las variables óptimas en relación a la hidrólisis ácida que permita un mayor rendimiento en la extracción de azúcares fermentables a partir de la *Xanthosoma xagittifolium*.
- Caracterizar el bioetanol obtenido y comparar bajo la norma NTE-INEN 2478:2009 Etanol Anhidro

1.6. Justificación

1.6.1. Justificación teórica

En el año 2020 la producción mundial de los biocombustibles fue entorno a los 151.000.000 m^3 , y respecto al consumo alcanzó un valor de 148.000.000 m^3 (Torroba, 2021, p. 7), por lo que claramente los biocombustibles se han convertido en sustitutos ideales de los derivados del petróleo (Barrientos, 2008, p. 117), además de que presentan diversas características atractivas: no tóxico, biodegradable, técnicamente viable, competitivo económicamente (Solano et al., 2008: p.85) y la disminución en la cantidad de los gases de efecto invernadero generados (Zola y Barranzuela, 2017: p. 47). Las políticas regionales y tratados internacionales refuerzan e impulsan a los gobiernos para la producción y uso de bioetanol, para mitigar los efectos del cambio climático (Alonso y Bello, 2018: P. 970), por lo que existe un aumento en la producción de este biocombustible debido a sus balances energéticos positivos y a la neutralidad en cuanto a la generación de CO₂, estas ventajas han sido demostradas en las tecnologías de primera generación (Linton et al., 2011, p. 3052).

1.6.2. Justificación práctica

Se predice que el cambio climático afectará más a los países en desarrollo por su limitada capacidad de adaptación (Andrade et al., 2016: p. 105), no obstante en Ecuador existen estudios sobre la producción de bioetanol donde se han considerado diferentes tipos de biomasa, como el banano, la caña de azúcar y el maíz (García et al. 2014: p. 172). Se han ido desarrollando más investigaciones sobre recursos útiles para la producción de bioetanol, aprovechando y agregando valor tanto a las materias primas como a sus subproductos (Zola y Barranzuela, 2017: p. 23); sin embargo no se ha dado importancia y dado el desconocimiento de la población de los beneficios de las materias primas provenientes de los tubérculos, debido a que en nuestro país no existe un consumo significativo de la yuca (Quezada, 2019, p. 32), por ello a través de la investigación es que se debe potenciarlos, y sacar mayor provecho de sus propiedades.

A partir de los azúcares, almidones, celulosa y otras materias primas ricas en carbohidratos se puede obtener biocombustible (Vázquez y Dacosta, 2007: p. 251), agregando un valor adicional al sector agropecuario dedicado a la producción de yuca ya que estos juegan un papel significativo en el sistema global de alimentación y contribuyen a los requerimientos energéticos de más de 2 millones de personas en los países en vías de desarrollo (Hernández, 2008: p.729), ya que los biocombustibles de primera generación se producen a partir de los almidones, azúcares, aceites vegetales (Duarte et al. 2012: p. 4), además de generar fuentes de empleos y aportar en la disminución de emisiones relacionados con los combustibles fósiles.

Según Carriazo (2012, p 12) la fermentación de los azúcares que se encuentran en la biomasa vegetal produce etanol. Para ello, primero se debe preparar la materia prima; se retira la biomasa que no presentan las características deseadas, quedando la muestra sobre la cual se realiza el proceso de la extracción de azúcares fermentables. Algunos ácidos como los ácidos clorhídrico, sulfúrico, fosfórico, carbónico, fórmico se utilizan para la hidrólisis del almidón etc. Según el estudio de (Tejeda et al., 2011b: p.115) realizó una comparación de una hidrólisis enzimática y una hidrólisis ácida, donde se obtuvo un rendimiento de 8,83 y 10,33% respectivamente, indicando que es más factible utilizar ácidos como catalizadores para la producción de bioetanol. La hidrólisis se lleva a cabo a temperatura de ebullición, utilizando el baño María. El ácido cataliza los enlaces glucosídicos del almidón, que formará una gran variedad de oligosacáridos para convertirse en glucosa. El tiempo es un aspecto importante, ya que a mayor tiempo transcurrido presenta una mayor hidrólisis del almidón, por lo tanto, mayor número de grupos reductores (Carrión, 2018, pp. 98).

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de investigación

Los biocombustibles comenzaron a ser utilizados de forma experimental en Estados Unidos a finales del siglo XIX, posteriormente el primer automóvil en utilizar etanol combustible fue creado por Henry Ford en 1896, llamado “*Cuadricycle*” (Álvarez, 2009: p.68). Y no fue a finales de 1979, que se estableció una mezcla de gasolina y etanol, en donde los biocombustibles se presentan como una alternativa al alza de los precios del petróleo y al posible agotamiento de los recursos no renovables (Salinas y Gasca, 2009: p.75). El maíz, es una de las primeras materias primas utilizadas para obtener etanol, este proyecto fue abandonado debido a los costos elevados de almacenamiento y las dificultades de transporte en 1980 (Salinas y Gasca, 2009: p. 82). Las principales materias primas en los biocombustibles de primera generación, son el jugo de la caña de azúcar y la remolacha (Álvarez, 2009: p. 63), otras fuentes utilizadas son productos con alto contenido de almidón como los cereales, tubérculos y rizomas (Alonso y Bello, 2018: p. 975).

La *Xanthosoma sagittifolium* es originaria de los trópicos americanos. Es un tubérculo ubicado en el puesto número seis en las áreas de producción y plantación mundial, después de la yuca, papa, camote (*Ipomoea batatas*), ñame (*Dioscorea esculenta*) y taro (*Colocasia esculenta*). El uso de almidones obtenidos a partir de raíces y tubérculos como materia prima en la elaboración de productos convencionales o en el desarrollo de nuevos productos, se ha convertido en una manera de promover e incrementar la producción y demanda de los mismos (Pacheco y Techeira, 2009: p. 86). En la actualidad los biocombustibles líquidos se siguen afianzando como parte de una transición más limpia (Torroba, 2021, p. 6) como parte de ella, el bioetanol ofrece grandes ventajas en virtud de sus características físico-químicas, materias primas, costos de producción relacionados y efectos ambientales (Greenpeace, 2022, p.4). El almidón el cual posee una función de reserva energética (Menéndez, 2014, p.1), estructuralmente se compone de dos polisacáridos: la amilosa y amilopectina, según Charles et al., (2005) reportaron que el contenido de amilosa en almidones de diferentes variedades tubérculos como la yuca fue de 15,9 a 22,4%. Los contenidos de amilopectina de los almidones de maíz y sagú (76,4 y 77,3%, respectivamente) fueron menores a los encontrados en los almidones de camote y yuca (80,4 y 83,0%, respectivamente), además que Jiménez et al. (2012, p. 152) en su estudio señalan que, para incrementar la cantidad de azúcares obtenidos de la yuca, mediante un proceso de hidrólisis ácida las mejores condiciones para obtener un mayor rendimiento de hidrólisis fueron; 40°C, 150 rpm y 10 g de sustrato. Según los ensayos realizados en la hidrólisis ácida del almidón del camote la cantidad de ácido

clorhídrico que se utilizó fue de 3 ml, el mismo que proporcionó un número de 17 Brix° óptimo para el proceso de fermentación y con ácido cítrico una cantidad 50 gramos, y de este se obtuvo 16°Brix (Altamirano, 2022, p. 54). Finalmente(Monsalve, 2006, p.7) señala que el almidón del tubérculo de la yuca es una fuente potencial para la producción de etanol, y a través de la hidrólisis del almidón de la yuca se obtuvo un máximo rendimiento del 90.2 % en las siguientes condiciones: concentración del HCl 0,1N, % de almidón de 18% y un tiempo de hidrólisis de 30 minutos, dichas condiciones son fáciles de reproducir (León, 2006, p.10).

Con estos antecedentes se propone el siguiente proyecto de investigación de la evaluación de la concentración de azúcares fermentables/etanol mediante hidrólisis ácida a partir de la *Xanthosoma sagittifolium*, para promover el uso y producción de energías renovables que también beneficiaría a los productores de la palma, dando énfasis para dinamizar la comercialización del producto, dando un valor agregado y estimulando la producción de este tubérculo; llevando en último término a la promoción de fuentes de trabajo en las localidades aledañas.

2.2. Referencias teóricas

2.2.1. Bases conceptuales

2.2.1.1. Biocombustibles

Se los puede obtener a partir de biomasa vegetal o animal los mismos que son renovables , y permiten sustituir a los combustibles fósiles obtenidos del petróleo. Se los usa en una mezcla con otros combustibles en diferentes proporciones de 5%, 10% aplicadas para uso en el transporte (RBA Ambiental, 2019, p. 1).

2.2.1.2. Bioetanol

Se denomina bioetanol al alcohol etanol destinado a su uso como combustible, que se obtiene mediante la fermentación alcohólica de sustancias ricas en azúcares y en hidratos de carbono en general (Pérez, 2016, p. 99).

2.2.1.3. Raíces y Tubérculos

Los alimentos con un elevado contenido de energía proveniente de los cultivos de raíces y tubérculos los cuales suministran energía de bajo ya que su producción es económica (Espinosa, 2017, p. 10).

2.2.1.4. Almidón

Es un polímero cuya estructura consiste en moléculas de glucosa en forma de dos compuestos, la amilosa y la amilopectina encadenadas por uniones α -glucosídicas. Estos acoplamientos ocurren vía enlaces α -1,4 con ramificaciones vía enlaces α -1,6 (Espinosa, 2013, p.46).

2.2.1.5. Hidrólisis

La hidrólisis es un tipo de reacción química en la cual se rompe un enlace covalente entre dos subunidades por medio de la adición de una molécula de agua que se descompone en los fragmentos H^+ y OH^- distribuidos en distintas subunidades cada uno, con la finalidad de transformar las moléculas poliméricas de almidón en azúcares monoméricos fermentables (Espinosa, 2017, p. 10).

2.2.1.6. Fermentación alcohólica

Es una biorreacción que tiene como finalidad biológica proporcionar energía aeróbica a los microorganismos celulares (levaduras) en ausencia de oxígeno, para ello disocian las moléculas de glucosa y obtienen energía necesaria para sobrevivir, produciendo el alcohol y CO_2 como resultados de la fermentación

2.2.2. Bases teóricas

2.2.2.1. Xanthosoma sagittifolium

La palma pertenecen a la familia de las Aráceas; es un tubérculo nutritivo, con forma ovoide (Rodríguez et al., 2011: p.40), se los consume generalmente como la papa, posee un alto contenido de almidón en su raíz, son cultivados principalmente en las zonas tropicales. (Arano et al. 2019: p. 3455). La *Xanthosoma sagittifolium* ha contribuido al desarrollo en algunos países adquiriendo importancia económica por sus bondades y una de sus ventajas es su alta resistencia a las plagas

y enfermedades (Armas, 2012, p.7). Además de que la pelma tiene una cantidad de aproximadamente de 22.1 gramos (Púa et al., 2019: p.74) a 25,2 gramos de carbohidratos contenidos en los cormos (Obando, 2009)(Ordoñez, 2020, p. 26)

2.2.2.2. Composición físico- química de la pelma

Los tubérculos de la pelma están compuestos químicamente por almidón oscilando entre un 30% y 85 % en base seca, proteínas de 1,4% a 7% (Rodríguez et al., 2011, p. 41), con una cantidad de fibra de 0,6% a 0,8%, un porcentaje de cenizas entre el 2,64% y 4,02% y carbohidratos totales de 77, 46% a 87, 91 % tienen un porcentaje de humedad de 11.04% (Palomino et al., 2010: p. 62), contiene un 26,9 % de almidón y un porcentaje de alcohol de 1,63 %, también considerada en el uso industrial (Armas, 2012, p.7).

2.2.2.3. Composición del almidón

El almidón consiste de dos polisacáridos químicamente distinguibles: la amilosa y amilopectina. La amilosa es un polímero de estructura lineal de α -D glucosa, en la que sus moléculas están unidas por enlaces O-glicosídicos α -(1-4)(Menéndez, 2014, p. 2), estas moléculas no son solubles en agua, pero pueden formar micelas hidratadas por su capacidad para enlazar moléculas por puentes de hidrógeno y formar una estructura helicoidal que es capaz de desarrollar una coloración azul por la formación de un complejo con el yodo. Mientras que en la amilopectina tiene una estructura ramificada donde se hallan dos tipos de enlaces entre las unidades de glucosa, los α 1-4 como en la amilosa y los α 1-6 que dan lugar a las ramificaciones, las cuales aparecen de 20 a 30 glucosas (Altamirano, 2022, p. 30).

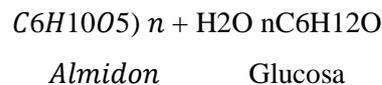
2.2.2.4. Hidrólisis ácida

Es un proceso donde el ácido cataliza los enlaces glucosídicos, a partir de un rompimiento total de los enlaces que unen a los monómeros del almidón, los mismos que se convertirán posteriormente en glucosa, maltosa, e isomaltosa (Altamirano, 2022, p. 52). El objetivo principal de la hidrólisis es romper el polímero de los polisacáridos, presentes en la fracción de sólidos insolubles en agua, producidos en el pretratamiento (Aguilar, 2011, p. 40) (Corea y Morales, 2019: p.30). La clase de ácido, su concentración, la cantidad empleada referida a la cantidad de celulosa, así como la presión y la temperatura influyen en la duración de la sacarificación (Angulo, 2010, p. 40).

2.2.2.5. *Hidrólisis ácida como proceso de obtención de azúcares fermentables*

La hidrólisis ácida consiste en un tratamiento con ácidos añadidos al almidón, el cual se encarga de romper en cadenas cortas de dextrina el almidón; es conocido como grado de degradación y el mismo dependerá de las condiciones de hidrólisis que favorecen la disponibilidad de azúcares fermentables mediante el cambio de propiedades de la lignocelulosa son la temperatura, la agitación, concentración del sustrato (Mejía et al., 2016: p. 47) y el tiempo de hidrólisis. A medida que actúa el ácido, el peso molecular y la viscosidad de los productos decrecen y el poder reductor aumenta; las temperaturas menores a 160 °C proveen una adecuada hidrólisis con poca descomposición de azúcares; los ácidos más utilizados son el clorhídrico y el sulfúrico (Machado, 2016).

Mediante la hidrólisis ácida obtendremos la siguiente reacción:



2.2.2.6. *Mecanismos de hidrólisis de almidones mediante ácido*

El mecanismo del hidrólisis ácida incluye:

- a) Difusión de los protones de la matriz del sustrato
- b) Protonación del oxígeno en los enlaces monoméricas de los azúcares
- c) Ruptura del enlace

La hidrólisis hace referencia a la acción de los ácidos sobre almidones, y pueden subdividirse en la acción de ácido sulfúrico que produce la llamada amilo dextrina y ácido clorhídrico que conducirá a los almidones (Altamirano, 2022, p. 46).

2.2.2.7. *Proceso de fermentación alcohólica*

La fermentación es un proceso catabólico el cual permite degradar azúcares en alcohol y dióxido de carbono (Vázquez y Dacosta, 2007: p. 251) conforme se incrementa el grado de alcohol ,la fermentación se torna lenta debido a la inhibición del crecimiento de las levaduras , proceso en el que se encuentra en condiciones anaeróbicas (Almirón, 2018, p. 57), en donde la glucosa se transforma en ácido pirúvico, continuando la secuencia de reacciones de la glucólisis, posteriormente el ácido pirúvico mediante la enzima piruvato-descarboxilasa se transforma en acetaldéido, el cual finalmente se convierte en etanol a través de la enzima alcohol-deshidrogenasa (Stanbury y Whitaker, 1984: p.255). Almirón (2018, p. 58) señala que la temperatura adecuada para este proceso es de 23°C, hasta máximo 28 °C.

2.2.2.8. *Clasificación de los biocombustibles*

- *Biocombustibles de primera generación*

Son aquellos producidos en base a azúcar, almidones, aceites vegetales o grasas animales utilizando tecnologías tradicionales.

El bioetanol es el producto obtenido de la fermentación y destilación del almidón (azúcares) contenido en la materia orgánica (biomasa), previamente extraído por procesos enzimáticos (Duarte et al. 2012: p. 43).

- *Biocombustibles de segunda generación*

Son aquellos elaborados en base a materias primas que no compiten con la alimentación.

Además incluye la biomasa de los residuos agrícolas (Duarte et al., 2012: p. 44).

- *Biocombustibles de tercera generación*

Son aquellos basados en cultivos que requieren investigación y desarrollo para llegar a ser comercialmente posible: por ejemplo, hierbas perennes ó árboles de crecimiento rápido (Duarte et al., 2012: p. 47).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Enfoque de investigación

La siguiente investigación tuvo un enfoque mixto, ya que para cumplir con el objetivo general, en que se tomo en cuenta diferentes factores; para caracterizar el tubérculo de *Xanthosoma sagittifolium*, se presentaron valores cuantitativos y cualitativos, pasando por la experimentación de la hidrólisis ácida para obtener un rendimiento de los azúcares fermentables, la relación de las variables involucraron la medición basada en análisis .

3.2. Nivel de investigación

Esta investigación es de tipo descriptiva- comparativa debido a que mediante la evaluación de la concentración de azúcares fermentables en las diferentes etapas se permitió determinar los valores cuantitativos para posteriormente ser comparados, el bioetanol obtenido con uno de tipo anhidro.

3.3. Diseño de investigación

La investigación fue de carácter experimental ya que se desarrollo en condiciones de laboratorio a partir de la manipulación de las variables experimentales en ambientes controlados.

Donde se empleó un diseño de bloques completos al zar con arreglo factorial de tres por tres con tres repeticiones las cuales consiste en la variación de la concentración de ácido sulfúrico (3, 6 y 10 % v/v) y la temperatura (70°, 80° y 90° C), para la evaluación de la concentración de azúcares fermentables a partir de la hidrólisis ácida mediante la *Xanthosoma Sagittifolium*.

- Variables independientes

- La concentración del ácido sulfúrico
- La temperatura en el proceso del hidrólisis ácida, se trabaja con una temperatura mínima y una máxima.

- Variables Dependientes

- Concentración de azúcares fermentables es la cantidad de producto sintetizado por cantidad de substrato consumido (Brix°).

3.3.1. Según la manipulación de las variables independientes

Es experimental porque se manipulan las variables de concentración y temperatura (3%, 6% ,10 % v/v) y 70°, 80° y 90° C) respectivamente, para determinar cual es el tratamiento que arroje mejores resultados con respecto a la cantidad de grados Brix°.

3.3.2. Según las intervenciones en el trabajo de campo

La presente investigación es de tipo transversal, ya que se realizó la recolección de los tubérculos en el mes de noviembre.

3.4. Tipo de estudio

El diseño de la investigación fue de tipo mixto y descriptivo, debido a que se describiran los todos los procesos que conllevan para conseguir el propósito de la investigación quees analizar las características físico-químicas del tubérculo de la *xanthosoma sagittifolium* y determinar principalmente la existencia de almidón, el cual será utilizado para la extracción de azúcares mediante la hidrólisis ácida para evaluar y cuantificar el rendimiento del proceso de hidrólisis ácida para posteriormente obtener bioetanol.

3.4.1. Población y planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra

3.4.1.1. Población

La población objeto de estudio fue el tubérculo conocido como pelma (*xanthosoma sagittifolium*) provenientes de la parroquia Sevilla Don Bosco, Provincia Morona Santiago.

3.4.2. Selección

Dentro del cultivo se tomaron los mejores tubérculos, en buen estado, de grandes tamaños, y pesos aproximados de 150 a 250 gramos, que esten bien formados, libres de plagas o enfermedades y además libres de cortes.

3.4.3. *Tamaño de la muestra*

Se utilizó 5 kg del tubérculo de la palma, debido a la cantidad de tratamientos realizados y presentados en la **tabla 1-3**.

3.4.4. *Diseño experimental*

El diseño aplicado para la presente investigación fue un diseño experimental de bloques completamente azar, con arreglo factorial de tres por tres tratamientos con 3 repeticiones. El análisis estadístico que se aplicó sobre el diseño experimental presenta un 95 % de confianza el cual se muestra en la tabla **3-1**.

3.4.5. *Diseños de los tratamientos*

En el diseño de tratamiento presentado en la **tabla 3-1** se trabajó con nueve tratamientos cada uno con tres repeticiones y se realizó variaciones de concentración de ácido sulfúrico (3-10 %) y temperatura (70 - 90°C).

Tabla 3-1: Tratamientos (C= concentración, t= temperatura)

Número	Tratamientos	Descripción de las variables	
		Concentración del ácido (% v/v)	Temperatura °C
1	C1t1	3	70
2	C1t2	3	80
3	C1t3	3	90
4	C2t1	6	70
5	C2t2	6	80
6	C2t3	6	90
7	C3t1	10	70
8	C3t2	10	80
9	C3t3	10	90

Realizado por: Jindiachi N., 2023

3.5. Métodos, técnicas e instrumentos de investigación

3.5.1. Materiales, equipos y reactivos

Los materiales, equipos y reactivos utilizados en la presente investigación se detallan a continuación en la **tabla 3-2**.

Tabla 3-2: Materiales, equipos y reactivos:

Refractómetro- ATC
Espectrofotómetro-Genesys30
Vasos de precipitación
Matraces- Schott
Balón de aforo
Plancha de calentamiento-agitación
Agitadores magnéticos-sin marca
Termómetro
pH-metro- APERA
Balanza analítica
Crisol
Mufla-BIOBASE
Desecador- CA
Balones- LMS
Estufa-Mermet
Papel filtro- sin marca
Bureta-AS
Cuchillo-florentina
Rallador
Licuadaora- Oster
Recipientes
Tela filtrante- sin marca
Guantes
Tamiz
Probeta
Equipo para destilar
Balanza analítica
Reactivos
Ácido sulfúrico al 98%
Alcohol al 97%
Hidróxido de sodio
Agua destilada
Ácido acético
Lugol
Solución de yoduro
Ácido cítrico
Agua destilada
Levadura (<i>Saccharomyces cerevisiae</i>)

Realizado por: Jindiachi N., 2023

3.5.2. Análisis físico-químico del tubérculo (*Xanthosoma sagittifolium*)

Para determinar las características físico-químicas del tubérculo *xanthosoma sagittifolium* se realizaron ensayos de humedad, cenizas, pH, y prueba de almidón bajo metodologías de diferentes normas y autores aplicadas en materias primas similares, con sus respectivas modificaciones las cuales se detallan a continuación:

3.5.2.1. Determinación del porcentaje de humedad

Para determinar el porcentaje de humedad se lo realizó por el método (AOAC 2005) (García, 2012, p. 62) con las siguientes modificaciones. Los tubérculos fueron lavados, pelados y cortados en rodajas de 1 cm de espesor, divididas en cuatro partes, muestras de 5 gramos. Se las colocó en la estufa a 105° C durante 24 horas, una vez culminado el tiempo las muestras fueron retiradas y colocadas en desecador por 30 minutos.

$$\% \text{ humedad} = (\%) = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\%$$

Donde:

W1= Muestra húmeda (g)

W2= Muestra seca (g)

3.5.2.2. Determinación del porcentaje cenizas por el método de calcinación

Para la determinación del porcentaje de cenizas, se procede a pesar en crisóles 5 gramos de muestra, se los colocó una mufla para ser calcinada empleando una temperatura de 550 °C por 3 horas, esta técnica se realizó por triplicado. Posteriormente se deja enfriar la muestra y se procede a realizar los cálculos (AOAC 2003, p. 5).

$$\text{Contenido de cenizas } (\%) = \frac{B - C}{(A - C)} \times 100\%$$

Donde:

A: Peso del crisol de porcelana con muestra (g)

B: Peso del crisol con cenizas (g)

C: Peso del crisol (g)

3.5.2.3. *Determinación del pH del tubérculo de la pelma*

Para determinar el pH, se procedió realizar un corte transversal de forma equitativa al tubérculo donde utilizamos el pH-metro de marca Hannah, donde se introduce el electrodo en la parte interna de la cara del tubérculo y procedimos a la lectura digital (Alfaro et al., 2011, p. 4).

3.5.2.4. *Prueba de almidón*

Para realizar la determinación de la existencia de almidón en el tubérculo de la pelma se procedió a lavar y cortar el corno del tubérculo por la mitad, donde se aplicó 3 gotas de lugol, y se espero a que absorba y verificar la coloración (Guerra y Martinez, 2010: p.4).

3.5.3. *Extracción del almidón de la Pelma (Xanthosoma sagittifolium).*

Para extraer el almidón de la Pelma, se lo realizó a través de la vía húmedad aplicada en la técnica de (Badiu 2006, p. 85) donde sigue los siguientes pasos:

- Lavado y pesado

Através del lavado del tubérculo se eliminó las impurezas adheridas al mismo, en este proceso se agregó agua potable y posterior se procedió a tomar el peso.

- Pelado

Se procede a eliminar la corteza para dividirlo en pedazos de de 3cm aproximadamente y se las introduce en una solución de ácido citrico 1:3 % v/v.

- Triturado

En una licuadora marca *Oster* durante 3 minutos a la velocidad mínima. Se obtuvo la pulpa y lechada de la pelma.

- Filtrado

La pulpa y la lechada de la pelma, se las filtró, y se lavó dos veces ya que evidenciando que el agua de lavado ya no tiene una apariencia lechosa .

- Sedimentación

Una vez realizada la filtración se dejó durante 24 horas para que el sólido sedimentara, se procede a eliminar el agua y se obtuvo el almidón, el mismo que se colocó en bandejas para dejar secar a temperatura ambiente durante 6 horas.

- Tamizado

El producto seco se procedió a tamizar con una malla de 106 μm , durante 30 minutos y finalmente se lo pesó. A continuación se presenta el diagrama de del proceso de extracción del almidón en la **ilustración 3-1**:

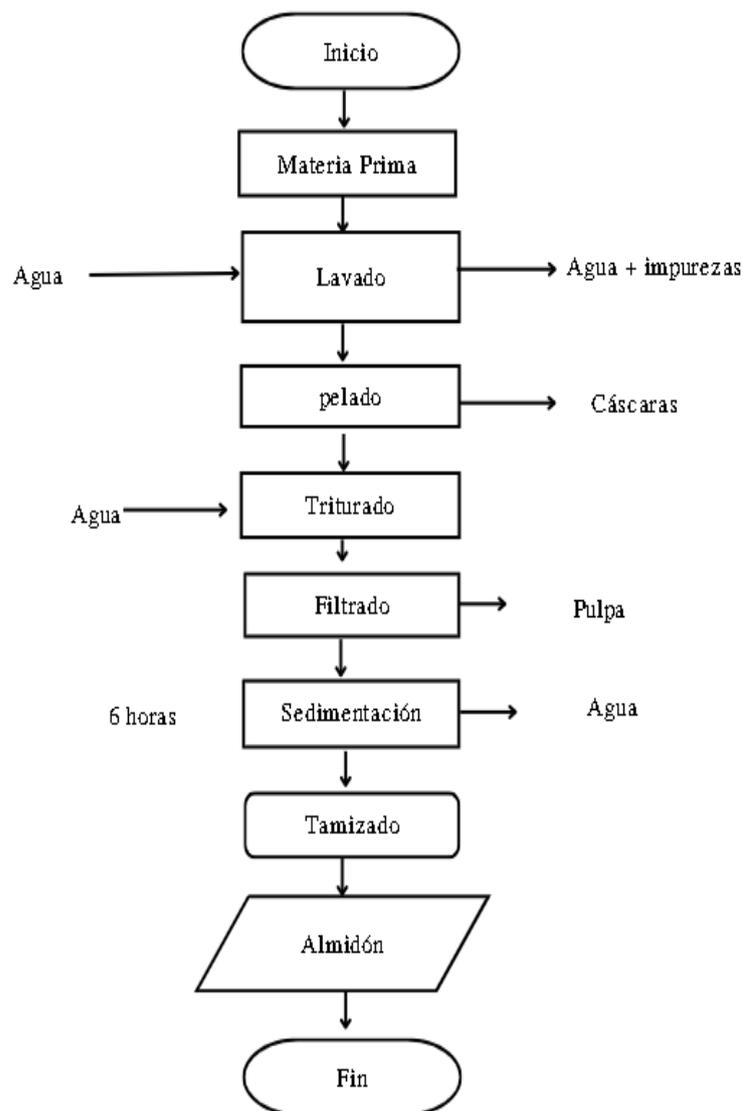


Ilustración 3-1: Diagrama de flujo de la extracción de almidón de la *Xanthosoma sagittifolium*

Fuente: Badiu, 2006

Realizado por: Jindiachi N., 2023

3.5.4. Caracterización físico-químico del almidón de la *Xanthosoma sagittifolium*

3.5.4.1. Temperatura de gelatinización (°C)

En una balanza se pesaron 10 gramos de almidón, se agregó agua destilada hasta completar los 100 ml, de la cual 50 ml se tomaron y se colocaron en otro vaso de precipitación de 100 ml, el mismo que posteriormente se colocará en un vaso de precipitación de 250 ml con agua caliente a 85 °C. Se agitó constantemente la suspensión de almidón hasta que se formó una pasta y con el termómetro verificar que la temperatura se mantenga constante (Grace, 1977, p. 117) (Aristizábal y Sanchez, 2007: p. 72).

3.5.4.2. Determinación del contenido de Amilosa

Para determinar el contenido de amilosa, se pesó 0,1 g de almidón de la palma se adicionó un 1 ml de etanol al 97 % y 9 ml de NaOH 1 M, se calentó esta solución un tiempo de 10 minutos hasta gelatinizar la muestra, al enfriarse se la aforó en un matraz volumétrico a 100 ml. Posteriormente de esta última se extrajo una alícuota de 5 ml, y en un matraz se añadió 1 ml de ácido acético 1M y 2 ml de solución de yodo, se aforó a 100 ml y se tomó una alícuota y se colocó en la celda, se leyó la absorbancia a 620 nm en el espectrofotómetro para aplicar en la siguiente fórmula y calcular (Hassan et al., 2013, p. 30)

$$\% \text{ de amilosa} = 3,06 * Absorbancia * 20$$

3.5.4.3. Determinación del contenido de Amilopectina

La determinación del porcentaje de amilopectina se la obtuvo por un cálculo de diferencia (Hassan et al., 2013: p. 30) con la siguiente fórmula:

$$\text{amilopectina (\%)} = 100 - \% \text{ amilosa}$$

3.5.4.4. Determinación de la solubilidad del almidón

En un vaso de precipitación de 25 ml se pesó 2 g de almidón, se añadió 5 ml de agua fría y se agitó. Posteriormente se traslada toda la suspensión sobre 100 ml de agua hirviendo contenida en un vaso de precipitación de 200 ml, dejar en ebullición por 2 minutos (NTE INEN 1456, 1986).

3.5.4.5. Densidad aparente

Para determinar la densidad aparente del almidón suelto se aplicó el ensayo aplicado por (Espinosa, 2017, p.21), donde se procedió a pesar la probeta vacía. Posteriormente se adicionó el volumen total de la probeta el contenido de almidón hasta que sea libremente completado, se tomó los datos para el realizar los cálculos con la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad aparente} = \frac{(\text{peso probeta} + \text{peso almidón}) - \text{peso probeta}}{\text{Volumen del almidón}} = \text{g/ml}$$

3.5.5. Obtención de azúcares mediante la hidrólisis ácida del almidón de la *Xanthosoma sagittifolium*

Se utilizó la técnica aplicada por (Abril, 2016, p. 50) con sus respectivas modificaciones en todos los tratamientos variando la concentración de H₂SO₄ y la temperatura de hidrólisis:

3.5.5.1. Preparación de soluciones de H₂SO₄:

Para la hidrólisis se utilizó diferentes concentraciones (3%, 6%, 10%) de H₂SO₄ donde se preparó soluciones 100 ml calculando el porcentaje de H₂SO₄ para cada solución aforando con agua destilada.

3.5.5.2. Hidrólisis ácida en el almidón de *Xanthosoma sagittifolium*

La hidrólisis ácida del almidón para la obtención de azúcares de la *Xanthosoma sagittifolium* se realizó mediante la técnica utilizada por (Abril, 2016, p. 50) con algunas modificaciones, la cual se describe a continuación:

- En una balanza se pesaron 3 gramos de almidón y en un matraz se añadió 50 ml de solución de H₂SO₄.
- Se colocó sobre una plancha de calentamiento a diferentes temperaturas, dependiendo el tratamiento, durante 40 minutos.
- Se enfrió la muestra y se filtra a través de un embudo y papel filtro.
- El filtrado se recogió en tubos de ensayo con tapas.

- Se midieron los grados Brix°, utilizando el refractómetro, colocando una gota de muestra en el prisma y se realizó la lectura.
- Se registraron los datos.

3.5.6. *Caracterización del extracto líquido hidrolizado a partir del almidón de la Xanthosoma sagittifolium*

3.5.6.1. *Determinación del pH*

Se determinó el pH con el pH-metro marca APERA. Se procedió a tomar 20 ml de extracto líquido en un vaso de precipitación de 50 ml. La medición se realizó mediante la introducción del electrodo directamente en el vaso. Después de cada medición se lavó el electrodo con agua destilada y se secó utilizando papel filtro (Barros, 2012, p.25).

3.5.6.2. *Determinación de la acidez titulable*

La acidez se determinó mediante el método de la (AOAC 95007, 1995), con sus modificaciones. Se tomaron 40 ml del extracto del líquido, en un vaso de 120 ml. Se utilizó una plancha de agitación magnética y el multiparamétrico para medir el pH marca APERA, para titular la mezcla con una solución de NaOH (0,1 N) hasta alcanzar un pH de 8,2.

Para expresa la acidez calculada en g/L de ácido ascórbico se realiza el siguiente calculo:

$$Acidez \left(\frac{g}{l} \right) = \frac{VmlNaOH * N * 1000}{ml muestra}$$

3.5.6.3. *Determinación del contenido de sólidos solubles*

Para medir el contenido de sólidos solubles se utilizó un refractómetro marca ATC, con un rango de 0 a 20 °Brix; se midió directamente el valor de sólidos solubles al colocar tres gotas de muestra sobre la lente del refractómetro, se utilizó agua destilada para limpiar la lente y a secar con papel absorbente (Barros, 2012, p. 25).

3.5.6.4. Determinación de la conductividad eléctrica

Se utilizó el multiparamétrico con electrodo para conductividad eléctrica. En un vaso de precipitación de 120 ml se colocó 70 ml del extracto hidrolizado, en el mismo que se introdujo el electrodo y se obtuvo por lectura directa la conductividad eléctrica (Barros, 2012, p. 25).

3.5.7. *Obtención de bioetanol a partir del extracto hidrolizado del almidón de *Xanthosoma sagittifolium**

La obtención del bioetanol se llevó a cabo mediante el proceso de biosíntesis de los azúcares hidrolizados del almidón de la palma con la utilización de levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*), para su posterior destilación.

3.5.7.1. Fermentación

Para la etapa de fermentación se aplicó el método de (Tejeda et al., 2010: p. 123) con algunas modificaciones donde se acondicionó el extracto hidrolizado, se reguló el pH a 4,65 agregando hidróxido de sodio. Se inoculó la solución agregando la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) en el extracto a 37°C, para activarla, colocarla en el fermentador en condiciones anaeróbicas.

3.5.7.2. Destilación

Una vez terminada la fermentación se procedió a realizar la destilación para esto se siguió los siguientes pasos (Tejeda et al., 2010: p. 123):

- Se colocó la solución fermentada en el matraz de destilación.
- Se armó el equipo para destilación simple
- Se abrió la válvula para el paso de agua de enfriamiento que va al condensador.
- Se encendió el sistema de calentamiento hasta una temperatura máxima de 78,2 °C.
- El proceso de destilación cuando acabó el fraccionamiento de destilación.

3.5.8. Caracterización del etanol obtenido

Para caracterizar el etanol obtenido se lo comparó bajo parámetros de la NTE-INEN Etanol anhidro 2478:2009, esta norma se aplica para el etanol anhidro de grado que se obtenga de procesos de fermentación y es utilizados en mezclas con combustibles líquidos (INEN 2478: 2009).

Tabla 3-3: Requisitos del etanol anhidro grado carburante

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo
Contenido de etanol	%	99,6	--
Acidez Total	Mg/100ml	---	3,0
Conductividad eléctrica	$\mu\text{S/m}$	---	500
Densidad a 20°C	Kg/m^3	---	791,5

Fuente: (INEN 2478: 2009)

Elaborado por: Jindiachi N., 2023

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis físico-químico del tubérculo de la *Xanthosoma sagittifolium*

Los resultados obtenidos de los métodos aplicados en el capítulo anterior para determinar las características físico-químicas contenidas en la pelma son el promedio de tres repeticiones aplicadas a los métodos de caracterización físico-químicas los cuales se detallan en **tabla 4-1** presentada a continuación:

Tabla 4-1: Caracterización físico-química del tubérculo

Parámetros	Resultados
Humedad (%)	60,40
Cenizas (%)	0,34
pH	5,93
Prueba de Almidón	+

Realizado por: Jindiachi N., 2023

Los resultados indican que el tubérculo de la pelma cultivada en la zona de Sevilla Don Bosco Morona, presenta un alto contenido de humedad de 60,40 %, menor al analizado por Alarcón (2010, p.42) con un 68,4 % de humedad, el porcentaje de humedad hallado en la pelma puede ser disminuido en el proceso de extracción de almidón (Guadrón, 2013, p.117).

Se observó que el porcentaje de cenizas determinado en la pelma es de 0,34% siendo menor al obtenido por Ordoñez (2020, p. 43) en el mismo tubérculo cuyo valor es de 0,4 %, sin embargo coincide con el de la papa (0,34 %) presentado en el ensayo de (Guizar et al., 2008, p.84).

El valor del pH fue de 5,93 menor al arrojado en el estudio de Palomino et al. (2010, p.62), con un pH de 6,78 en un rango entre ácido y casi neutro.

La muestra del tubérculo presento un color azul violeta intenso indicando la presencia de amilosa y amilopectina, componentes del almidón, cuyas propiedades químicas son importantes, ya que se relacionan con la facilidad con el que el enlace polimérico que se hidroliza ya sea con enzimas o ácidos convirtiéndose en D-glucosa (Fennema, 2000, p. 116), el almidón será extraído y utilizados en los procesos de obtención de azúcares fermentables.

4.2. Extracción de almidón

En la extracción del almidón de la *Xanthosoma sagittifolium* se obtuvo un rendimiento del 26,34%, en un estudio de González et al. (2020: p. 12) mediante el mismo método de extracción de la malanga blanca presenta un valor de la media de 27,13% por lo tanto, se determina que se obtuvo un rendimiento eficiente, la variación del porcentaje del almidón obtenido se debe a diferentes condiciones ambientales de cultivación del mismo, como también la edad que presenta el tubérculo al momento de la extracción.

$$\text{Rendimiento de la extracción de almidón} = \frac{303.324}{1151.571} * 100 = 26,34\%$$

El proceso de obtención del almidón se indica en la ilustración 4-1 a continuación:

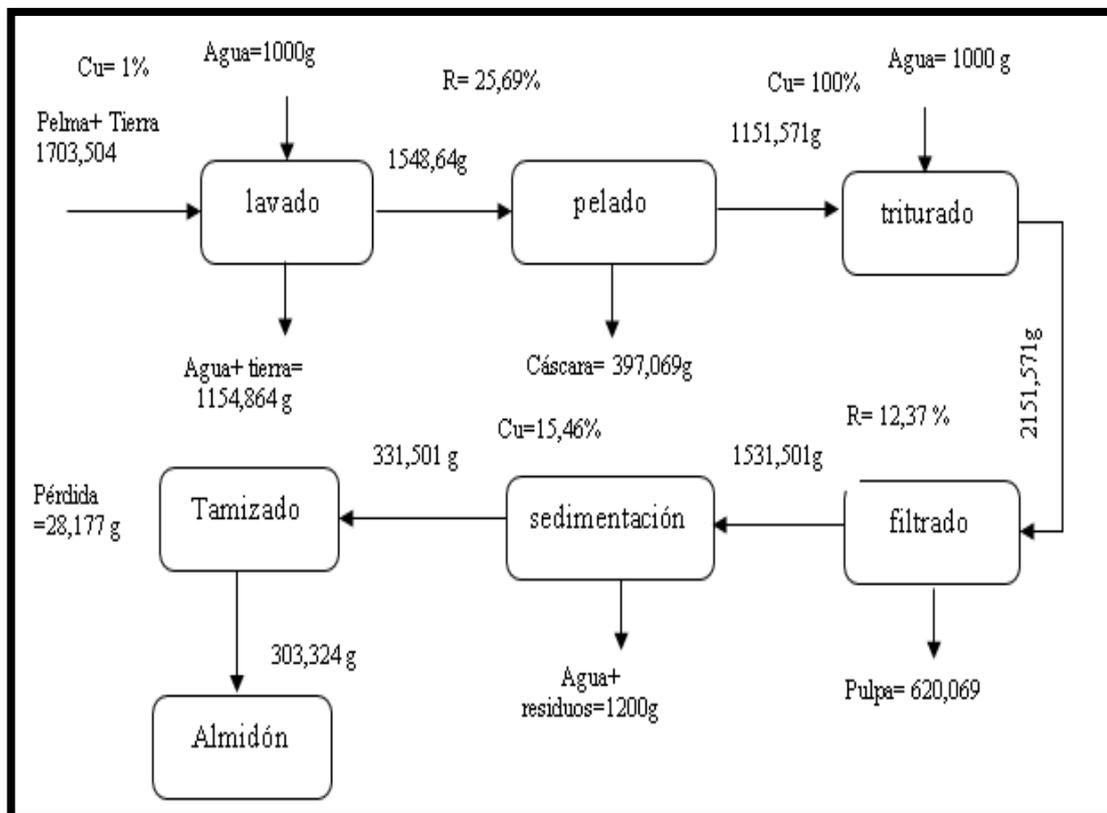


Ilustración 4-1: Balance de masa en la extracción del almidón a partir de *la Xanthosoma sagittifolium*

Realizado por: Jindiachi N., 2023

4.3. Resultados de la caracterización físico-química de almidón extraído de la pelma

La caracterización físico-química del almidón obtenido se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 4-2: Caracterización del almidón de la *Xanthosoma sagittifolium*

Parámetro	Unidad	Resultado
Gelatinización	Temperatura °C	55
Amilosa	Porcentaje (%)	18,81
Amilopectina	Porcentaje (%)	81,19
Solubilidad		Es soluble
Densidad aparente	g/ml	0,626

Realizado por: Jindiachi N., 2023

El almidón de la pelma presentó una temperatura de gelatinización de 55 °C, con valores aproximados presentados por Narváez (2019, p. 60), con temperaturas de gelatinización de 55,18 °C y 54,32°C en dos variedades *Colocasia esculenta L.* y *X. sagittifolium L.* respectivamente, sin embargo la proporción de amilosa y amilopectina cumplen un rol importante ya que está directamente relacionada con las propiedades térmicas de los almidones (Franco y Wenzel, 2006 p. 39). Se considera que la temperatura de gelatinización en raíces y tubérculos es menor que en cereales porque el gránulo de almidón absorbe el agua rápidamente, debido al debilitamiento entre las fuerzas de atracción de las moléculas (amilosa /amilopectina) (Alvis et al. 200:, p.24).

Según (Guardado, 2007, p. 8)(Morejón, 2016, p.4), indica que, los almidones de las raíces y tubérculos que tienen un porcentaje de 17-23 % de amilosa que se clasifican dentro del rango de los normales, ubicando el valor de 18,81 % de amilosa hallado en el almidón de la pelma en este estudio. Las diferencias en los contenidos de amilosa, varían según la fuente biológica de donde provienen los almidones (Alvis et al., 2008, p.23).

El porcentaje de amilopectina fue de 81,19%, siendo este menor comparado con el de la yuca que es de 83,3 % (Granados et al. 2014, p. 95), donde la amilopectina es responsable de la viscosidad, además de que (Riley et al., 2006: p. 210) (Vargas y Hernandez, 2012, p: 40) clasifica este tipo de almidón dentro de una estructura de tipo A que son las que abarcan un menor contenido de amilosa y mayor contenido de amilopectina.

La solubilidad se midió de forma cualitativa, y efectivamente es soluble en agua, no obstante este fenómeno se relaciona con un mayor contenido de amilopectina presente en los almidones, donde sus ramificaciones laterales alfa 1-6 (amilopectina) de los almidones y el tamaño menor de los gránulos, facilitan el ingreso del agua a los espacios intermoleculares, aumentando la solubilidad

de los polímeros, siendo la amilopectina la que incide en el aumento de la solubilidad de las moléculas en el agua y en la estabilidad de la viscosidad (Hwang y Kokini, 1992: p.43)(Torres et al., 2013: p. 34).

La densidad aparente determinada fue de 0,6426 g/ml un valor que se aproxima al de 0,649 g/ml la presentada en el estudio (Espinosa, 2017, p. 43)

Según Espinosa (2017, p. 60) y las propiedades físico-químicas de la palma utilizada abarca las características aptas para el proceso de obtención de azúcares fermentables y la elaboración de bioetanol en comparación otras materias primas utilizadas para este proceso.

4.4. Resultados de la obtención de azúcares mediante la hidrólisis ácida del almidón de la *Xanthosoma Sagittifolium*

Una vez realizada la reacción de hidrólisis para cada tratamiento se midió los Brix° de cada solución resultante, como una medida de referencia para cuantificar la cantidad de azúcares obtenidos en el proceso de hidrólisis. Se obtuvieron los siguientes resultados presentados en la **tabla 4-3**.

Tabla 4-3: Tratamientos aplicados a la hidrólisis ácida

N°	Variables	Repetición			°BRIX	Promedio
		R1	R2	R3		
T1	C1t1	7	7,3	7,1	° B R I X	7,13
T2	C2t1	7,2	7,6	7,9		7,57
T3	C3t1	13,9	14	14,2		14,03
T4	C1t2	7,2	7,6	7,9		7,56
T5	C2t2	9,1	9,4	9,9		9,447
T6	C3t2	15	15,1	15,3		15,13
T7	C1t3	12,5	12,1	12,4		12,33
T8	C2t3	13,8	13,7	13,9		14,4
T9	C3t3	16,5	16,8	17,2		17,07

Realizado por: Jindiachi N., 2023

4.4.1. Análisis estadístico de los resultados obtenidos

Para el análisis estadístico se realizó un análisis de la varianza con una prueba Tukey con un nivel de confianza del 95 % los cuales se detallan a continuación:

Tabla 4-4: Análisis de Varianza

Variable	N	R2	Aj	CV					
Brix	27	1	0,99	2,22					
Cuadro de Análisis de varianza									
F.V	Sc	gl	CM	F					
Modelo	332,32	10	33,23	501,96	<0,0001				
Temperatura	113,87	2	56,94	860,01	<0,0001				
Concentración	206,49	2	103,24	1559,5	<0,0001				
Bloques	1,03	2	0,51	7,76	0,0044				
Temperatura* Concentración	10,93	4	2,73	41,27	<0,0001				
Error	1,06	16	0,07						
Total	333,38	26							
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS= 0,74737									
Temperatura	Concentración	Medias	n	E.E					
90	10	17,07	3	0,15	A				
80	10	15,13	3	0,15		B			
70	10	14,03	3	0,15			C		
90	6	13,8	3	0,15			C		
90	3	12,33	3	0,15				D	
80	6	9,47	3	0,15					E
70	6	7,6	3	0,15					F
80	3	7,57	3	0,15					F
70	3	7,13	3	0,15					F
<i>Medias con una letra común no son significativamente diferentes</i>									

Realizado por: Jindiachi N., 2023

Al analizar la variable Brix°, se puede determinar que entre los distintos tratamientos existen efectos significativos en el proceso de hidrólisis ácida del almidón de *X. sagittifolium*, donde se determinó que el mejor tratamiento es t3C3, ubicándose en el primer lugar en la prueba estadística con el rango A, con el valor medio de 17,07 Brix°, mientras que el último rango de la prueba estadística se ubica en el tratamiento t1C1, con valor medio de 7,13 Brix°. Dada esta relación se puede observar en el siguiente gráfico el cual indica el orden de prioridad de los tratamientos que presentan mayor concentración de azúcares dependiendo del tratamiento.

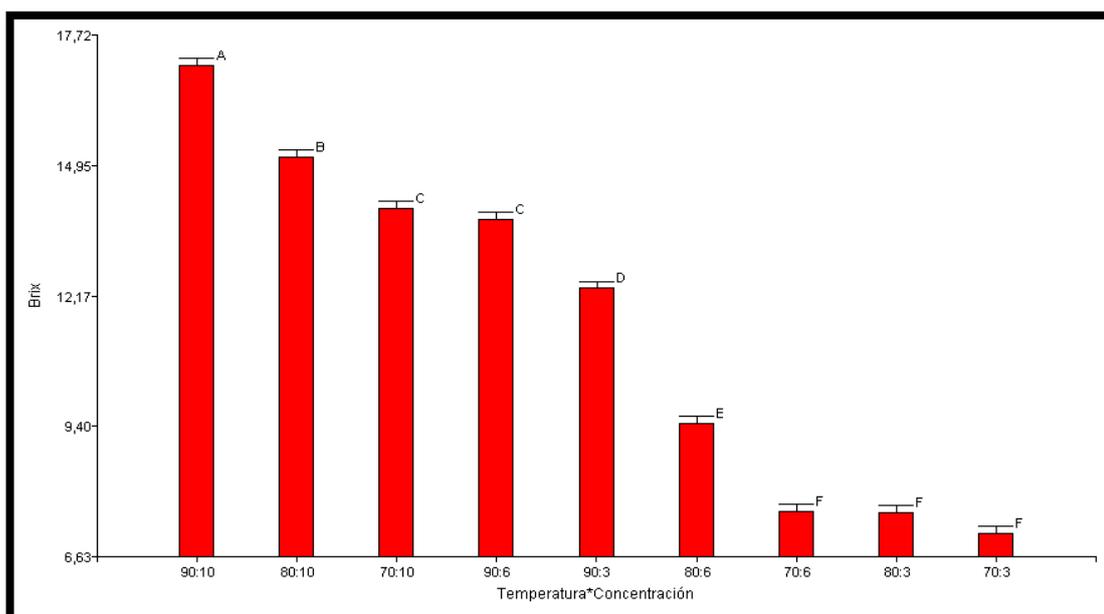


Ilustración 4-2: Brix° obtenidos en el proceso de hidrólisis ácida sometidas a diferentes Temperaturas y concentraciones

Realizado por: Jindiachi N., 2023

Se puede observar en la **ilustración 4-2**, que el aumento de la concentración y la temperatura, inciden en el grado de degradación de las moléculas de almidón (Murgas y Vásquez, 2021: p. 21). El incremento de la concentración de ácido sulfúrico más la combinación de calor producen un efecto de catálisis inorgánica, por lo que en el almidón separa los monómeros de alfa-glucosa que lo compone, actuando estos dos parámetros como activadores catalíticos del proceso (Arias et al., 2020: p.5). A medida que actúa el ácido, el peso molecular y la viscosidad del producto decrecen y el poder reductor aumenta (Murgas y Vásquez, 2021: p. 21), por tal motivo el tratamiento T9, presenta mayor grados Brix°, en la extracción de azúcares fermentables.

4.5. Resultados de la caracterización de la extracto hidrolizado

Los resultados de la caracterización del extracto hidrolizado se presentan a continuación:

Tabla 4-5: Caracterización del extracto hidrolizado

Parámetro	Unidad	Resultado
pH		0,64
Sólidos solubles	Brix°	17,2
Índice de acidez	g/l NaOH 1 N	46,4
Conductividad eléctrica	mS	207

Realizado por: Jindiachi N., 2023

El valor de pH del extracto hidrolizado es de 0,64 está dentro de un rango ácido debido al tipo proceso de hidrólisis aplicado al almidón, donde se utilizó el ácido sulfúrico, no obstante, se

requiere un pH mínimo de 4,5 para que la levadura trabaje y cumpla con su función posteriormente en la fermentación (Altamirano, 2022, p.53).

El contenido de sólidos solubles del extracto hidrolizado, tuvo un valor de 17,2 Brix°, valor que se aproxima al valor encontrado en el estudio de (Acán, 2020, p. 29) que utilizó la *Colocassia esculenta* con un valor de 16, 03 Brix°, refiriéndose a la concentración de azúcares obtenidos.

El valor de la acidez titulable es de 46,4 g/l NaOH, el mismo que está relacionado con el pH, debido al uso del ácido en el proceso de hidrólisis ácida, siendo este un inconveniente, para el proceso de fermentación ya que previamente requiere ser neutralizado (Altamirano, 2022, p. 55).

La conductividad eléctrica de los extractos líquidos corresponde al promedio de las tres repeticiones con un valor de 207 Ms, el mismo que está relacionado con la cantidad de iones de ácido sulfúrico (SENER, 2010, p.29).

En la ilustración 4-4, se presenta el balance de masa de que se llevó a cabo en el proceso de hidrólisis ácida.

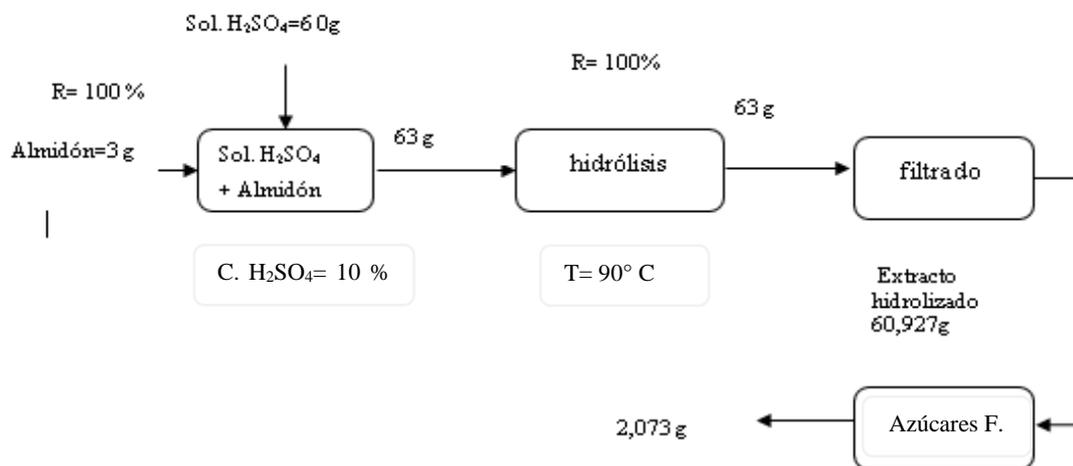


Ilustración 4-3: Balance de masa del proceso de hidrólisis
Realizado por: Jindiachi N., 2023

4.5.1. Rendimiento del proceso de hidrólisis

En el proceso de hidrólisis ácida se obtuvo un rendimiento de 69,1 %, menor al comparado con el rendimiento del 80 % presentado por (Acán, 2020, p.34) aplicado en el tubérculo de la *Colocasia esculenta* por hidrólisis enzimática.

$$\text{Rendimiento del proceso de hidrólisis} = \frac{2,073}{3,00} * 100 = 69,1\%$$

4.5.2. Resultado de la caracterización de etanol

El resultado de la caracterización del etanol obtenido bajo la norma (INEN 2478: 2009) se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 4-6: Caracterización del etanol

Requisitos	Unidad	Resultados
Contenido de etanol	%	8,5
Acidez total (como ácido acético)	mg/100ml	1,76
Conductividad eléctrica	μS/m	55,8
Densidad a 20°C	Kg/m ³	986

Realizado por: Jindiachi N., 2023

El contenido de etanol fue del 8,5 %, menor a la que se solicita como requisito mínimo expuesto en la **tabla 3-3**, sin embargo, es mayor al obtenido en el estudio de Acán (2020, p.31) que fue de 4,667% obtenido por el mejor tratamiento, en otro estudio de Espinoza (2014, p.55) alcanzó el máximo 7,11% de contenido de alcohol, para obtener el requisito solicitado en esta norma, este tipo de etanol obtenido es azeotrópico, y en otro estudio presentado por Mallaupoma y Ramos (2014: p. 51) obtuvo un grado de alcohol de 50,50 %, obtenidos a partir de la papa, estos contenidos de alcohol por destilación simple llegarán a una concentración de 96 % máxima, por lo que se debe realizar una técnica de rompimiento, con una destilación fraccionada (Noguera, 2020, p. 2).

El contenido de acidez fue de 1,76 mg/100 ml menor al requisito de la norma que es de máximo 3, sin embargo en la acidez caracterizada de 10,5mg/100ml es mayor al presentado requerido en la obtención de la alcohol de la papa (Mallaupoma y Ramos, 2014: p. 55).

La conductividad eléctrica presente fue de 55,8 mg/ 100ml, es menor como la cantidad de iones presentes en el bioetanol, mientras más iones contenga, mayor es su conductividad y su poder corrosivo en el sistema de distribución del combustible incrementa (Gracida y Pérez, 2014: p. 222), esta conductividad está relacionada con el contenido de etanol obtenido.

Con una densidad de a 20 °C, tiene un valor de 986 kg/m³ alto en comparación con el requisito presentado en la **tabla 3-3**, con un valor de 791 kg/m³, la densidad presentada en otro estudio fue

de 929,2 kg/m³ menor al encontrado es este estudio, y está estrechamente relacionado principalmente con el contenido de etanol obtenido, y debido al tipo de alcohol azeotrópico que está compuesto por etanol y agua (Noguera, 2020, p. 2), para separar estos últimos se requiere un adición de compuesto químico “modificador”, a una mezcla de alimentación en una columna de destilación fraccionada (Wasykiewicz et al., 1999: p84.).

Comparando con los requisitos descritos en la norma (INEN 2478: 2009), el etanol obtenido en una primera destilación no es apto para la utilización de en una mezcla de biocombustible, principalmente por su contenido bajo de etanol, pero cabe recalcar que se puede realizar otro tipo de destilación para obtener un contenido de alcohol más puro.

4.5.2.1. Comparación del rendimiento del bioetanol con otras materias primas

El rendimiento hallado en el proceso de obtención de etanol tuvo un 20,83 %, se comparó con otras fuentes.

$$\text{Rendimiento en la obtención de etanol al } 8,5\% = \frac{250}{1200g} * 100 = 20,83\%$$

Se realizó las respectivas conversiones, para transformar y se obtuvo un rendimiento de etanol puro con un valor de 65,625 L/TM, que es sumamente baja comparada con el rendimiento de la caña de azúcar y el maíz con un rendimiento de 654 y 408 L/TM respectivamente, por ende se determina que el rendimiento del proceso de etanol no es eficiente con respecto a otras materias primas (Studocu, 2019, p.1).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

- En la presente investigación se caracterizó la *Xanthosoma sagittifolium*, mediante análisis físico-químico y presenta un valor de humedad de 60,40 %, un porcentaje de cenizas de 0,34 % , un pH de 5,95 y presencia de almidón, los valores son aproximados a expuestos en estudios con la misma especie y con otros tubérculos similares. Además se determinó las características físico-químicas del almidón con una temperatura de gelatinización de 55°C, un porcentaje de amilosa de 18,81 %, y un contenido de amilopectinca de 81,19%, una densidad aparente de 0,626 g/ml y presenta solubilidad en agua.
- El mejor tratamiento fue el de t3C3 empleando Temperatura de 90°C y 10 % (v/v) de concentración de H₂SO₄, siendo estas las mejores condiciones en el proceso de hidrólisis, obteniendo un extracto hidrólizado de 17,07 Brix°.
- Las características presentadas comparadas con la norma NTE- INEN 2478:2009 ETANOL ANHIDRO, obtuvo los siguientes resultados con un contenido de 8,5 % de alcohol , una conductividad eléctrica de 55,8 y densidad de 0,08 g/ml a 20 °C, estas no son aptas para una mezcla de biocombustibles, sin embargo sus condiciones pueden mejoradas mediante, una destilación fraccionada para la obtención de un alcohol más puro.

RECOMENDACIONES

- Según las características físico-químicas del almidón obtenido, se sugiere evaluar el almidón obtenido para la elaboración de un bioplástico.
- Se recomienda identificar y cuantificar los azúcares obtenidos posterior al proceso de hidrólisis.
- En la etapa de la hidrólisis se recomienda usar otro ácido como el ácido clorhídrico.
- Se recomienda experimentar con el tipo de hidrólisis enzimática .
- Se recomienda realizar un proceso de destilación de fraccionada para obtener un contenido de alcohol mayor.

BIBLIOGRAFÍA

ABRIL, Mónica. Optimización de la reacción de hidrólisis ácida de los residuos de la planta de banano, para mayor rendimiento a glucosa. (Trabajo de titulación.). [En línea]Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Químicas, Escuela de Ingeniería Química. Cuenca- Ecuador. 2016.pp 51-52. [Consulta: 2022-09-12]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/25974/1/Tesis.pdf>

ACÁN, Ángel. Efecto de la temperatura y pH sobre el proceso industrial para la obtención de bioetanol por hidrólisis enzimática a partir de Colocasia esculenta (papa china)(Maestría en Ingeniería Química aplicada) [en línea]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador. 2020. pp.20-24. [Consulta: 2022-09-13]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/14502/1/20T01361.PDF>

AGUILAR, Diana. Producción de etanol a partir de bagazo de caña panelera mediante un sistema híbrido de fermentación y pervaporación(Trabajo de maestría). Universidad Nacional de Colombia. pp. 1-160 [Consulta:2022-11-12]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/7965>

ALARCÓN, Aurea. Producción de bioetanol con *Zymomonas mobilis*. (Maestría en Ciencias en Bioprocesos) Instituto Politécnico Nacional, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología. México. 2010. pp. 42. [Consulta: 2022-12-03]. Disponible en: <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/10599/161.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ALFARO, V.; et al.” Determinación de pH y sólidos solubles (BRIX)en tubérculos de papa (*Solanum tuberosum*) y olluco (*Ullucus tuberosus*)”. *Universidad Privada Antenor. [En línea], 2011, Perú.* Pp. 1-6 [Consulta: 2022-11-22]. Disponible en <https://pdfcoffee.com/determinacion-de-ph-en-tuberculos-de-papa-3-pdf-free.html>

ALMIRÓN TORRES, Evelyn karin Katherine. “Evaluación de la influencia de las enzimas pectolíticas y levaduras secas activas en el proceso de fermentación para el mejoramiento del perfil sensorial del pisco puro aromático variedad italiana (*Vitis vinífera L. var Italia*) elaborado en la bodega de I.E.T.S.P Centro de formación agrícola Tacna” (Mestría en ciencia y tecnología de alimentos- Enología) Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Escuela de Postgrado. [En línea], 2018, Perú- pp 56-57[Consulta: 2022-12-04]. Disponible en: http://repositorio.unjbg.edu.pe/bitstream/handle/UNJBG/3463/145_2018_almiron_torres_esk_e

[spg_tecnologia_de_alimentos_enologia.pdf?sequence=1&isAllowed=y](#)

ALONSO, A.; & BELLO A. Materias primas usadas para la producción de etanol de cuatro generaciones: retos y oportunidades. *Agrociencia* [En línea], vol. 52, no. 7 (2018), (México) pp. 967-990. [Consulta: 2022-10-18]. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952018000700967

ALTAMIRANO SAMANIEGO, José Ricardo; & PORTILLA FAREZ Jenny Lorena. Evaluación del proceso de obtención de etanol a partir de almidón de camote (*Ipomoea batatas L*), mediante métodos de hidrólisis ácida y enzimática, a escala de laboratorio (Trabajo de titulación) [en línea]. Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Químicas. Cuenca-Ecuador. 2022. pp.46-72. [Consulta:2022-09-23]. Disponible en: [https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/38666/1/Trabajo de Titulación.pdf](https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/38666/1/Trabajo_de_Titulación.pdf).

ÁLVAREZ MACIEL, Carlos. Biocombustibles: desarrollo histórico-tecnológico, mercados actuales y comercio internacional. *UNAM* [en línea], 2009. México, vol. 359. Pp 63-87 [Consulta:2023-02-02]. Disponible en: <http://www.economia.unam.mx/publicaciones/econinforma/pdfs/359/04carlosalvarez.pdf>

ALVIS, Armando; et. al. Análisis Físico-Químico y Morfológico de Almidones de Ñame, Yuca y Papa y Determinación de la Viscosidad de las Pastas. *Información tecnológica* [en línea]. 2008, vol. 19, no. 1, pp. 19-28. ISSN 0718-0764. DOI 10.4067/S0718-07642008000100004. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v19n1/art04.pdf>.

ANDRADE CASTAÑEDA, H.; et al. Emisión de gases de efecto invernadero por uso de combustibles fósiles en Ibagué, Tolima (Colombia). *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria* [en línea]. 2016, vol. 18, no. 1, pp. 103. ISSN 2500-5308. DOI 10.21930/rcta.vol18_num1_art:561. Disponible en: <https://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/view/561>.

ANGULO VALENCIA, Alexandra Elizabeth. Efectividad de microorganismos nativos en relación a *Aspergillus Niger*, *Clostridium Thermocellum* ATCC y *Zymomonas Mobilis* para la Producción de Bioetanol a Partir de Residuos de Sandía “*Citrullus Lanatus*” a Escala Piloto. (Trabajo de titulación). Escuela Politécnica del Ejército. Departamento de ciencias de la vida, Ingeniería en Biotecnología. Sangolquí-Ecuador (2010). pp. 1-144. [Consulta: 2022-11-20]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/2828/T-ESPE->

[030354.pdf?sequence=1&isAllowed=y](#)

AOAC, 1995. Association of Oficial Analytical Chemist (AOAC). *Methodsof analysis of AOAC Internacionales.*

AOAC, 2003. *Métodos de análisis de la asociación oficial de química analítica para determinar humedad, fibra, cenizas, grasa y proteína.*

AOAC, 2005. Methods 925.09: *Moisture in cassava – Air Oven Methods: Official Methods of Analysis of AOAC International.*

ARANO, Samantha.; et al. An efficient protocol for commercial micropropagation of malanga (Colocasia esculenta L. Schott) using temporary immersion. *Scientia Horticulturae [En línea]*, 2020, vol (261) pp. 304-4238. [Consulta:2022-12-14]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304423819308842>

ARISTIZÁBAL, Johanna; & SANCHEZ, Teresa. Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. *Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación [en línea]*. Roma. 2007. no. 978-92-5-305677-4, pp. 153. ISSN 1020.4334. Disponible en: <https://www.fao.org/3/a1028s/a1028s.pdf>

ARMAS, Francisco. *El cultivo de la Papachina y pelma: Manual técnico para el pequeño agricultor.* [Blog] Macas:Cultural S.A ,2012. [Consulta:2013-02-12] Disponible en: <https://es.slideshare.net/INGPAKOWPN/cultivo-de-la-papa-china-y-pelma-ecuador-provincia-de-morona-santiago-mts-ingfrancisco-martin-armas>

BADIU, D. “Química de los Alimentos”. *En Analytical implication of the classification starch as dietary fiber*, 2006. pp. 85-86

BARRIENTOS, Felipa. Los biocombustibles y la producción de etanol. *Pensamiento Crítico.* [En línea], (2008), volumen 9, 115–136[Consulta: 2022-10-04]. Disponible en: <https://doi.org/10.15381/pc.v9i0.9027>

BARROS BERRONES, Franz Sebastian. Hidrólisis enzimática del almidón residual en extractos líquidos de camote (Ipomea batatas L.) para elaboración de de miel y estudios de sus propiedades funcionales.(trabajo de titulación). [En línea]. Escuela Politécnica Nacional, Facultad

de Ingeniería Química y Agroindustria. Quito- Ecuador. 2012.pp. 1-82. [Consulta:22-10-25]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/5149/1/CD-4534.pdf>

BIROL,Faith. “Key World Energy Statistics”. *International Energy Agency* [en línea], 2019, (Francia) (1). pp.74. [Consulta:2022-09-14]. Disponible en: https://www.connaissancedesenergies.org/sites/default/files/pdf-actualites/Key_World_Energy_Statistics_2019.pdf

CARRIÓN FLOREZ, Lucero. Obtención de almidón y glucosa a partir de Oca. (Tesis de grado)Universidad Nacional del Altiplano Altiplano-Perú. 2018. pp. 98. Consulta: 2022-10-13]. Disponible en: https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RNAP_30f9614c00bcde32b558d3d74063fd70/Details

CASTAÑO, Hader;& MEJIA Carlos. Producción de etanol a partir de almidón de yuca utilizando la estrategia de proceso sacarificación- fermentación simultaneas(SSF). *Vitae* [En línea] 2008, 15(2), 251-258. [Consulta:2022-11-13]. ISSN: 0121-4004. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169815391012>

CERILO, A. *Las emisiones mundiales de los combustibles fósiles son un 60% superiores a las de 1990* [Blog]. 2019. [Consulta:2022-10-17]. Disponible en: <https://www.lavanguardia.com/natural/20230607/9024487/aemet-pronostica-verano-mas-calurosos-ultimos-30-anos.html>

COREA, G.; & MORALES, P. Análisis del proceso de obtención de bioetanol a partir del bagazo de la caña de azúcar, por hidrólisis ácida diluida, fermentación separada. [en línea]. Universidad Autonoma de Nicaragua, Managua. 2019. [Consulta:2022-12-03]. Disponible en: [https://repositorio.unan.edu.ni/13595/1/Gustavo Emmanuel Corea Vega.pdf](https://repositorio.unan.edu.ni/13595/1/Gustavo%20Emmanuel%20Corea%20Vega.pdf)

DIAZ GONZÁLES, Ana Isabel. Hidrólisis de residuos de la venta de verduras y hortalizas para la producción de bioetanol (Maestría) [en línea].Universidad de Oviedo, Máster Universitario de Biotecnología Alimentaria. 2015. pp. 1-59. [Consulta:2022-12-13]. Disponible en: https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/33157/TFM_AnaIsabelDiazGonzalez..pdf?sequence=6&isAllowed=y.

DUARTE, O.; et al. “Estudio de Factibilidad de la Producción de Biodiesel en Reactores Tanque Agitado Continuo de Laboratorio”. *Revista Tecnología Y Ciencia*, 2012. Vol. (20), pp. 42–49. [Consulta:2022-11-12]. Disponible en: <https://rtyc.utn.edu.ar/index.php/rtyc/article/view/957>

ESPINOSA CAJAS, Fausto Javier. Obtención de etanol mediante hidrólisis alcalina, enzimática y fermentación a partir del excedente orgánico del banano variedad *Musa Paradisiaca* (Trabajo de titulación). Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ingeniería Química. Quito, Ecuador. 2013. pp. 1-84. [Consulta:2022-11-15]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/1821/1/T-UCE-0017-44.pdf>

ESPINOSA DÍAZ, María Eugenia. Obtención de bioetanol a partir de malanga por medio de hidrólisis y fermentación de azúcares. Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ingeniería Química. Quito, Ecuador. 2017. pp. 162. [Consulta:2022-11-02]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/9777/1/T-UCE-0017-006-2017.pdf>

ESPINOZA ALVARADO, Segundo Víctor. Obtención de alcohol etílico a partir del almidón de banano (cavendish gigante) en la provincia de el oro, el guabo, 2014. Universidad Técnica de Machala. Unidad Académica de Ciencia Químicas y de la salud. Machala, Ecuador. 2014. pp.1-56. [Consulta:2022-11-03]. Disponible en: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/2865/1/CD000002-TRABAJO%20COMPLETO-pdf>

FAO. "Biocombustibles". *OECD iLibrary* [en línea], 2010. Volumen (16) , pp. 99-116. DOI 10.1787/agr_outlook-2010-6-es. [Consulta:2022-12-23]. Disponible en: [https://www.oecd-ilibrary.org/sites/d4bef568-es/index.html?itemId=/content/component/d4bef568-es#:~:text=Los%20biocombustibles%20\(bioetanol%20y%20biodi%C3%A9sel,cereales%2C%20yuca%20o%20remolacha%20azucarera](https://www.oecd-ilibrary.org/sites/d4bef568-es/index.html?itemId=/content/component/d4bef568-es#:~:text=Los%20biocombustibles%20(bioetanol%20y%20biodi%C3%A9sel,cereales%2C%20yuca%20o%20remolacha%20azucarera)

FENNEMA, Owen., 2000. Química de los Alimentos. *Editorial ACRIBA*, vol. 2da ed, pp. 228-240. [Consulta:2022-12-23]. Disponible en: https://www.editorialacriba.com/libro/quimica-de-los-alimentos_53689/

FRANCO, M.; & WENZEL, E. Carbohidratos en alimentos Regionales en América. *Editorial de la Universidad de Sao Paulo*, 2006. pp. 38,46.

GARCIA, J.; et al. “ A nation-wide planning of agro-residue utility for bioethanol production

and power generation in Ecuador”. *Energy Procedia*, [en línea], 2013. vol. 34, pp. 57-63. ISSN 18766102. DOI 10.1016/j.egypro.2013.06.733. [Consulta:2022-12-23]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/273859679_A_Nation-wide_Planning_of_Agro-residue_UTILITY_for_Bioethanol_Production_and_Power_Generation_in_Ecuador#fullTextFileContent

GARCÍA, Carlos; et al. “Uso de horno microondas en la determinación de contenido de humedad : yuca , ñame y plátano”. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* [en línea], 2012, Colombia. , vol. 10, no. 1, pp. 60-66. [Consulta:2022-10-03]. Disponible en: [file:///C:/Users/briel/Downloads/Dialnet-UsoDeHornoMicroondasEnLaDeterminacionDeContenidoDe-6117715%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/briel/Downloads/Dialnet-UsoDeHornoMicroondasEnLaDeterminacionDeContenidoDe-6117715%20(1).pdf)

GARCIA, J.; et al. “Estimating the potential and planning of bioethanol production from agro-residues based on a model-predicted NPP under climate change in Ecuador”. *Journal of Agricultural Meteorology* [en línea], 2014, vol. 70, no. 4, pp. 171-185. ISSN 0021-8588. DOI 10.2480/agrmet.D-13-00027. [Consulta:2022-11-23] Disponible en: https://www.jstage.jst.go.jp/article/agrmet/70/4/70_D-13-00027/_pdf

GONZÁLEZ, J.; et al. “ Extracción de almidón de malanga blanca, una alternativa socioambiental para la producción de bases poliméricas biodegradables”. *ConcienciaDigital* [en línea] 2020, vol. 3, no. 3, pp. 6-26. ISSN 0317-8471. DOI 10.33262/concienciadigital.v3i3.1263. [Consulta:2022-12-23]. Disponible en: <http://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/ConcienciaDigital/article/view/1263a>.

GUADRÓN DE DELGADO, Erika Nymie. Diseño y desarrollo del proceso para la extracción de almidón a partir de guineo majoncho verde (*Musa sp. Variedad Cuadrado*), para su uso en la industria de alimentos (Trabajo de titulación). [en línea] Universidad de el Salvador, Facultad de ingeniería y arquitectura, Escuela de ingeniería química e ingeniería de alimentos. Ciudad Universitaria, Salvador. 2013. pp. 1-166. [Consulta:2022-12-23]. Disponible en: <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/4927/1/Dise%C3%B1o%20y%20desarrollo%20del%20proceso%20para%20la%20extracci%C3%B3n%20de%20almid%C3%B3n%20a%20partir%20del%20guineo%20majoncho%20verde%20%28musa%20sp.variedad%20cuadrado%29%2C%20para%20su%20uso%20en%20la%20industria%20de%20alimentos.pdf>

GUERRA, S.; & MARTINEZ, M. “Identificación de almidón en tubérculos como camote (*Ipomoea batatas*), jícama (*Pachyrhizus erosus*), oca (*Oxalis tuberosa*), papá(*Solanum* Tu

berosum), yuca (*Manihot esculenta*) y zanahoria blanca(*Arracacia xanthorrhiza*); utilizando el método del yodo”. *UTN FICAY*. [en línea]. 2010. pp.1-8.[Consulta:2022-12-23]. Disponible en: <https://www.scribd.com/document/464074523/Prueba-del-almidon-en-6-tuberculos-docx#>

GUIZAR, A.; et al.” Parcial caracterización de nuevos almidones btenidos del tuberculo de camote del cerro (*Dioscorea spp*)”. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. [en línea], 2008, (México), vol. 9, pp. 81-88. [Consulta:2022-12-23]. ISSN: 1665-0204 Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/813/81311226011.pdf>

GRACE, M. “Elaboración de la yuca”. *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)* [en línea] 1977 Vol. 2, pp. 116. ISSN 1020-4334.. [Consulta:2022-11-20]. Disponible en: <https://www.worldcat.org/es/title/elaboracion-de-la-yuca/oclc/41798408>

GRACIDA, J.; & PÉREZ, B. “Factores previos involucrados en la producción de bioetanol, aspectos a considerar”. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental* [en línea], 2014. vol. 30, no. 2, pp. 213-227. ISSN 01884999. [Consulta:2022-10-23]. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v30n2/v30n2a8.pdf>.

GRANADOS, C.; et al. “Propiedades funcionales del almidon de sagu (*Maranta arundinacea*)”. *Bioteología en el sector Agropecuario y Agroindustrial* [en línea], 2014. vol. 12 (2), pp. 90-96. [Consulta:2022-11-06]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612014000200010

.GREENPEACE. Acabemos con los combustibles fósiles, acabemos con las guerras. *Greenpeace Magazine* [en línea] 2022, pp. 1-24. [Consulta:2022-10-03]. Disponible en: <https://revista.greenpeace.es/wp-content/uploads/2022/04/GPM41.pdf>.

GREENPEACE; & CREA, C. Aire tóxico: el precio de los combustibles fósiles. [en línea]. 2020. [Consulta:2022-10-03]Disponible en: <https://es.greenpeace.org/es/wp-content/uploads/sites/3/2020/02/GP-Toxic-Air-Briefing-Spain.pdf>.

HASSAN, L.; et al. “Extraction and Characterization of Starches from Four Varieties of Mangifera indica Seeds”. *Journal of Applied Chemistry* [en línea] 2013. Nigeria. Vol 3 pp. 16-23. SSN: 2278-5736. [Consulta:2022-11-03]. Disponible en: <https://docplayer.net/65032537-Extraction-and-characterisation-of-starches-from-four-varieties-of-mangifera-indica-seeds.html>

HERNÁNDEZ, Marilyn; et al. Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Ciencia e Tecnología de Alimentos* [en línea] 2008, México. vol. 28, pp. 718-726. [Consulta:2022-11-03] Disponible en: <https://www.scielo.br/j/cta/a/BFmq3pZQMP33pwHsyNJk9Yf/?lang=es>

HERNÁNDEZ, Marco; & HERNÁNDEZ, Jorge. “Mitos y verdades de los biocombustibles”. *Ciencia y Cultura Elementos*. [en línea] 2008, México. Vol. 15 (071)pp. 15-18. [Consulta:2022-12-13]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/294/29407102.pdf>

HÖÖK, M.; TANG, X. Depletion of fossil fuels and anthropogenic climate change—A review. *Energy Policy*. [en línea] 2013. vol. 52, pp. 797-809. ISSN 03014215. DOI 10.1016/j.enpol.2012.10.046. [Consulta:2022-12-13]. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301421512009275>.

HWANG, J.; & KOKINI, L. Contribution of the side branches to rheological properties of pectins. *Carbohydrate Polymers*. [En línea] 1992. vol. 19(1), pp. 41-50. [Consulta:2022-11-23]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/014486179290053S>

INEN 2478: 2009. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2478:2009. Etanol Anhidro. *Instituto Ecuatoriano de Normalización*, pp. 12.

JIMÉNEZ, D.; et al.”Obtención de azúcares fermentables mediante hidrólisis ácida de Beta vulgaris L”. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 2012. vol. 28, pp. 151-158.

KOLICS, A.; et al. Adsorption of sulfate and chloride ions on aluminum. *Electroch.* 1998. pp. 2605-2618.

KRAMER, G. *Selección de materiales para la producción de bioetanol en la provincia de misiones* [en línea] 2019. Universidad Nacional de Misiones. p.1-46 Disponible en: https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/79180/CONICET_Digital_Nro.dabd689d-1b94-433c-bbf2-6a03abb3e405_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y

LEÓN, A. Producción de etanol a partir de yuca mediante bioreactor de tanque agitado con control de variables. *Universidad autónoma de Bucaramanga* [en línea] 2006, pp. 1-13. Disponible en: http://www.cid.unal.edu.co/files/news/051122_produccion_de_etanol_a_partir_de_yuca.pdf

LINTON, J.; et al. “Economic feasibility of producing sweet sorghum as an ethanol feedstock in the southeastern United States. *Biomass and Bioenergy*”. 2011. pp. 3050-3057.

MACIAS, A.; et al. “Pasado , presente y perspectiva del Bioetanol en Ecuador Past , present and perspective of Bioethanol in Ecuador”. *Revista Ciencia UNEMI*, 2022. vol. 15, no. 1390-4272, pp. 38-51.

MALLAUPOMA, S.; & RAMOS, R. Efecto del método de hidrólisis en el almidón de papa (*solanum tuberosum*) para la obtención de alcohol. (Trabajo de titulación). Universidad nacional del centro del Perú, Facultad de ingeniería en industrias alimentarias. Perú. 2014. pp.1-16. [Consulta:2022-11-23]. Disponible en : <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/1233/MALLAUPOMA%20MISARI.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

MARTÍNEZ, O. Análisis del uso de biocombustibles en Ecuador periodo 2010-2017(Trabajo de titulación). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Ecuador. [en línea]. 2018.pp.13-88 [Consulta:2022-11-23]. Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/10407>.

MEJÍA, A.; et al. Hidrólisis ácida de citrus sinensis para la obtención de azúcares fermentables. *Instituto Tecnológico Superior de Huichapan. División de Ingeniería en Energías Renovables. Huichapan México* [en línea] 2016, vol. 3, pp. 46-50. [Consulta:2022-11-20]. Disponible en: https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Tecnologia_e_innovacion/vol3num7/Revista_de_Tecnologia_e_Innovacion_V3_N7_6.pdf.

MENÉNDEZ, J. Los polisacáridos. *asturnatura.com* [en línea]. 2014. [Consulta:2023-01-02]. Disponible en: <https://www.asturnatura.com/articulos/glucidos/polisacaridos.php>.

MONSALVE, J.; et al. “Producción de etanol a partir de la cáscara de banano y de almidón de yuca” . *Dyna* [en línea] 2006. vol. 73, no. 150, pp. 21-27. [Consulta:2022-10-02]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/496/49615002.pdf>.

MONTALDO. “Sistemas alimentarios de raíces y tubérculos”. *Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura*. San José, Costa Rica, 1991. pp. 407.

MORALES, D. La industria de los biocombustibles en Ecuador: el estado de situación. Tesis

(Maestría en Relaciones Internacionales. Mención en Economía y Finanzas), Universidad Andina Simón Bolívar, Área de Estudios Sociales y Globales. Quito, Ecuador. 2010. p. 137. [Consulta:2022-10-02]. Disponible en: <https://repositorio.uasb.edu.ec/handle/10644/2737>

MOREJÓN, J. Sustitución de la hidrólisis ácida por la enzimática en la obtención de jarabes glucosados utilizando almidón de maíz como sustrato.(Trabajo de titulación)[en línea]. Universidad central Marta Abreu de las Villas, facultad de Química Farmacia. 2016. P. -137. [Consulta:2022-10-04]. Disponible en: <https://1library.co/document/y8gr12rz-sustitucion-hidrolisis-enzimatica-obtencion-glucosados-utilizando-almidon-sustrato.html>

MORELOS, J. “Análisis de la variación de la eficiencia en la producción de biocombustibles en América Latina”. *Estudios Gerenciales* [en línea], 2016. vol. 32, no. 139, pp. 120-126. ISSN 01235923. DOI 10.1016/j.estger.2016.01.001. [Consulta:2022-10-07]. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0123592316300018>

MURGAS, J.; & VÁSQUEZ, M. "Evaluación de la obtención de Bioetanol a partir del ñame partir del almidón de Ñame (*Dioscorea rotundata*, *Dioscorea alata* y *Dioscorea trifida*) mediante la hidrólisis enzimática y posterior fermentación. (trabajo de titulación). 2012. Cartagena. 2021. P. 1-89. [Consulta:2022-10-06]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10819/1142>

NARVÁEZ, R. Obtención de Almidón de dos Variedades de Malanga: *Colocasia esculenta* L. y *xanthosoma sagittifolium* L, Mediante la Aplicación de tres Métodos Químicos, en la Zona de Santo Domingo de los Tsáchilas. ESPE.[en línea]. 2019. p. 1-89 [Consulta:2022-10-09].Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/22323/T-ESPESD-003098.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

NOGUERA, B.¿Qué es un azeótropo o mezcla azeotrópica?.Ingeniería química reviews. 2020[en línea]. [Consulta:2022-11-15]. Disponible en: <https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2020/12/que-es-un-azeotropo-o-mezcla-azeotropica.html>.

NTE INEN 1456., Reactivos para análisis Almidón soluble Método de ensayo. 1986, vol. 46.

OBANDO, C. “Caracterización Física y Química de la Malanga”. Quito. 2009.

OCDE/FAO. “Biocombustibles”. *OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2021-2030* [en línea]

Perspectivas Agrícola., 2021. pp. 224-236. ISBN 9789264589568. [Consulta:2022-11-16]. Disponible en: https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/ocde-fao-perspectivas-agricolas-2021-2030_47a9fa44-es.

ORDOÑEZ, A. Efecto de las temperaturas de coccitón y enfriamiento en parámetros reológicos de pastas elaboradas con trigo y almidón de malanga (Trabajo de titulación). Universidad Técnica de Machala. Ecuador [en línea]. 2020. p. 1-90. [Consulta:2022-12-15]. Disponible en: http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/16361/1/T-3903_ORDO%c3%91EZ%20ESPINOZA%20ANGEL%20ALEMAO.pdf

PACHECO, E.; & TECHEIRA, N. “Propiedades químicas y funcionales del almidón del almidón nativo y modificado del ñame (*dioscorea alata*)”. *INCI* [online]. 2009, vol.34, n.4, pp.280-285. ISSN 0378-1844. [Consulta:2022-12-15]. Disponible en: https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0378-18442009000400012&script=sci_abstract

PALOMINO, C.; et al. “Atributos físicos y composición química de harinas y almidones de los tubérculos de *Colocasia esculenta* (L.) Schott y *xantomasagittifolium* (L.) Schott”. *Instituto de Ciencia* [en línea]. 2010. vol. 36, pp. 58-66. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/230800798_Physical_and_chemical_characterization_of_flour_and_starches_of_tubers_of_Colocasia_esculenta_L_Schott_and_Xanthosoma_sagittifolium_L_Schott.

PARRA, R. Desarrollo del modelo EMICAT2000 para la estimación de emisiones de contaminantes del aire en Cataluña y su uso en modelos de dispersión fotoquímica. Universidad Politécnica de Catalunya. [en línea]. 2014. ISBN: 8468881503. [Consulta:2022-12-15]. Disponible en: <https://www.tdx.cat/handle/10803/6829>

PERÉZ. Biocombustibles. [en línea]. Fondo de C. México. pp. 1-244. 2016. [Consulta:2022-12-15]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/esepoch/110626?page=99>.

POWER, G. “El calentamiento global y las emisiones de carbono”. *Ingeniería Industrial*. [en línea]. 2009. pp. 101-122. [Consulta:2022-12-15]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=337428493007>.

. PÚA, A.; et al.” Análisis de Nutrientes de la Raíz de la Malanga (*Colocasia esculenta Schott*) en el Trópico Seco de Colombia”. *Información tecnológica* [en línea], 2019. vol. 30, no. 4, pp.

69-76. ISSN 0718-0764. DOI 10.4067/S0718-07642019000400069. [Consulta:2022-12-15].
Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642019000400069&lng=en&nrm=iso&tlng=en.

QUEZADA, Lady. Propiedades térmicas y funcionales del almidón nativo de malanga (*Xanthosoma sagittifolium*) y achira (*Canna edulis*)(Trabajo de titulación). [en línea]. Universidad Técnica de Machala. Ecuador. 2019 pp. 8-41. [Consulta:2022-12-18]. Disponible en: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/14106>

RECOMPENSA, L.; et al. “Biocombustibles ¿Una estrategia de desarrollo o de mercado lucrativo sostenible?” *Polis*. 2008. vol. 021, pp. 1-17. [Consulta:2022-11-15]. Disponible en : <https://journals.openedition.org/polis/2885>

RILEY, C. “Physicochemical characterization of starches from jamaican yams (*Dioscorea spp*): Potential for pharmaceutical exploitations”. *European Journal of Scientific*. 2006 vol. 15 (2), pp. 207-219.

RODRÍGUEZ, M.; et al. “Caracterización fisicoquímica, funcional y contenido fenólico de harina de malanga (*Colocasia esculenta*)”. *Ciencia y mar* [en línea], 2011. pp. 37-47. Disponible en: <https://biblat.unam.mx/hevila/Cienciaymar/2011/no43/4.pdf>.

SALINAS, E.; & GASCA, V., 2009. Los biocombustibles. *Redalyc.org* [en línea], vol. 159, no. 01g86-1840, pp. 75-82. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/325/32512739009.pdf>.

SÁNCHEZ, A.; et al. “Producción de bioetanol a partir de subproductos agroindustriales lignocelulósicos”. *Revista Tumbaga*, 2010. vol. 5, pp. 61,91.

SENER. Recomendaciones de especificaciones técnicas para el etanol y sus mezclas (E6) y la infraestructura para su manejo en México. México, D.F., 2010. [Consulta:2022-11-15]. Pp. 1-79. Disponible en: https://energypedia.info/images/4/4b/GIZ_Especificaciones_etanol_2010.pdf

SOLANO, P.; et al. “Modelamiento y simulación de un biorreactor de membrana para obtención de biodiesel”. *Revista Interciencia Redalyc*, 2008. vol. 44, pp. 84-92.

STANBURY, P.; & WHITAKER, A. No Title. *Pergamon Press*. 1984. pp. 255.

STUDOCU. Producción de etanol y sus coproductos Procesos de molienda en seco y húmeda. 2019.

SULLIVAN, J.; et al. “CO2 emission benefit of diesel (versus) powered vehicles”. 2004. *Ciencia y tecnología ambiental*. 2004. Vol.38. (12), pp. 15 ISSN: 3217-3223. DOI: 10.1021/es034928d Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/8449947_CO_2_Emission_Benefit_of_Diesel_versus_Gasoline_Powered_Vehicles.

TEJEDA, L.; et al. 2011. ”Obtención de etanola partir de residuos de poda, mediante hidrólisis ácida e hidrólisis enzimática”. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* [en línea], vol. 14, pp. 111-116. [Consulta:2022-11-12]. Disponible en: <https://revistas.udca.edu.co/index.php/ruadc/article/view/763/831>.

TEJEDA, L.; et al. “Producción de bioetanol a partir de la fermentación alcohólica de jarabes glucosados derivados de cáscaras de naranja y piña”. *Revista educación en Ingeniería* [en línea], 2010. vol. 10, pp. 120-125. [Consulta:2022-11-27]. Disponible en: https://www.acofi.edu.co/revista/Revista10/2009_I_51.pdf.

TORRES, A.; et al. “Evaluación de las propiedades funcionales del almidón obtenido a partir de malanga (*Colocasia esculenta*)”. *Revista Ciencias e Ingeniería al Día*, 2013. vol. 8 (2), no. 2357-5409, pp. 29-38.

TORRES, M.; et al. Obtención y caracterización estructural y funcional de almidón acetilado de malanga (*Colocasia esculenta* Schott). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2015. vol. 6, no. 4, pp. 905-912. ISSN 2007-0934. DOI 10.29312/remexca.v6i4.629.

TORROBA, A. “Atlas de los biocombustibles líquidos. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura”(IICA), [en línea], 2021 pp. 40. [Consulta:2022-10-17]. Disponible en: <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/18661/BVE21097939e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

VARGAS, P.; & HERNANDEZ, D. “Harinas y almidones de yuca, ñame, camote y ñampí: propiedades funcionales y posibles aplicaciones en la industria alimentaria”. *Tecnología en Marcha*. 2012 vol. 25 (6), pp. 37-45.

VÁZQUEZ, H.; & DACOSTA, O. Fermentación alcohólica: Una opción para la producción de energía renovable a partir de desechos agrícolas. *Ing. invest. y tecnol* [en línea]. 2007. vol. 8, no. 4, pp. 249-259. [Consulta:2023-01-27]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432007000400004&lng=es&nrm=iso.

VILLADIEGO, A.; et al. “Bioethanol Production from Yam (*Dioscorea rotundata*) Using Simultaneous Saccharification and Fermentation (SSF)”. *TecnoLógicas* [en línea], 2021. vol. 24, no. 50, pp. e1724. ISSN 2256-5337. DOI 10.22430/22565337.1724. [Consulta:2023-01-12]. Disponible en: <https://revistas.itm.edu.co/index.php/tecnologicas/article/view/1724>.

WASYLKIEWICZ, S.; et al. “Designing azetropic distillation columns”. *Chem Eng.* 1999. vol. 106, pp. 80-85.

GUARDADO, Esthela. Almidón de los cereales nativos y modificados:Propiedades en la alimentación. *SCRIBD.* 2007. pp. 1-16. [Consulta:2023-01-14]. Disponible en : <https://www.scribd.com/document/356572786/Almidon-de-Los-Cereales-Nativos-y-Modificados#>

ZOLA, M.; & BARRANZUELA, M. Estudio experimental de la obtención de bioetanol a partir de cáscara de plátano [en línea] Universidad de Piura. 2017, Perú. p.1-80 . [Consulta:2023-01-27]. Disponible en: https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3305/ING_592.pdf?sequence=1.



ANEXOS

ANEXO A: PROCESO PARA LA EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE LA *XANTHOSOMA SAGITTIFOLIUM*



Lavado y



pelado delos tubérculos



Triturado



Sedimentado



Secado

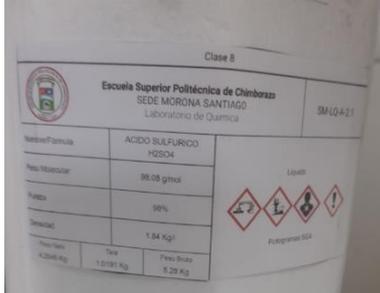


Tamizado



Almidón

ANEXO B: PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE AZÚCARES FERMENTABLES MEDIANTE HIDRÓLISIS ÁCIDA.



Preparación de las soluciones de 3, 6 y 10 % de H₂SO₄:



Muestras



Aplicación de temperatura durante 40 minutos



Filtrado y pesado

ANEXO C: PROCESO DE OBTENCIÓN DE BIOETANOL



Levadura



Fermentación



Destilación Simple



epoch

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 13 / 07 / 2023

INFORMACIÓN DE LA AUTORA
Nombres – Apellidos: Gabriela Nicol Jindiachi Chimbo
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Ambiental
Título a optar: Ingeniera Ambiental
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo

1149-DBRA-UTP-2023

