

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**“OBTENCIÓN DE AZÚCARES REDUCTORES A PARTIR DE LA  
HIDRÓLISIS ÁCIDA DE LA HARINA DE LA CÁSCARA DE  
*Manihot esculenta* (YUCA) VARIEDAD BLANCA”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO QUÍMICO

Autores

CRISTHIAN DAVID AVALOS LEANDRO

JULIO CÉSAR BENITES ZELAYA

Asesor

Mg. GLADIS ENITH REYNA MENDOZA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

Callao, 2022

PERÚ





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
IX CICLO DE TESIS  
JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

**ACTA N° 109 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO DE TESIS  
PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO QUÍMICO**

**LIBRO 01 FOLIO N° 110 ACTA N° 109 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO DE TESIS  
PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO QUÍMICO**

A los 06 días del mes de noviembre del año 2022, siendo las 10:30 horas, se reunieron, en la sala meet: <https://meet.google.com/bpv-xvfd-mxu> el JURADO DE SUSTENTACION DE TESIS para la obtención del TÍTULO profesional de Ingeniero Químico de la Facultad de Ingeniería Química, conformado por los siguientes docentes ordinarios de la Universidad Nacional del Callao:

<b>Ing. CARRASCO VENEGAS LUIS AMERICO</b>	PRESIDENTE
<b>Ing. ANGELES QUEIROLO CARLOS ERNESTO</b>	SECRETARIO
<b>Ing. RANGEL MORALES FABIO MANUEL</b>	VOCAL
<b>Ing. REYNA MENDOZA GLADIS ENITH</b>	ASESORA

Se dio inicio al acto de sustentación de la tesis de los bachilleres **AVALOS LEANDRO CRISTHIAN DAVID** y **BENITES ZELAYA JULIO CÉSAR** quienes habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico, sustentan la tesis titulada **“OBTENCIÓN DE AZÚCARES REDUCTORES A PARTIR DE LA HIDRÓLISIS ÁCIDA DE LA HARINA DE LA CÁSCARA DE *Manihot esculenta* (YUCA) VARIEDAD BLANCA”**, cumpliendo con la sustentación en acto público, de manera no presencial a través de la Plataforma Virtual, en cumplimiento de la declaración de emergencia adoptada por el Poder Ejecutivo para afrontar la pandemia del Covid-19, a través del D.S. N° 044-2020-PCM y lo dispuesto en el DU N° 026-2020 y en concordancia con la Resolución del Consejo Directivo N° 039-2020-SUNEDU-CD y la Resolución Viceministerial N° 085-2020-MINEDU, que aprueba las "Orientaciones para la continuidad del servicio educativo superior universitario";

Con el quórum reglamentario de ley, se dio inicio a la sustentación de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente. Luego de la exposición, y la absolución de las preguntas formuladas por el Jurado de Sustentación y efectuadas las deliberaciones pertinentes, acordó: Dar por **APROBADO** con la escala de calificación cualitativa **MUY BUENO** y calificación cuantitativa **DIECISÉIS (16)**, la presente Tesis, conforme a lo dispuesto en el Art. 27 del Reglamento de Grados y Títulos de la UNAC, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 099-2021-CU del 30 de junio de 2021.

Se dio por concluida la sustentación a las 11:05 horas del día 06 de noviembre del año en curso.

**Ing. CARRASCO VENEGAS LUIS AMERICO**  
**PRESIDENTE DE JURADO DE SUSTENTACIÓN**

**Ing. ANGELES QUEIROLO CARLOS ERNESTO**  
**SECRETARIO DE JURADO DE SUSTENTACIÓN**

**Ing. RANGEL MORALES FABIO MANUEL**  
**VOCAL DE JURADO DE SUSTENTACIÓN**

**Ing. REYNA MENDOZA GLADIS ENITH**  
**ASESORA DE JURADO DE SUSTENTACIÓN**

## **INFORMACIÓN BÁSICA**

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE INGENIERÍA QUÍMICA

“OBTENCIÓN DE AZÚCARES REDUCTORES A PARTIR DE LA HIDRÓLISIS ÁCIDA DE LA HARINA DE LA CÁSCARA DE *Manihot esculenta* (YUCA) VARIEDAD BLANCA”

### **AUTOR(ES)**

CRISTHIAN DAVID AVALOS LEANDRO / DNI: 70322738 / CÓDIGO ORCID: 0000-0002-8841-1941

JULIO CÉSAR BENITES ZELAYA / DNI: 72791756 / CÓDIGO ORCID: 0000-0002-5762-2690

### **ASESOR**

GLADIS ENITH REYNA MENDOZA / DNI: 07836885 / CÓDIGO ORCID: 0000-0002-7400-6558

### **LUGAR DE EJECUCIÓN**

LABORATORIO PRIVADO Y OTROS

### **UNIDAD DE ANÁLISIS**

*HARINA DE LA CÁSCARA DE Manihot esculenta* (YUCA) VARIEDAD BLANCA

**TIPO DE INVESTIGACIÓN:** APLICADA

**ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN:** CUANTITATIVO

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:** EXPERIMENTAL

**TEMA OCDE:** ALIMENTOS Y BEBIDAS

## **PRÓLOGO DEL JURADO**

La presente tesis fue sustentada por los Bachilleres **AVALOS LEANDRO CRISTHIAN DAVID** y **BENITES ZELAYA JULIO CÉSAR** ante el **JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS** conformado por los siguientes profesores Ordinarios:

<b>Ing. CARRASCO VENEGAS LUIS AMÉRICO</b>	<b>PRESIDENTE</b>
<b>Ing. ÁNGELES QUEIROLO CARLOS ERNESTO</b>	<b>SECRETARIO</b>
<b>Ing. RANGEL MORALES FABIO MANUEL</b>	<b>VOCAL</b>
<b>Ing. REYNA MENDOZA GLADIS ENITH</b>	<b>ASESORA</b>

Tal como está asentado en el Libro de Actas N°1 de Tesis con Ciclo de Tesis Folio N° 110 y Acta N° 109 de fecha de fecha 06 de noviembre del 2022, para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico en la modalidad de Titulación de Tesis con Ciclo de Tesis, de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos aprobado con Resolución de Consejo Universitario N° 099-2021-CU de fecha 30 de junio de 2021.

## **DEDICATORIA**

A mis padres Nelly y Erasmo, por los valores inculcados, confianza y entrega día a día; les agradezco enormemente por acompañarme hasta este momento.

A mi hermano Anderson por su apoyo a lo largo de mi carrera profesional, guía y orientación.

A Alexandra, por acompañarme desde el inicio de mi carrera; estando presente en los buenos y malos momentos.

A todos ustedes les dedico esta investigación y los logros obtenidos.

JULIO CÉSAR BENITES ZELAYA

A mi madre Martha y a mis abuelos Rodolfo y Marta, por darme siempre su apoyo incondicional y no dejarme rendir durante este camino. A mi hermano José por brindarme sus consejos para poder seguir mi camino profesional.

CRISTHIAN DAVID AVALOS

LEANDRO

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a nuestra asesora Mg. Gladys Enith Reyna Mendoza por brindarnos su tiempo, paciencia y orientación en el desarrollo de la presente investigación.

A la química Alexandra Elizabeth Rondán Lizana por su apoyo académico.

A los ingenieros Mg. Anderson Alejandro Benites Zelaya y Mg. Lizbeth Chacón Avendaño por guiarnos en la caracterización de nuestra muestra.

Por último, nuestro mayor y más desmedido agradecimiento a nuestros padres por su tan valioso soporte, consejos, colaboración y confianza en la realización de esta investigación día a día.

## ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS	4
ÍNDICE DE FIGURAS	5
RESUMEN	7
ABSTRACT	8
INTRODUCCIÓN	9
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
1.1 Descripción de la realidad problemática	10
1.2 Formulación del problema	10
1.2.1 Problema general	10
1.2.2 Problemas específicos	10
1.3 Objetivos	10
1.3.1 Objetivo general	10
1.3.2 Objetivos específicos	11
1.4 Justificación del problema	11
1.5 Delimitantes de la investigación	11
1.5.1 Teórico	11
1.5.2 Temporal	11
1.5.3 Espacial	12
II. MARCO TEÓRICO	13
2.1 Antecedentes	13
2.1.1 Antecedentes internacionales	13
2.1.2 Antecedentes nacionales	15
2.2 Bases teóricas	18
2.2.1 La yuca	18
2.2.2 Producción nacional de la yuca ( <i>Manihot esculenta</i> )	21

2.2.3 Hidrólisis	21
2.2.4 Hidrólisis de celulosas y hemicelulosas	22
2.2.5 Azúcares reductores	23
2.2.6 Determinación de azúcares reductores por el método DNS	24
2.3 Conceptual	25
2.3.1 Biomasa	25
2.3.2 La cáscara de yuca	25
2.3.3 Material lignocelulósico	26
2.3.4 Pretratamiento de material lignocelulósico	28
2.3.5 Hidrólisis ácida de la biomasa lignocelulosica	29
2.4 Definiciones de términos básicos	30
III. HIPÓTESIS Y VARIABLES	32
3.1 Hipótesis	32
3.1.1 Operacionalización de variables	32
IV. METODOLOGÍA	33
4.1 Diseño metodológico	33
4.1.1 Tipo de investigación	33
4.1.2 Diseño de investigación	33
4.2 Método de investigación	33
4.2.1 Etapa previa	33
4.2.2 Primera etapa de la investigación	34
4.2.3 Segunda etapa de la investigación	34
4.2.4 Tercera etapa de la investigación	34
4.3 Población y muestra	37
4.4 Lugar de estudio y periodo desarrollado	37
4.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de la información	38

4.5.1 Técnicas para la recolección de la información	38
4.5.2 Instrumentos de recolección de datos	39
4.6 Análisis y procesamiento de datos	40
4.7 Aspectos éticos en investigación	40
V. RESULTADOS	41
5.1 Resultados descriptivos	41
5.1.1 Resultados del análisis proximal	41
5.1.2 Resultados de procedimiento experimental	41
5.2 Resultados inferenciales	45
5.3. Otro tipo de resultados de acuerdo a la naturaleza del problema y la hipótesis	46
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	47
6.1 Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados	47
6.2 Contrastación de la hipótesis con otros resultados	48
6.3 Responsabilidad ética	48
VII. CONCLUSIONES	49
VIII. RECOMENDACIONES	50
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
ANEXOS	56
- Matriz de consistencia	57
- Diagrama de proceso de obtención de azúcares reductores	58
- Elaboración de la curva patrón	59
- Lecturas de absorbancia de las corridas experimentales	60
- Ilustraciones del desarrollo de las corridas experimentales	63
- Otras gráficas estadísticas	66
- Resultado de análisis de composición química proximal	69

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Taxonomía “Manihot esculenta”	18
Tabla 2	Concentración de elementos minerales en hojas y raíces de yuca	20
Tabla 3	Concentraciones de cianuro en plantas seleccionadas	20
Tabla 4	Composición media de la raíz entera, de la corteza y del cilindro central en porcentaje	21
Tabla 5	Métodos para la determinación de azúcares reductores	23
Tabla 6	Composición química de la raíz con y sin cáscaras (base seca)	26
Tabla 7	Operacionalización de variables	32
Tabla 8	Niveles de factores	35
Tabla 9	Diseño experimental	36
Tabla 10	Registro de la variable respuesta	37
Tabla 11	Análisis químico proximal de la harina de Manihot esculenta	38
Tabla 12	Análisis químico proximal	41
Tabla 13	Porcentaje de almidón y celulosa inicial	41
Tabla 14	Primera corrida experimental	42
Tabla 15	Segunda corrida experimental	43
Tabla 16	Tercera corrida experimental	44
Tabla 17	Análisis de varianza	45
Tabla 18	Resumen del modelo	45
Tabla 19	Absorbancia de glucosa pura a distintas concentraciones	59
Tabla 20	Lecturas de absorbancia de la primera corrida experimental	60
Tabla 21	Lecturas de absorbancia de la segunda corrida experimental	61
Tabla 22	Lecturas de absorbancia de la tercera corrida experimental	62

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Fotografía de la yuca	19
Figura 2	Estructura química de los azúcares reductores	24
Figura 3	Reacción entre DNS y azúcares	24
Figura 4	Componente de biomasa de lignocelulosa	27
Figura 5	Matriz lignocelulósica	27
Figura 6	Diagrama de flujo de hidrolisis ácida	29
Figura 7	Estructura primaria de la celulosa	30
Figura 8	Diseño de investigación por etapa	33
Figura 9	Gráfica de efectos principales	46
Figura 10	Gráfica de interacción	46
Figura 11	Curva patrón de glucosa	59
Figura 12	Equipos	63
Figura 13	Comparación de colores	63
Figura 14	Toma de muestras y adición del HCl	64
Figura 15	Secado de las muestras	64
Figura 16	Contención de hidrolisis ácida	65
Figura 17	Mayor concentración de azúcares reductores	65
Figura 18	Gráfica de probabilidad normal	66
Figura 19	Gráfica de residuales	66
Figura 20	Gráfica de varianza	67
Figura 21	Diagrama de pareto	67
Figura 22	Gráfica de probabilidad de residuales	68
Figura 23	Primera página del informe de ensayo del análisis proximal	69
Figura 24	Segunda página del informe de ensayo del análisis proximal	70

Figura 25 Informe de ensayo del análisis cuantitativo del almidón y celulosa  
presente en la harina

71

## RESUMEN

La yuca es un recurso natural importante en la alimentación local, esto genera grandes cantidades de cáscara la cual representa alrededor del 12% en peso respecto a la yuca.

El presente trabajo tuvo como objetivo determinar las condiciones adecuadas para la hidrólisis ácida de la harina de cáscara de *Manihot esculenta* (yuca) variedad blanca en la obtención de azúcares reductores. La secuencia del proceso fue de recepción, pesado, lavado, separación de cáscara de raíz, pesado, deslignificación por medio básico, molido, tamizado, hidrólisis ácida, reacción con el reactivo DNS y lectura de la concentración de azúcares reductores en las muestras a través del espectrofotómetro.

Se realizó el análisis químico proximal en base seca de la harina de cáscara de *Manihot esculenta* (yuca) variedad blanca, el cual nos dio para proteínas un valor de 3,64 g/100g, humedad 11,95 g/100g, cenizas 9,77 g/100g, carbohidratos 74,42 g/100g y grasas 0,22 g/100g.

Los resultados indican que las condiciones favorables para la obtención de azúcares reductores por medio de la hidrólisis ácida son: concentración de HCl al 3%, tiempo de 120 minutos y una temperatura de 80°C, lo cual permitió obtener  $18.94 \pm 0.043$  g/L de azúcares reductores con un grado de conversión cercano al  $73.91 \pm 0.167\%$ .

Se concluyó que la harina de cáscara de *Manihot esculenta* (yuca) variedad blanca, debido a su alto contenido en carbohidratos y a las condiciones apropiadas durante la hidrólisis ácida, es un residuo adecuado para la obtención de azúcares reductores.

**Palabras clave:** Cáscara de *Manihot esculenta* (yuca), hidrólisis ácida, azúcar reductor.

## ABSTRACT

Cassava is an important natural resource in local food, this generates large amounts of shell which represents about 12% by weight of cassava.

The objective of this work was to determine the adequate conditions for the acid hydrolysis of the white variety *Manihot esculenta* (cassava) shell flour to obtain reducing sugars. The sequence of the process was reception, weighing, washing, root shell separation, weighing, delignification by basic means, grinding, sieving, acid hydrolysis, reaction with the DNS reagent and reading of the concentration of reducing sugars in the samples through of the spectrophotometer.

The proximal chemical analysis was carried out on a dry basis of the white variety *Manihot esculenta* (cassava) shell flour, which gave us a protein value of 3.64 g/100g, moisture 11.95 g/100g, ash 9, 77 g/100g, carbohydrates 74.42 g/100g and fats 0.22 g/100g.

The results indicate that the favorable conditions for obtaining reducing sugars by means of acid hydrolysis are: HCl concentration at 3%, time of 120 minutes and a temperature of 80°C, which allowed obtaining  $18.94 \pm 0.043$  g/L of reducing sugars with a degree of conversion close to  $73.91 \pm 0.167\%$ .

It was concluded that the white variety *Manihot esculenta* (cassava) shell meal, due to its high carbohydrate content and the appropriate conditions during acid hydrolysis, is a suitable residue for obtaining reducing sugars.

**Keywords:** *Manihot esculenta* (cassava) peel, acid hydrolysis, reducing sugar.

## INTRODUCCIÓN

Hoy en día la utilización de los residuos agroindustriales como materia prima a bajo costo dentro de los procedimientos biotecnológicos para elaborar productos químicos, va considerándose cada vez más como una opción interesante para disminuir esa dependencia que existe con el petróleo y, además, para conseguir nuevos compuestos más económicos o técnicamente no viables dentro de una síntesis química. En la actualidad son 3,5 billones de toneladas de residuos agroindustriales los que se producen cada año en todo el planeta(1).

En el Perú para el año 2018 se tuvo una producción de 1,2 millones de toneladas de *Manihot esculenta* (yuca), la cual en su mayoría proviene de la región Loreto (2).

La cáscara de yuca representa un 15 a 20% generando aproximadamente un total de 240 000 mil kilogramos de residuos, siendo utilizados en gran porcentaje como alimento balanceado para animales (3).

En los últimos años la industria de la fermentación ha reemplazado parcialmente los hidratos de carbono por cultivos alimentarios y azúcares puros, esto debido al bajo costo de las distintas materias primas. Distintos materiales son considerados como biomásas naturales no utilizados, subproductos de las empresas agrícolas, recursos renovables y sustratos alternativos(4).

La presente investigación busca dar un mayor valor agregado a los residuos de cáscara de *Manihot esculenta* (yuca) variedad blanca mediante la obtención de azúcares reductores, los cuales pueden aplicarse para obtener etanol el cual actualmente es el biocombustible más importante (5).

# I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 1.1 Descripción de la realidad problemática

El cultivo de yuca es una actividad significativa en la agricultura peruana, el cual tiene una producción alrededor de 1.2 millones de kilogramos, siendo la región Loreto la de mayor producción (6). La comercialización e industrialización de este producto genera grandes volúmenes de cáscara, las que están compuestas por hidratos de carbono (biomasa), en su mayoría celulosa con valores que van de (35-50%) (7). En la actualidad esta biomasa es utilizada como alimento para animales en el cual no se aprovecha su valor por completo. El aprovechamiento de esta biomasa se puede realizar a través de la hidrólisis alcalina, ácida o enzimática para transformarla en unidades monoméricas de glucosa dándole un mayor valor agregado al obtener azúcares reductores los cuales posteriormente pueden ser fermentados para obtener productos como etanol, ácido láctico entre otros (8).

## 1.2 Formulación del problema

### 1.2.1 Problema general

¿Cómo obtener azúcares reductores a partir de la hidrólisis ácida de la harina de la cáscara de *Manihot esculenta* (yuca) variedad blanca?

### 1.2.2 Problemas específicos

- a. ¿Cuál es la composición química proximal de la harina de la cáscara de *Manihot esculenta* (yuca) variedad blanca?
- b. ¿Cuáles son las condiciones favorables para la hidrólisis ácida de la harina de la cáscara de *Manihot esculenta* (yuca) variedad blanca?

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo general

Obtener azúcares reductores a partir de la hidrólisis ácida de la harina de la cáscara de *Manihot esculenta* (yuca) variedad blanca.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- a. Determinar la composición química proximal de la harina de la cáscara de *Manihot esculenta* (yuca) variedad blanca.
- b. Determinar las condiciones favorables de la hidrólisis ácida de la harina de la cáscara de *Manihot esculenta* (yuca) variedad blanca.

### **1.4 Justificación del problema**

La biomasa de la cáscara de la yuca de acuerdo a su naturaleza orgánica, contiene azúcares, almidones y otros polisacáridos tales como hemicelulosa, lignina y celulosa. En la actualidad existen procesos que permiten hidrolizar la fracción celulósica y lignocelulosa contenida en vegetales (9). El presente trabajo buscó identificar oportunidades y avances en materia de procesos para el aprovechamiento de la cáscara de yuca por medio de su conversión en harina y a través de esta obtener azúcares reductores. Esto se logró con un pretratamiento ligeramente alcalino del material lignocelulósico de la cáscara de *Manihot esculenta* (yuca) variedad blanca y el posterior desarrollo de la hidrólisis ácida de la harina de la cáscara de *Manihot esculenta* (yuca) variedad blanca. El trabajo experimental se enfocó en determinar las condiciones favorables de la hidrólisis ácida de la harina de *Manihot esculenta* (yuca) variedad blanca a nivel de laboratorio, para obtener azúcares reductores.

### **1.5 Delimitantes de la investigación**

#### **1.5.1 Teórico**

En la presente investigación se obtuvo azúcares reductores a partir de la hidrólisis ácida de la harina de *Manihot esculenta* (yuca) variedad blanca a nivel de laboratorio, por lo tanto, se estudió la yuca, el proceso de deslignificación de la cáscara de yuca, la hidrólisis ácida de la harina de cáscara de yuca y la determinación de la concentración en azúcares reductores obtenidos.

#### **1.5.2 Temporal**

El trabajo de investigación se desarrolló durante el periodo aproximado de tres meses comprendidos desde 01/07/2022 a 30/09/2022, debido a que la producción de yuca presenta mayor volumen durante la segunda mitad del año.

### **1.5.3 Espacial**

La presente investigación fue desarrollada en un laboratorio independiente ubicado en el distrito de Lurín, el cual cuenta con todos los equipos y materiales necesarios para el correcto desarrollo.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes

#### 2.1.1 Antecedentes internacionales

En el artículo científico “Soaking assisted thermal pretreatment of cassava peels wastes for fermentable sugar production: process modelling and optimization” realizaron la estrategia de pretratamiento híbrido para la liberación óptima de azúcares fermentables a partir de residuos de cáscara de yuca. Obtuvieron condiciones óptimas de pretratamiento de 69.62°C de temperatura de remojo, 2.57 horas de duración del remojo, 5 minutos de duración de la autoclave, 3.68 v/v de concentración de ácido y 9.65 p/v de carga sólida. Obtuvieron un máximo de azúcares reductores de  $89.80 \pm 2.87$  g/L, lo que corresponde a un rendimiento de azúcares fermentables de  $0.93 \pm 0.87$  g/L. de  $0.93 \pm 0.03$  g/g de cáscaras de yuca. Lograron un porcentaje de recuperación de azúcar de 90.79% con una mejora del 31% en el rendimiento de los azúcares fermentables del pretratamiento enzimático (10).

En el trabajo de investigación “Typical conversion of lignocellulosic biomass into reducing sugars using dilute acid hydrolysis and alkaline pretreatment, cellulose” evaluaron el pretratamiento de la biomasa lignocelulósica para obtener altos rendimientos de azúcar a bajo costo, siendo la hidrólisis ácida diluida y alcalina las tecnologías más conocidas. El pretratamiento mediante la hidrólisis alcalina solo se dirige a la remoción de lignina, por el contrario, el pretratamiento por medio de la hidrólisis ácida diluida favorece en el proceso posterior de la hidrólisis enzimática de la hemicelulosa y celulosa, debido a una mayor velocidad enzimática, con recuperaciones de azúcar comparativamente mayores que otros pretratamientos (11).

En el artículo científico “Evaluación de tres métodos de pretratamiento químico sobre la deslignificación de tallos de yuca” trataron los pretratamientos químicos sobre la deslignificación de tallos de yuca, indicando que se remueve mayor cantidad de lignina con el pretratamiento alcalino comparado con los métodos

organosolv y ácido, siendo la concentración de hidróxido de sodio (NaOH) entre 0.59 y 3.41% p/v el factor más influyente en un tiempo entre cuatro y once horas a 60°C, indicando que se remueve menor cantidad de lignina con el método organosolv (5).

En la investigación "Hydrothermal pretreatment and acid hydrolysis of coconut pulp residue for fermentable sugar production" tuvo como objetivo mejorar la liberación de azúcar del residuo de pulpa de coco mediante la optimización del pretratamiento secuencial hidrotérmico y post ácido. La concentración post ácida de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 1%, 2% y 3% (v/v) en temperatura y tiempo constantes de 121°C y 20 minutos. permitió obtener rendimientos de azúcares totales de 32.47, 27.51 y 26.72 g/L tras un tiempo de pretratamiento hidrotérmico de 20, 40 y 60 minutos, respectivamente. En estas condiciones se obtuvo un rendimiento del 90%. Se obtuvo que a 60 minutos seguido de la hidrólisis ácida con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 3%, con una liberación máxima de azúcares reductores de 120.71 g/L. Concluyeron que el pretratamiento hidrotérmico y post ácido mejora la sacarificación (12).

En la investigación "A study of optimal conditions for reducing sugars production from cassava peels by diluted acid enzymes" tuvieron como objetivo demostrar que las cáscaras de yuca podían producir azúcares reductores por hidrólisis ácida diluida y diversas enzimas de digestión. La cáscara de yuca al 1.5% (p/v) se hidrolizó con ácido sulfúrico 0.1 M bajo una presión de 15 lb/pulgada<sup>2</sup> durante 90 minutos, produciendo un 66,28% de rendimiento de azúcares reductores, mientras que el ácido clorhídrico 0,025 M produjo un 63.29% de rendimiento de azúcares reductores en las mismas condiciones descritas líneas arriba. La hidrólisis con ácido acético 0.25 M pudo producir un 30.36% de rendimiento de azúcares reductores en las mismas condiciones. La hidrólisis enzimática de cáscaras de yuca al 1.5% por α-amilasa a pH 6.0 durante 2 horas produjo un 40.79% de rendimiento de azúcares reductores. Después, la mezcla de reacción fue hidrolizada continuamente por la amiloglucosidasa a pH 4.0 durante 24 horas, lo que produjo un 70.11% de rendimiento de azúcares reductores. La hidrólisis del 1.5% de cáscara de yuca por la celulasa en condiciones óptimas a

pH 5.0 durante 24 horas produjo un 43.39% de rendimiento de azúcares reductores. La hidrólisis de la cáscara de yuca al 1.5% por la xilanasa en condiciones óptimas a pH 4.0 durante 9 horas produjo un 2.64% de rendimiento de azúcares reductores, mientras que la hidrólisis por la pectinasa en condiciones óptimas a pH 5.0 durante 3 horas produjo un 9.01% de rendimiento de azúcares reductores (13).

### **2.1.2 Antecedentes nacionales**

En la tesis “Obtención de azúcares reductores a partir de cáscara de papa (*Solanum tuberosum*) por hidrólisis química y enzimática” realizaron dos métodos, para la obtención de azúcares reductores a partir de cáscara de papa (*Solanum tuberosum*); por hidrólisis química y enzimática. Como primer método se realizó la hidrólisis química haciendo uso del ácido clorhídrico (HCl) en diferentes concentraciones 2%, 4% ,6% y a su vez en tres tiempos diferentes; concluyendo así que ambas variables son estadísticamente significativas, con un coeficiente de determinación de 98.1737, donde el valor máximo alcanzado fue de 2.93657 mg de azúcares reductores por mL de solución. El segundo método radica en la hidrólisis enzimática, a tres diferentes concentraciones de enzima celulasa: 0.05%, 0.1%, 0.2% y tres tiempos: 2 horas, 4 horas, 6 horas. Los autores concluyen que en este segundo método la variable tiempo es más significativa que la variable concentración enzimática de acuerdo con el análisis de varianza, con un  $R^2$  de 98.882, logrando así un valor máximo de 10.0939 mg de azúcares reductores por mL de solución (14).

En la tesis “Extracción de azúcares reductores totales ART por métodos físicos y químicos de planta de *Zea mays* (*Poaceae*) “maíz amarillo duro” evaluaron diferentes métodos de hidrólisis usando residuos lignocelulósicos de la planta de *Zea mays* (*Poaceae*) “maíz amarillo duro” con el objetivo de establecer el método más adecuado para la máxima obtención de azúcares reductores totales (ART). En los filtrados obtenidos de cada uno de los tratamientos empleando el método de Folin-Wu determinaron la obtención de dichos azúcares reductores totales. Los resultados del proyecto indicaron que la máxima concentración de azúcares

reductores totales conseguidos fueron 82.94 y 84.18 g/L, y se obtienen después de realizar la hidrólisis mixta como resultado de la combinación del método físico y fisicoquímico (15).

En la tesis “Influencia del tiempo, temperatura y dosis de reactivo en La concentración de glucosa en el pretratamiento ácido y alcalino de los residuos sólidos orgánicos” iniciaron un proceso para determinar el peso o influencia que tiene el tiempo, temperatura y dosis de reactivo dentro de una concentración de glucosa en el pretratamiento ácido y alcalino de residuos sólidos orgánicos. Fueron usados 14 residuos sólidos, los cuales se secaron a temperaturas de 60°C por 24 horas. El proceso fue desarrollado en dos etapas, la primera de ellas relacionado al pretratamiento ácido donde se trabajó en períodos de 2, 3 y 4 horas con temperaturas de 60, 70 y 80°C a diferentes concentraciones de ácido sulfúrico de 0.1% y 4% v/v; para el segundo caso relacionado al pretratamiento alcalino se consideraron 2, 3 y 4 horas. Las temperaturas respectivas fueron de 70, 80 y 90°C con soluciones de hidróxido de calcio de 0.05, 0.1 y 0.15 g/L. A través de una metodología de colorimetría llamada DNS (Ácido 3,5-dinitrosalicílico) obtuvieron una concentración de glucosa de 12.8525 mg/mL a una temperatura de 60°C por 2 horas para el tratamiento ácido y 18.0140 mg/mL a una temperatura de 80°C durante 4 horas para el tratamiento alcalino (16).

En la investigación “Obtención de azúcares reductores por hidrolisis térmica a la piña (*Agave americana L.*), a utilizarse en la producción de una bebida destilada” busca conseguir azúcares fermentables y/o azúcares reductores directos (ARD) y estudiar la posibilidad de usarlo como un elemento primo alternativo dentro de la producción de bebida destilada. El resultado de dicho experimento logró un rendimiento máximo en los azúcares reductores directos de 7.31 g/100 g de mosto en el tratamiento de 110 °C x 10 horas, no generando algún cambio importante dentro de la coloración del mosto (hidroximetilfurfural). El tratamiento pasó por un proceso de fermentación con la levadura *Sacharomyces Albicans* tipo B, donde ya se darían a conocer las condiciones de trabajo (pH de 6.5°Brix de 10, y temperaturas de fermentación de 25-30°C (17).

En la tesis “Influencia de la temperatura y pH en la fermentación de azúcares hidrolizados para la obtención de etanol a partir de la cáscara de café (*Coffea arabica L.*)”. La finalidad fue determinar la influencia de la temperatura y pH dentro de la fermentación de azúcares hidrolizados, conseguidos desde la cáscara de café. De esa manera, se ha establecido una condición óptima dentro del procedimiento cuyo propósito es obtener etanol. Al hacer dicha caracterización fisicoquímica con la cáscara de café, se ha detectado que la misma posee una enorme cantidad de celulosa que, a través de una hidrólisis ácida, se consiguieron azúcares reductores los cuales, se llevaron a la fermentación. Trabajaron con cuatro niveles de temperatura para dicho proceso: 26°C, 28°C, 30°C y 32°C. Sobre el pH, este fue de 3, 4, 5 y 6. Como análisis, se determinó que la temperatura y el pH óptimos son de 32°C y 5 paralelamente, teniendo así una eficiencia en el proceso de fermentado del 66.20% (18).

En la investigación “Efecto de la concentración de ácido fosfórico y tiempo de hidrólisis en la obtención de azúcares reductores de grano de maíz (*Zea mays*) morado cocido” se estudió el efecto entre el concentrado de ácido fosfórico y tiempo de hidrólisis para la obtención de azúcares reductores de grano de maíz (*Zea mays*) morado cocido. Se comenzó con las muestras de maíz morado cocido residual, estas se trituraron usando una licuadora convencional con una ligera presencia de agua destilada en proporción 1:1 p/p con el objetivo de generar una pasta. Dicha pasta se secó en una estufa a 40°C. Después, se transformó en una harina con un tamaño de partícula inferior a 1.0 mm para; luego, ser hidrolizadas con ácido fosfórico con una relación harina/solución de 1/10. Se demostró una mayor obtención en azúcares reductores a una concentración de ácido fosfórico al 4.4% p/p a un tiempo de 26 minutos (a 121°C). En el proceso, se obtuvo 19.43 g azúcares reductores /100 g solución. En los análisis de la investigación, se encontró un efecto estadístico importante por parte de las variables independientes para el proceso de conseguir azúcares reductores. Los valores recomendados para conseguir un mayor porcentaje de azúcares reductores están entre los 3.5 – 4.5% p/p de ácido fosfórico y de 33 – 52 minutos de hidrólisis a 121°C (19).

## 2.2 Bases teóricas

### 2.2.1 La yuca

Siendo una planta monoica, la yuca representa a las ramificaciones simpodiales con un porte arbustivo. A raíz de su peculiar forma de cultivarla junto a las condiciones ecológicas que requiere, su altura va a variar desde 1 a 5 metros. La yuca pertenece a la familia de “Euphorbiaceae” (Ver tabla 1) que se constituye de unas 7.200 especies, las cuales están caracterizadas por el desarrollo de vasos laticíferos (Ver figura 1, p. 19). Estos se componen de células secretoras también llamadas ‘galactocitos’ lo que crea una secreción lechosa en ella. Por otro lado, su centro de origen genérico está situada en la cuenca amazónica (20).

**Tabla 1**

*Taxonomía “Manihot esculenta”*

Clasificación	Descripción
División	Phanerogamas
Subdivisión	Angiospermas
Clase	Dicotiledoneae
Subclase	Choripetales
Orden	Euforbíales
Familia	Euforbíaceas
Subfamilia	Crotonidae
Género	Manihot
Especie	Esculenta
Nombre científico	<i>Manihot esculenta crants</i>
Nombre común	Yuca / mandioca

Fuente: Buitrago (2018)

Cuando hablamos de siembra, la yuca se adapta a una gran variedad de condiciones geográficas y tolera las sequías y otras condiciones extremas gracias a la fisonomía que posee. Cuenta con defensas y logra adaptarse bien a los distintos cambios climáticos (22).

## Figura 1

*Fotografía de la yuca*



Fuente: <https://www.tuberculos.org/yuca/>

Por otro lado, la yuca viene siendo la fuente más relevante de calorías dentro de regiones tropicales (le sigue el arroz y maíz). Sin duda, la yuca es uno de los alimentos más importantes, especialmente por ser rico en hidratos de carbono complejos como el almidón. Por otro lado, la yuca también posee fibra, proteína vegetal, vitaminas A, B2, B3, B6, B9, C, K, ácido fólico y diferentes minerales energéticos y depurativos tal como se muestra en la tabla 2 (Ver p. 20) (24).

Entre otras consideraciones, la yuca cuenta con un componente tóxico llamado “ácido cianhídrico o prúsico” el cual puede encontrarse más concentrado en la cáscara. Su presencia obliga a las personas a tener la debida precaución y cuidado, sobre todo cuando su consumo se realiza en forma de sancocho o harina. Los rayos solares causan una deshidratación natural la cual probablemente es el sistema más seguro para deshacerse del ácido cianhídrico a nivel artesanal (25). (Ver tabla 3, p. 20)

**Tabla 2***Concentración de elementos minerales en hojas y raíces de yuca*

<b>Elemento</b>	<b>Concentración en hojas (mg/100g peso seco)</b>		<b>Concentración en raíces (mg/100g peso seco)</b>	
	<b>Promedio</b>	<b>D.E.</b>	<b>Promedio</b>	<b>D.E.</b>
<b>Fe</b>	94.4	37.8	9.6	2.49
<b>Mn</b>	67.9	10.5	1.2	1.00
<b>B</b>	66.1	7.7	2.4	0.51
<b>Cu</b>	7.3	0.6	2.2	0.35
<b>Zn</b>	51.6	11.8	6.4	1.35
<b>Ca</b>	7198	888	1153	147
<b>Mg</b>	11.4	3.0	66.4	27
<b>K</b>	10109	903	8903	882
<b>P</b>	3071	234	1284	113
<b>S</b>	2714	145	273	40

Fuente: Ceballos &amp; De La Cruz (2002)

**Tabla 3***Concentraciones de cianuro en plantas seleccionadas*

<b>Especies de Plantas</b>	<b>Concentración (mg/kg)</b>
Poroto Blanco (Birmania)	2100
Almendra (Amarga)	280-2500
Sorgo (planta joven)	Max. 2500
Yuca (blanca)	8.54

Fuente: Eisler (1991)

Hay una gran variedad de yucas en el mundo; tenemos la yuca de hoja morada llamada también 'yuca blanca'. Esta planta es erecta y puede alcanzar los 2,5 m de altura de altura con un eje de 2 o 3 ramas. Cuenta con un tallo verde con rayas verticales rojas, un poco clara cuando es joven y algo pardo cuando alcanza la madurez. En cada especie de yuca, se sabe que la raíz es la parte que más se valora y utiliza a nivel comercial (Ver tabla 4, p. 21). La misma está

compuesta por tres tejidos: el parénquima inferior o pulpa, el peridermis y el parénquima cortical (28).

**Tabla 4**

*Composición media de la raíz entera, de la corteza y del cilindro central en porcentaje*

Fracciones	Raíz entera		Corteza		Cilindro central	
	H	S	H	S	H	S
<b>Humedad</b>	61.7	-	74.6	-	59.7	-
<b>Proteína</b>	1.3	3.2	1.6	5.9	1.0	2.5
<b>Grasa</b>	0.4	1.1	0.6	2.3	0.4	1.0
<b>Carbohidratos</b>	35.3	92.3	22.5	85.1	37.7	93.5
<b>Cenizas</b>	1.3	3.4	0.7	6.7	1.2	3.0

*Nota.* La tabla muestra la composición de la raíz siendo, H(humedad), S (seca)

Fuente: Velásquez & Villanueva (2010)

### **2.2.2 Producción nacional de la yuca (*Manihot esculenta*)**

Durante el mes de marzo de 2021, la producción nacional tuvo un aumento del 18.21%. Recalcamos que el sector agropecuario representó un comportamiento negativo en ese sentido ya que, durante marzo de 2021, la producción de yuca reportó 8 mil 334 toneladas y disminuyó en un 55.0% si lo comparamos al mismo periodo de 2020, que fue de 522 toneladas (30).

### **2.2.3 Hidrólisis**

Es un tipo de reacción química en la que una molécula de agua se descompone en los fragmentos  $H^+$  y  $OH^-$ , y la molécula AB, en la que A y B representan átomos, se descompone en A y B. Posteriormente, estos fragmentos se unen proporcionando los productos finales HB y AOH. Frecuentemente es conocido como doble descomposición o intercambio. De interés especial es la hidrólisis de diversas sales que originan disoluciones ácidas o básicas. En química orgánica, una reacción de hidratación es una adición de agua o sus elementos  $H^+$  y  $OH^-$  a una especie química (31).

#### **2.2.4 Hidrólisis de celulosas y hemicelulosas**

La hidrólisis es el procedimiento químico que pasa a separar las moléculas de la celulosa, adicionando agua a las complicadas estructuras de almidón, celulosa y hemicelulosa. Las mismas no pueden ser metabolizadas de forma directa por microorganismos que son usados en la fermentación, por ende, es requerido la liberación de unidades monoméricas de azúcares. Asimismo, la acción de químicos o de enzimas, terminan liberando hexosas y pentosas de la hemicelulosa y, de manera alternativa, la glucosa de la celulosa (32).

**Hidrólisis ácida:** Se tratan de procedimientos químicos en donde la celulosa y hemicelulosa son transformadas en monosacáridos. Los ácidos concentrados permiten obtener un alto rendimiento a una baja temperatura, pero es un procedimiento de alto costo ya que debe recubrir todo el material y no es fácil la recuperación, por otro lado al aplicar ácido diluido se necesita una alta temperatura y muestra un rendimiento mucho menor. La alta temperatura provoca una degradación en los azúcares hemicelulósicos, en especial cuando los tiempos de residencia pasan a ser largos (33).

**Hidrólisis enzimática:** Se usa un grupo de enzimas creados por microorganismos como hongos, bacterias y celulosas que pasan a producir una combinación de acciones enzimáticas con relación al sustrato. Las enzimas celulasas más usadas y que poseen una investigación más profunda, pertenecen al grupo de hongos de los géneros trichoderma, phanerochaete y fusarium (34).

**Hidrólisis alcalina:** Cuando observamos el mecanismo que tiene la hidrólisis alcalina de la biomasa, lo vinculamos a la saponificación de enlaces ésteres intramoleculares que pasan a unir los xilanos de la hemicelulosa y otros elementos, como por ejemplo, la lignina. Si buscamos la mejor efectividad al usar este tipo de tratamiento, es necesario contemplar el contenido de lignina del material que se piensa tratar. La disolución de la lignina comienza con la ruptura de los enlaces  $\alpha$ -arileter y

arilgliceron- $\beta$ -aril- eter que pasan a desfragmentarla. Esta ruptura empieza con la protonación de grupos hidroxílico o éter en el carbono  $\alpha$  del monómero. Esto ocasiona que suceda la formación que corresponde al ácido conjugado y tiende a progresar la ruptura de los enlaces  $\alpha$  y  $\beta$  o pasan a condensarse en otros monómeros. Actualmente existen tres mecanismos según el avance del ácido conjugado, podría romperse de manera irreversible en el enlace  $\alpha$ -arileter y mostrar un exceso de carga en el carbono  $\alpha$ , se podría suponer una experimentación nucleofílica en una molécula de agua o alcohol, también podría ocurrir un reemplazo del nucleófilo por la molécula de agua o romperse de manera directa a raíz del enlace  $\alpha$ -arileter y crear el carbocación. (34).

### 2.2.5 Azúcares reductores

Los azúcares reductores o también conocidos como glúcidos digestibles, tiene como principal representante a la glucosa el cual constituye un nutriente fundamental para los seres vivos. Los azúcares reductores pueden cuantificarse de distintas formas (Ver tabla 5), las moléculas hidroxiladas presentan una configuración espacial específica los cuales permiten identificar y cuantificarlos en base a reacciones de óxido – reducción o por su acción sobre la luz polarizada o a sus propiedades cromatográficas (35). (Ver figura 2, p.24)

**Tabla 5**

*Métodos para la determinación de azúcares reductores*

<b>Método y/o Técnicas de determinación de azúcares reductores</b>
Prueba de Benedict
Prueba de Fehling
Prueba de Tollens
Método del DNS
Técnica cromatográfica HPLC
Método de Somogyi-nelson

Fuente: la información se tomó de los siguientes autores Bello, D.; Carrera B.; Diaz M., (2006); Briceño, (2016)



## **2.3 Conceptual**

### **2.3.1 Biomasa**

Se trata de la materia orgánica que viene de plantas, árboles y los desechos de animales. Estos pueden ser convertidos en energía. Asimismo, está la biomasa que viene de residuos urbanos o de la agricultura. La biomasa a la hora de producir energía puede cubrir un gran rango de materiales y fuentes como los residuos de la industria forestal y la agricultura. Pero no solo eso, también es posible usarla para la producción de energía a una escala significativa que, a futuro, podría reemplazar en definitiva los combustibles fósiles. De igual forma, la biomasa podría ser la clave para la producción de sustancias químicas con un alto valor comercial (38).

### **2.3.2 La cáscara de yuca**

En términos generales, la cáscara de la yuca es el subproducto que se consigue gracias al uso de la raíz, bien sea en la alimentación humana directa como a nivel industrial. La misma cáscara también se considera como un residuo, el cual se acumula y desecha. En una misma línea, estos se pueden usar como una fuente de energía renovable con el objetivo de prevenir algún vector negativo que termine perjudicando el medio ambiente (3).

La cáscara se compone de la corteza y el peridermis que, al mismo tiempo, se compone por células de corcho (felema o súber) que están muertas y pasan a envolver la superficie de la raíz. Cuando se aumenta el diámetro de la raíz, vemos como la continuidad de las capas celulares terminan por romperse causando grietas longitudinales que le da ese característico semblante a su superficie. Asimismo, debajo del peridermis encontraremos la corteza o capa cortical (felodermis). Se trata de un tejido con 1 a 2 mm de espesor cuya tonalidad varía desde el blanco, crema hasta el rosado. En esta sección vemos que la corteza presenta tejidos del floema, las cuales poseen altas concentraciones de glucósido cianogénico (26).

La cáscara de la yuca termina representando el 15 a 20% del peso completo de la raíz donde, además, su calidad pasa a ser uniforme, mostrando una concentración de proteína, grasa, fibra y distintos minerales más altos que la

pulpa. Por otro lado, al secar y transformarse en harina, lo consideramos como un insumo energético el cual es usado en la comida para cerdos. La harina a base de cáscara de yuca posee niveles regulares de carbohidratos solubles siendo así un insumo energético que fácilmente puede reemplazar a otros insumos más costosos como el polvillo de arroz (39).(Ver tabla 6)

**Tabla 6**

*Composición química de la raíz con y sin cáscaras (base seca)*

<b>Componentes</b>	<b>Contenido (%)</b>	
	<b>Raíz con cáscara</b>	<b>Raíz sin cáscara</b>
<b>Materia seca</b>	100.00	100.00
<b>Carbohidrato disponible</b>	83.80	92.4
<b>Proteína Cruda</b>	3.05	1.56
<b>Ceniza</b>	2.45	2.00
<b>Hemicelulosa</b>	1.16	1.45
<b>Extracto entero</b>	1.04	0.88

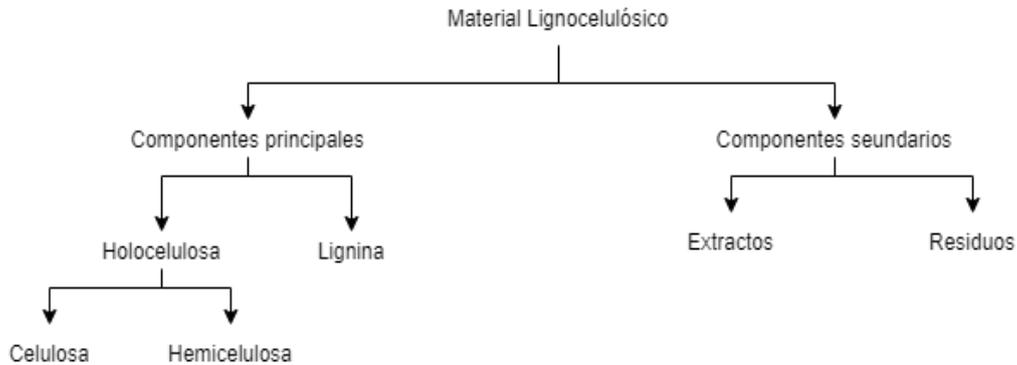
Fuente: Gill LL, J., & Buitrago, J. (1990)

### **2.3.3 Material lignocelulósico**

Los materiales lignocelulósicos también conocidos como metabolitos primarios son los hidratos de carbonos bien sea azúcar simple, almidón, celulosa, etc. Estos materiales poseen una estructura y composición química heterogénea que se definen en tres polímeros principales y que están presentes en la pared vegetal, celulosa (40-50%), las hemicelulosas (20-30%) y lignina (10-30%)(27). (Ver figura 4, p.27)

**Figura 4**

*Componente de biomasa de lignocelulosa*

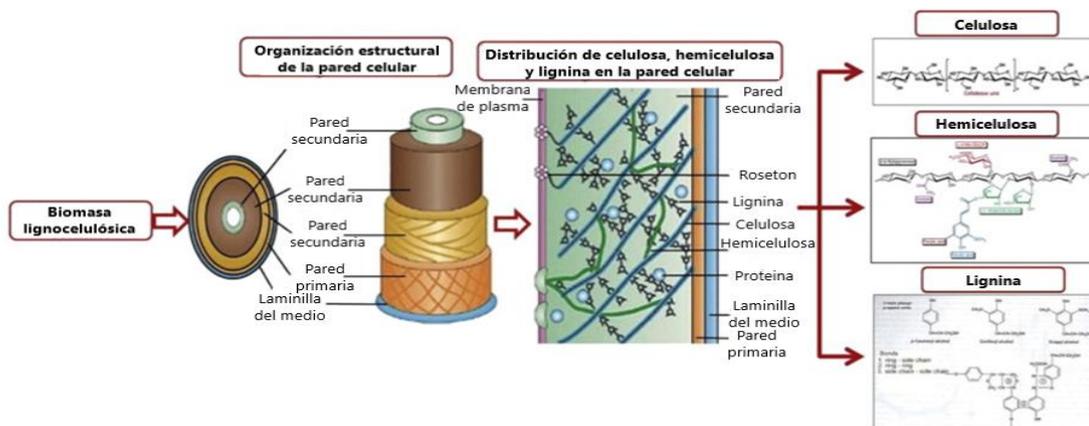


Fuente: Romero (2010)

Es considerado como un material celulósico y lignocelulósico el cual está compuesto por tejidos vegetales donde la celulosa es parte de capas recubiertas con hemicelulosa en el cual se deposita la lignina. Dicha estructura nace como una necesidad por parte de los vegetales para poder tener una menor degradación y a su vez conferir estabilidad hidrolítica y robustez estructural a las paredes celulares. De esta manera, los tejidos con células lignificadas terminan por dotar a los órganos, en especial a los tallos más esbeltos y resistencia mecánica. Además, pasa a optimizar la regulación hídrica junto a la resistencia de patógenos (35). (Ver figura 5)

**Figura 5**

*Matriz lignocelulósica*



Fuente: Menon & Rao (2012)

### **2.3.4 Pretratamiento de material lignocelulósico**

Cuando hablamos de pretratamientos de material lignocelulósico, estos tienen el objetivo de quitar la lignina e hidrolizar la hemicelulosa con azúcares fermentables, disminuyendo de esa forma la cristalinidad de la celulosa y lograr liberar la glucosa (42).

#### **Pretratamiento ácido**

Se trata de un pretratamiento que busca solubilizar la fracción de hemicelulosas con la misión de hacer que la celulosa pase a ser más accesible a las enzimas. De esa forma, los ácidos que están concentrados darán paso a la obtención de un mayor rendimiento, pero para ello es necesario usar una gran cantidad de estos (43).

#### **Pretratamiento alcalino**

Con el pretratamiento alcalino, se busca aumentar también la digestibilidad de la celulosa. El mismo pretratamiento puede separarse en dos grupos: los pretratamientos que emplean sodio, potasio o hidróxido de calcio y pretratamientos que usan hidróxido de amonio. Este método es eficiente y eficaz a la hora de lograr la solubilización de lignina, exhibiendo así las celulosas y solubilización de hemicelulosas (44).

#### **Pretratamiento biológico**

También vemos como los organismos principales que descomponen la lignina, viven presentes en un grupo de hongos que pasan a degradar los polímeros a través de una secreción de enzimas extracelulares. Se trata de un método que muestra un gran rendimiento por productos y pocas reacciones laterales. No obstante, la velocidad de hidrólisis en gran parte de este tipo de procesos es relativamente baja (45).

#### **Pretratamiento térmico**

En este proceso, el material lignocelulósico pasa a calentarse por arriba de los 150-180 °C. En ese sentido, empezará a solubilizarse la hemicelulosa

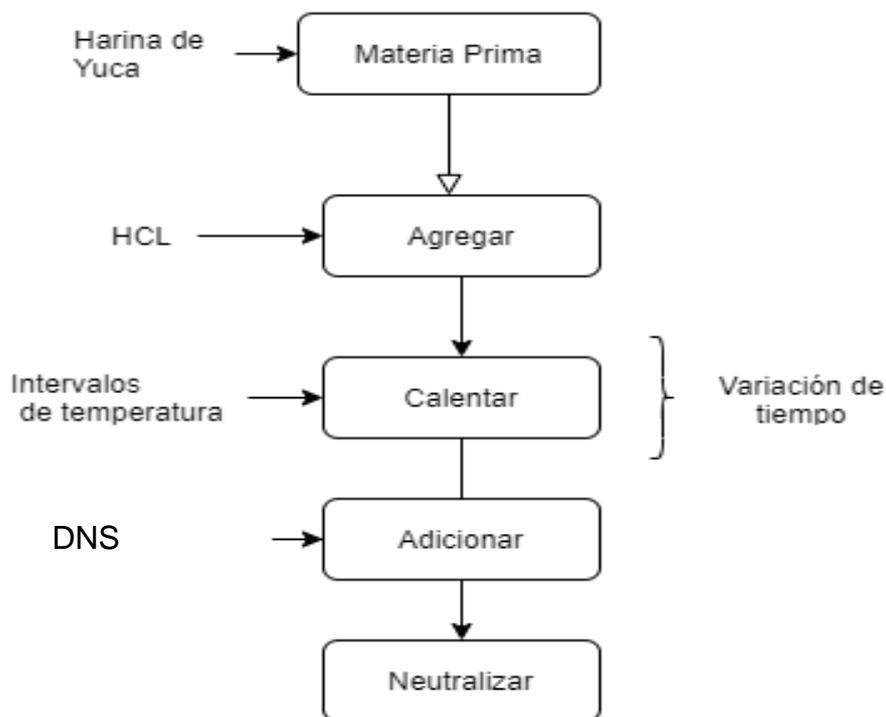
y luego pasará a la lignina. Quizás el rango de temperatura sea más una indicación porque finalmente, depende mucho de la composición del material lignocelulósico. En este procedimiento la parte hemicelulósica se hidroliza y crea los ácidos, los cuales sirven de catalizador para la hidrólisis de la celulosa(40).

### 2.3.5 Hidrólisis ácida de la biomasa lignocelulósica

El modo más fácil de hidrolizar la celulosa en glucosa es por medio de un catalizador ácido. El polímero de celulosa está compuesto por monómeros glucopiranosilo unidos por enlaces  $\beta$ -(1,4) glicosídicos, los cuales se rompen con ayuda de un catalizador ácido (46).(Ver figura 6)

**Figura 6**

*Diagrama de flujo de hidrolisis ácida*



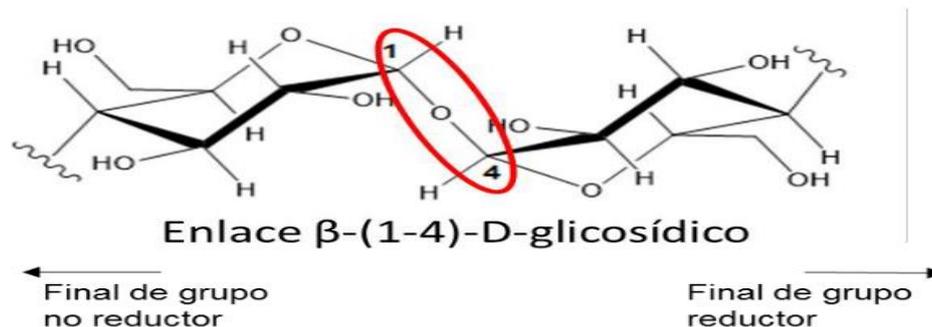
### **Celulosa**

Cuando hablamos de celulosa, nos referimos a un polisacárido lineal con un alto peso molecular y un grado elevado de polimerización; asimismo, se trata del elemento principal en las paredes celulares de los vegetales. El

grado de polimerización de la celulosa lo definimos como un número repetitivo de unidades de glucosa anhidra ( $\beta$ -D-glucopiranosas) las cuales, se unen entre ellas a través de un enlace glicosídico entre carbono 1 y 4 en la cadena polimérica. Sobre el enlace glicosídico, este lo podemos apreciar en la figura 7, cuya formación se genera por la reacción del grupo. Entre los extremos de la cadena de celulosa, sabemos que está representada por un carbono anomérico el cual, no está relacionado con el enlace glicosídico. Es en este carbono 1 que un grupo aldehído con carácter reductor. Asimismo, vemos al otro lado de la cadena de carbono anomérico que se protege por el enlace glicosídico porque no muestra las propiedades reductoras. El que los grupos  $-OH$  estén en posición ecuatorial, da la opción a la celulosa el poder formar uniones por puentes de hidrógeno inter, e intramoleculares, dando cabida a las fibrillas elementales(46).

**Figura 7**

*Estructura primaria de la celulosa*



Fuente: Morales De La Rosa (2015)

*Nota.* Se forma por la reacción del grupo  $-OH$  hemiacetálico del carbono anomérico (carbono 1) de la  $\beta$ -D-glucopiranosas con el grupo  $-OH$  del carbono 4 de otra  $\beta$ -D-glucopiranosas.

## 2.4 Definiciones de términos básicos

**Harina de cáscara de *Manihot esculenta* (yuca) variedad blanca.-** Es la cáscara de yuca libre de lignina, secada y molida hasta una humedad de 14%.

**Hidrólisis ácida.-** Es la ruptura de polímeros celulósicos presentes en la harina de la cáscara de *Manihot esculenta* (yuca) variedad blanca por efecto de la adición de HCl, en una concentración determinada.

**Relación harina – ácido.-** Son los gramos de harina de la cáscara de yuca tratada con HCl, en una relación de 1 g harina / 12mL HCl al 1, 3 y 5% v/v.

**Tiempo de hidrólisis.** - Es el tiempo en minutos que requiere la reacción para la transformación de la harina de la cáscara de *Manihot esculenta* (yuca) variedad blanca.

**Temperatura de hidrólisis.-** Es la temperatura que requiere la reacción para la transformación de la harina de cáscara de *Manihot esculenta* (yuca) variedad blanca.

**Azúcares reductores.-** Azúcares obtenidos luego del proceso de hidrólisis de la harina de cáscara de *Manihot esculenta* (yuca) variedad blanca.

**Concentración de azúcares reductores.-** Cantidad de azúcares obtenidos luego del proceso de hidrólisis de la harina de cáscara de *Manihot esculenta* (yuca) variedad blanca.

**Conversión de azúcares reductores.-** Cantidad de azúcares reductores obtenido por porcentaje de almidón y celulosa presente en la masa de harina de la cáscara de *Manihot esculenta* (yuca) variedad blanca luego del proceso de hidrólisis.

**Organosolv.-** Técnica de fabricación de pulpa que utiliza un disolvente orgánico para solubilizar lignina y la hemicelulosa.

### III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

#### 3.1 Hipótesis

##### Hipótesis general

Mediante la hidrólisis ácida de la harina de la cáscara de *Manihot esculenta* (yuca) variedad blanca se obtiene un grado de conversión cercano al 80% en azúcares reductores.

##### Hipótesis específicas

- La harina de la cáscara de *Manihot esculenta* (yuca) variedad blanca presenta características químicas proximales que permiten obtener azúcares reductores.
- La concentración del ácido, el tiempo y la temperatura tienen efecto directo en la hidrólisis ácida de la harina de la cáscara de *Manihot esculenta* (yuca) variedad blanca.

#### 3.1.1 Operacionalización de variables

Tabla 7

Operacionalización de variables

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADOR	MÉTODOS
<b>I. DEPENDIENTE</b>			
Y = Grado de conversión de azúcares reductores.	Y <sub>1.1</sub> . Concentración de azúcares reductores obtenidos.	Y <sub>1.1</sub> mg/L	Y <sub>1.1</sub> . espectrofotometría
	Y <sub>1.2</sub> . Conversión de azúcares reductores.	Y <sub>1.2</sub> . % conversión	Y <sub>1.2</sub> . espectrofotometría
<b>II. INDEPENDIENTES</b>			
X <sub>1</sub> = Análisis químico proximal de la harina de la cáscara de <i>Manihot esculenta</i> (yuca) variedad blanca.	X <sub>1.1</sub> .= Cantidad de carbohidratos.	X <sub>1.1</sub> .: % carbohidratos	X <sub>1.1</sub> .: análisis químico
	X <sub>1.2</sub> .= Cantidad de proteínas.	X <sub>1.2</sub> .: % proteínas	X <sub>1.2</sub> .: análisis químico
	X <sub>1.3</sub> .= Cantidad de grasas.	X <sub>1.3</sub> .: % grasas	X <sub>1.3</sub> .: análisis químico
	X <sub>1.4</sub> .= Cantidad de cenizas	X <sub>1.4</sub> .: % cenizas	X <sub>1.4</sub> .: análisis químico
X <sub>2</sub> = Parámetros para la hidrólisis ácida de la harina de la cáscara de <i>Manihot esculenta</i> (yuca) variedad blanca.	X <sub>2.1</sub> .= Concentración de ácido clorhídrico.	X <sub>2.1</sub> .: %v/v	X <sub>2.1</sub> . volumetría
	X <sub>2.2</sub> .= Tiempo de la reacción de hidrólisis.	X <sub>2.2</sub> .: minutos	X <sub>2.2</sub> . cronometría
	X <sub>2.3</sub> .= Temperatura de la reacción de hidrólisis.	X <sub>2.3</sub> .: °C	X <sub>2.3</sub> . termometría

## IV. METODOLOGÍA

### 4.1 Diseño metodológico

#### 4.1.1 Tipo de investigación

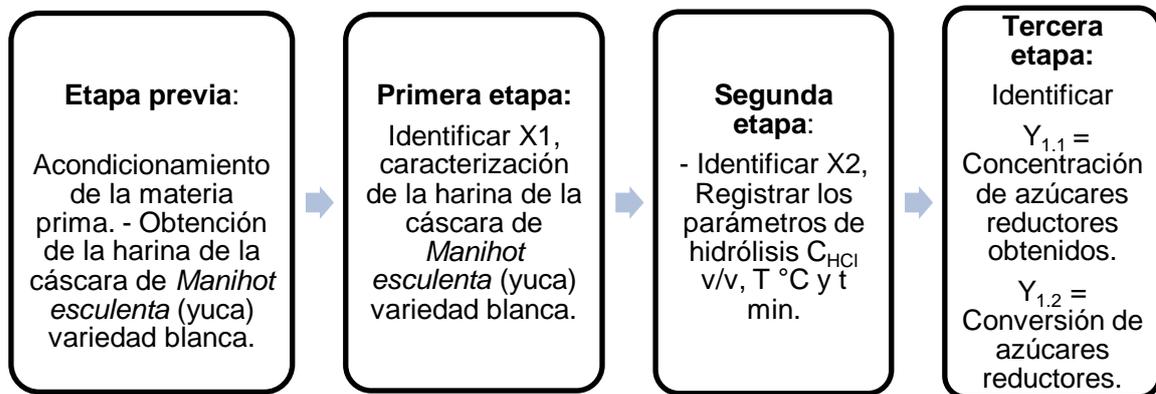
El presente trabajo es de tipo aplicado, debido a que busca aplicar un proceso para la obtención de azúcares reductores a partir de la hidrólisis ácida de la harina de la cáscara de *Manihot esculenta* (yuca) variedad blanca. Por su diseño interpretativo es experimental, porque emplea el control, manipulación y observación de las variables para obtener los resultados requeridos. Por el carácter de los datos es del tipo cuantitativo porque se manipulan variables y mide el efecto de las variables independientes sobre la variable dependiente.

#### 4.1.2 Diseño de investigación

Se plantean tres etapas de investigación y una etapa previa para el acondicionamiento de la materia prima y obtención de la harina de la cáscara de *Manihot esculenta* (yuca) variedad blanca. (Ver figura 8)

**Figura 8**

*Diseño de investigación por etapa*



### 4.2 Método de investigación

#### 4.2.1 Etapa previa

Esta etapa inició con el lavado de 50 Kg de yuca con el objetivo de eliminar residuos de tierra u otros, posterior a esto se realizó el pelado y se obtuvo 6 Kg de la materia prima (cáscara de *Manihot esculenta* variedad blanca). Luego se

procedió con la eliminación de la lignina sumergiendo las cáscaras en una solución al 3% de NaOH a 60°C por una hora; realizado el lavado y escurrido de la cáscara para eliminar remanentes de la solución de NaOH, para proceder a secar a una temperatura de 70°C durante 24 horas obteniendo una humedad en el rango de 11% a 14 %. Luego de realizado el secado se procedió a moler hasta un tamaño de partícula de tamiz 18 (serie ASTM).

#### **4.2.2 Primera etapa de la investigación**

En esta etapa se procedió a realizar el análisis proximal de la harina de cáscara de *Manihot esculenta* (yuca) variedad blanca, del cual fue importante determinar el porcentaje de almidón y celulosa presente en la muestra ya que esta fue la que se transformó en azúcares reductores, esto se realizó enviando una muestra de la harina a un laboratorio certificado en los ensayos correspondientes.

#### **4.2.3 Segunda etapa de la investigación**

En esta etapa de la investigación, en base a la revisión de la teoría vinculada a las variables de investigación, se realizaron pruebas de laboratorio definiendo una relación de 5 g harina por 60 mL de HCl lo cual nos permitió obtener la información relacionada a la variable  $X_{2.1}$ , concentración de ácido clorhídrico para la hidrólisis de la harina de cáscara de *Manihot esculenta* (yuca) variedad blanca, la variable  $X_{2.2}$ , tiempo de la reacción de hidrólisis de la harina de cáscara de *Manihot esculenta* (yuca) variedad blanca y la variable  $X_{2.3}$ , temperatura de la reacción de hidrólisis de la harina de cáscara de *Manihot esculenta* (yuca) variedad blanca; esta recolección de datos se obtuvo de los ensayos realizados en un laboratorio particular.

#### **4.2.4 Tercera etapa de la investigación**

Con las pruebas realizadas se obtuvo una solución en la cuál estaban presentes los azúcares reductores, por lo que se procedió a cuantificar y registrar las variables  $Y_{1.1}$ , concentración de azúcares reductores y  $Y_{1.2}$ , %conversión de azúcares reductores.

Se utilizó el método experimental y analítico. Para el estudio de la obtención de los azúcares reductores mediante experimentos a nivel de laboratorio se tomó en consideración variables cuantitativas. Se consideró tres factores, concentración del ácido clorhídrico con tres niveles, el tiempo de la reacción de hidrólisis con tres niveles y la temperatura de la reacción de hidrólisis con tres niveles tal como se muestra en la tabla 8.

**Tabla 8**

*Niveles de factores*

Factor	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Concentración de ácido para hidrólisis	C1	C2	C3
Tiempo de la reacción de hidrólisis	t1	t2	t3
Temperatura de la reacción de hidrólisis	T1	T2	T3

El experimento factorial resultante para tres niveles y tres factores es de  $3 \times 3 \times 3 = 27$  condiciones experimentales, donde cada condición es una prueba experimental para obtención de azúcares reductores; cada una de estas con tres réplicas.

Los niveles de concentración del ácido clorhídrico para la hidrólisis de la harina de cáscara de *Manihot esculenta* (yuca) variedad blanca fueron 1%, 3% y 5%, basándonos en el trabajo de Aruwajoye et al (10). en su artículo “*Soaking assisted thermal pretreatment of cassava peels wastes form fermentable sugar production: process modelling and optimization*” el cual indica una concentración óptima de 3.68% v/v, los niveles de tiempo de reacción de la hidrólisis de la harina de cáscara de *Manihot esculenta* (yuca) variedad blanca fueron 60 min, 90 min, 120 min, y los niveles de la temperatura de hidrólisis de la reacción de la hidrólisis de la harina de cáscara de *Manihot esculenta* (yuca) variedad blanca fueron de 40°C, 60°C y 80°C. De acuerdo con esta propuesta, el diseño experimental fue el que se muestra en la tabla 9 (Ver p. 36) y el registro de las variables de respuesta estuvo de acuerdo con lo mostrado en la tabla 10 (Ver p. 37).

**Tabla 9***Diseño experimental*

Nº experimento	Concentración de HCl (v/v)	Tiempo de reacción (min)	Temperatura de reacción (°C)
1	C1	t1	T1
2	C1	t1	T2
3	C1	t1	T3
4	C1	t2	T1
5	C1	t2	T2
6	C1	t2	T3
7	C1	t3	T1
8	C1	t3	T2
9	C1	t3	T3
10	C2	t1	T1
11	C2	t1	T2
12	C2	t1	T3
13	C2	t2	T1
14	C2	t2	T2
15	C2	t2	T3
16	C2	t3	T1
17	C2	t3	T2
18	C2	t3	T3
19	C3	t1	T1
20	C3	t1	T2
21	C3	t1	T3
22	C3	t2	T1
23	C3	t2	T2
24	C3	t2	T3
25	C3	t3	T1
26	C3	t3	T2
27	C3	t3	T3

**Tabla 10***Registro de la variable respuesta*

Nº experimento	Concentración de azúcares reductores obtenidos (mg/L)	Grado de conversión
1	Y1.1.1	Y1.2.1
2	Y1.1.2	Y1.2.2
.....	.....	.....
26	Y1.1.26	Y1.2.26
27	Y1.1.27	Y1.2.27

### 4.3 Población y muestra

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se adquirió la yuca *Manihot esculenta* de variedad blanca en el mercado Villa del Norte, ubicado en el distrito de Los Olivos, Lima Metropolitana, departamento de Lima, la cual proviene de la ciudad de Cañete.

Debido a que el presente trabajo de investigación es experimental no es aplicable la determinación del tamaño de muestra mediante métodos estadísticos conocidos, por lo que se trabajará con una unidad de análisis que consiste en el tratamiento de 5 g de harina de cascara de *Manihot esculenta* (yuca) variedad blanca con ácido clorhídrico de una determinada concentración en una relación de 1 g harina : 12 mL HCl de determinada concentración v/v según el diseño experimental que se muestra en la tabla 9.

### 4.4 Lugar de estudio y periodo desarrollado

El desarrollo del presente trabajo de investigación se hizo en las instalaciones de un laboratorio particular ubicado en el distrito de Lurín el cual cuenta con todas los equipos e instrumentos necesarios para el correcto desarrollo.

Fue ejecutado durante el periodo aproximado de tres meses comprendidos desde 01/07/2022 a 30/09/2022.

## 4.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

### 4.5.1. Técnicas para la recolección de la información

Para la presente investigación se realizaron distintas técnicas para la recolección de datos, las cuales se detallan por etapa de proceso.

#### Para el análisis químico proximal

La muestra de harina de cáscara de *Manihot esculenta* (yuca) variedad blanca se sometió a diferentes métodos para obtener los resultados del análisis químico proximal. (Ver tabla 11)

**Tabla 11**

*Análisis químico proximal de la harina de Manihot esculenta*

<b>Ensayo</b>	<b>Método utilizado</b>
Proteínas	IS/ISO 5983-1:2005 Animal Feeding Stuffs
Humedad	NTP 205.037 1975 (revisado el 2011)
Almidón y celulosa	NMX-F-374-1983. Alimentos. Almidón y celulosa. Determinación cualitativa (prueba de Lugol)
Cenizas	NMX-F-066-S-1978.
Carbohidratos	MS-INS Collazos.
Grasa	NMX-F-089-S-1978

#### Para la determinación de tamaño de partícula

Se realizó usando los tamices número 18, 40 y 60 de la serie ASTM E11.

#### Para la remoción de lignina

Se realizó sumergiendo las cáscaras en una solución al 3% de NaOH a 60°C por una hora.

#### Para la hidrólisis ácida

Se desarrolló evaluando los parámetros: X<sub>2.1</sub>. concentración de HCl se hizo al adicionarlo en el recipiente donde tuvo efecto la reacción, previamente el HCl se estandarizó con Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> con el fin de garantizar que la

concentración sea la indicada de acuerdo con el diseño experimental,  $X_{2.2}$ . tiempo de la reacción de hidrólisis se realizó haciendo uso de un cronómetro y  $X_{2.3}$ . la temperatura de reacción se midió con un termómetro.

#### **Para la determinación de azúcares reductores**

Se efectuó mediante la determinación de “Contenido de azúcares reductores totales” el cual usa el método de Miller con DNS (ácido 3,5-dinitrosalicílico)(47).

#### **4.5.2. Instrumentos de recolección de datos**

Para el desarrollo de la presente investigación se necesitaron de equipos, materiales, insumos y reactivos los cuales se mencionan a continuación.

##### ***Equipos***

- Baño maría para laboratorio
- Espectrofotómetro Thermo Scientific GENESYS 10S UV-Vis.
- Moledora artesanal.
- Estufa de laboratorio.
- Tamices serie ASTM E11.
- Agitador magnético VELP Scientifica.
- Balanza analítica METTLER TOLEDO de 0.0001 g de precisión.
- Cocina industrial

##### ***Materiales***

- Vasos de precipitado
- Tubos de ensayo
- Matraz aforado
- Micropipeta
- Puntas para micropipeta.
- Papel aluminio
- Frasco ámbar
- Bureta
- Matraz Erlenmeyer
- Celda de espectrofotómetro

### **Reactivos**

- Hidróxido de sodio (NaOH)
- Carbonato de sodio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)
- Ácido clorhídrico (HCl)
- Agua destilada
- Ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS)
- Tartrato de sodio y potasio
- Fenolftaleína
- Glucosa anhidra

### **4.6 Análisis y procesamiento de datos**

Resulta conveniente determinar la concentración de azúcares reductores obtenidas evaluando la influencia de las variables: concentración de ácido clorhídrico, tiempo y temperatura de hidrólisis para lo cual se aplicó un ANOVA en el método de diseño factorial usando el software minitab 20 lo cual permitió obtener los parámetros que favorecen al proceso.

### **4.7 Aspectos éticos en investigación**

Bajo los lineamientos éticos establecidos por la UNAC ratificamos que la presente investigación se desarrolló respetando los derechos de autor, mostrando originalidad y utilidad, asumiendo la responsabilidad de todo tipo de información planteada.

## V. RESULTADOS

### 5.1 Resultados descriptivos

#### 5.1.1 Resultados del análisis proximal

Los resultados del análisis químico proximal de la harina de la cáscara de *Manihot esculenta* (yuca) variedad blanca se muestran en la tabla 12.

**Tabla 12**

*Análisis químico proximal*

Ensayo	Unidades	Vía	Resultado
Proteínas	g/100g	1	<b>3.64</b>
Humedad	g/100g	1	<b>11.95</b>
Cenizas	g/100g	1	<b>9.77</b>
Carbohidratos	g/100g	1	<b>74.42</b>
Grasa	g/100g	1	<b>0.22</b>

Se determinó el porcentaje de almidón y celulosa inicial en la muestra, la cual fue enviada para su análisis a un laboratorio particular. (Ver tabla 13)

**Tabla 13**

*Porcentaje de almidón y celulosa inicial*

Ensayo	Unid	Vía	Resultado
Almidón y celulosa cuantitativo	%	1	30.75

#### 5.1.2. Resultados de procedimiento experimental

Para determinar la concentración de azúcares reductores y calcular el grado de conversión a partir de las corridas experimentales fue necesario el uso de un espectrofotómetro Thermo Scientific GENESYS 10S UV-Vis dando los resultados evidenciados en las tablas 13, 14 y 15.

**Tabla 14***Primera corrida experimental*

Condiciones			Concentración de azúcares reductores	Conversión de azúcares reductores
Concentración de HCl (%)	Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Promedio. (g/L)	Conv. (%)
1	60	40	3.537	13.80
1	90	40	4.682	18.27
1	120	40	8.047	31.40
3	60	40	7.231	28.22
3	90	40	7.979	31.14
3	120	40	8.489	33.13
5	60	40	0.444	1.73
5	90	40	0.535	2.09
5	120	40	0.569	2.22
1	60	60	3.594	14.03
1	90	60	6.438	25.12
1	120	60	8.296	32.38
3	60	60	9.633	37.59
3	90	60	14.313	55.86
3	120	60	17.599	68.68
5	60	60	0.614	2.40
5	90	60	0.954	3.72
5	120	60	0.342	1.34
1	60	80	6.257	24.42
1	90	80	7.277	28.40
1	120	80	7.923	30.92
3	60	80	14.812	57.80
3	90	80	16.772	65.45
3	120	80	18.959	73.99
5	60	80	0.659	2.57
5	90	80	1.271	4.96
5	120	80	2.438	9.52

**Tabla 15***Segunda corrida experimental*

Condiciones			Concentración de azúcares reductores	Conversión de azúcares reductores
Concentración de HCl (%)	Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Promedio. (g/L)	Conv. (%)
1	60	40	3.798	14.82
1	90	40	4.614	18.01
1	120	40	7.787	30.39
3	60	40	7.435	29.02
3	90	40	7.934	30.96
3	120	40	8.693	33.92
5	60	40	0.512	2.00
5	90	40	0.614	2.40
5	120	40	0.671	2.62
1	60	60	3.526	13.76
1	90	60	7.027	27.42
1	120	60	8.534	33.30
3	60	60	9.418	36.75
3	90	60	14.053	54.84
3	120	60	17.135	66.87
5	60	60	0.716	2.79
5	90	60	1.079	4.21
5	120	60	0.478	1.87
1	60	80	6.495	25.35
1	90	80	7.583	29.59
1	120	80	8.126	31.71
3	60	80	15.741	61.43
3	90	80	17.724	69.17
3	120	80	18.891	73.72
5	60	80	0.761	2.97
5	90	80	1.555	6.07
5	120	80	2.699	10.53

**Tabla 16***Tercera corrida experimental*

Condiciones			Concentración de azúcares reductores	Conversión de azúcares reductores
Concentración de HCl (%)	Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Promedio. (g/L)	Conv. (%)
1	60	40	3.696	14.42
1	90	40	4.682	18.27
1	120	40	8.002	31.23
3	60	40	7.333	28.62
3	90	40	7.843	30.61
3	120	40	8.580	33.48
5	60	40	0.489	1.91
5	90	40	0.569	2.22
5	120	40	0.614	2.40
1	60	60	3.571	13.94
1	90	60	6.903	26.94
1	120	60	8.308	32.42
3	60	60	9.622	37.55
3	90	60	14.143	55.19
3	120	60	17.508	68.33
5	60	60	0.637	2.49
5	90	60	1.033	4.03
5	120	60	0.456	1.78
1	60	80	6.450	25.17
1	90	80	7.549	29.46
1	120	80	8.059	31.45
3	60	80	15.616	60.94
3	90	80	17.667	68.94
3	120	80	18.970	74.03
5	60	80	0.648	2.53
5	90	80	1.453	5.67
5	120	80	2.495	9.74

## 5.2 Resultados inferenciales

Con los valores obtenidos se procedió a realizar el análisis estadístico para lo cual se empleo el modelo de diseño factorial  $3^3$ , con ayuda del software minitab se obtuvieron valores (Ver tablas 17 y 18) y gráficas (Ver figuras 9 y 10, p. 46) necesarias que se analizaron por separado.

**Tabla 17**

*Analisis de varianza*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	26	2568.71	98.797	2870.79	0.000
Lineal	6	2288.89	381.482	11084.95	0.000
A	2	1960.55	980.275	28484.42	0.000
B	2	105.60	52.799	1534.21	0.000
C	2	222.75	111.373	3236.22	0.000
Interacciones de 2 términos	12	244.78	20.398	592.72	0.000
A*B	4	34.11	8.528	247.79	0.000
A*C	4	194.50	48.624	1412.90	0.000
B*C	4	16.17	4.043	117.48	0.000
Interacciones de 3 términos	8	35.04	4.380	127.28	0.000
A*B*C	8	35.04	4.380	127.28	0.000
Error	54	1.86	0.034		
Total	80	2570.57			

Nota: Donde A,B y C son concentración (%), tiempo (min) y temperatura (°C)

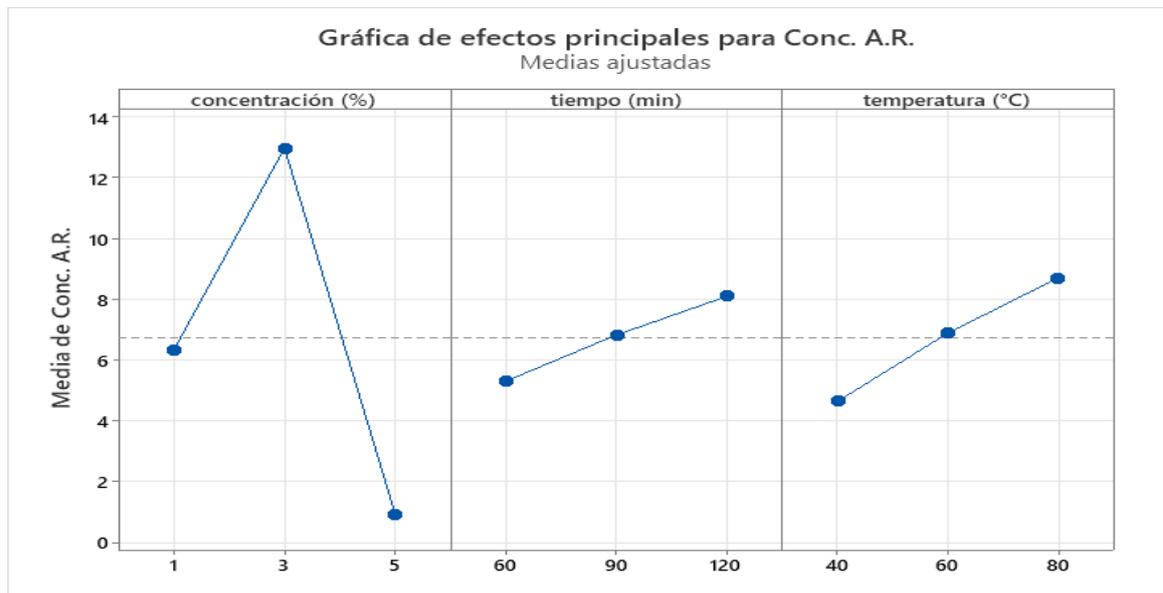
**Tabla 18**

*Resumen del modelo*

S	R-cuadrado	R2 (ajustado)	R2 (pred)
0.185511	99.93%	99.89%	99.84%

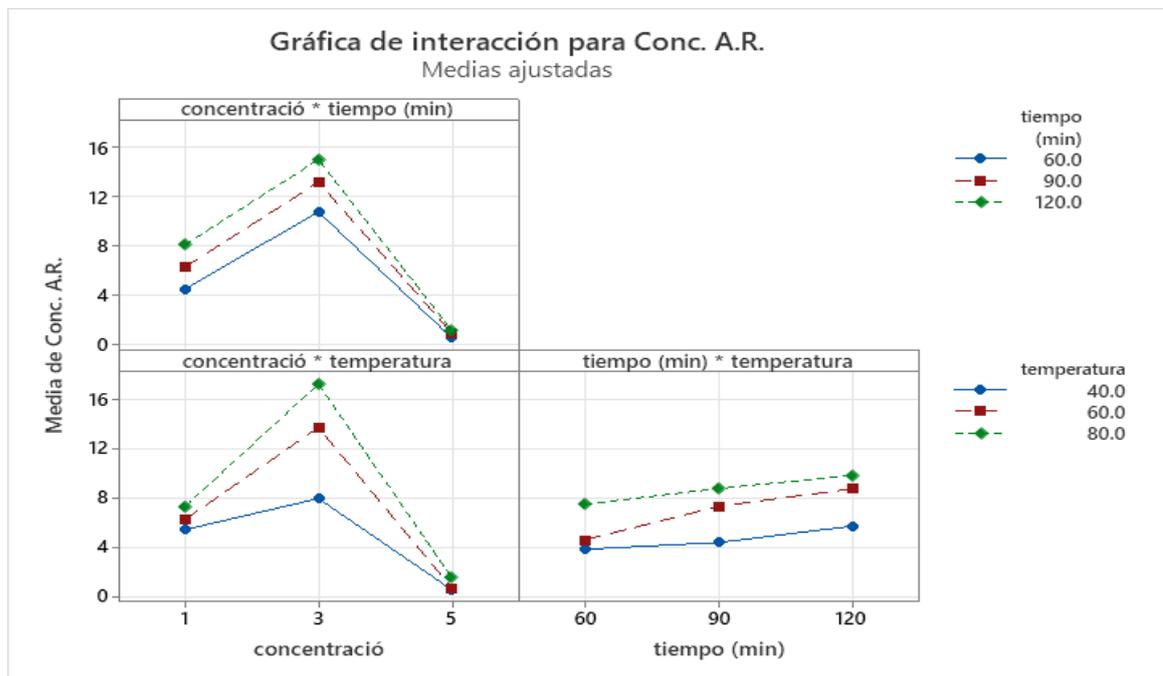
**Figura 9**

*Gráfica de efectos principales*



**Figura 10**

*Gráfica de interacción*



### 5.3. Otro tipo de resultados de acuerdo a la naturaleza del problema y la hipótesis

En el presente trabajo no se obtuvieron otro tipo de resultados.

## VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 6.1 *Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados*

Se obtuvo un grado de conversión en azúcares reductores del  $73.91 \pm 0.167$  % mediante la hidrólisis ácida de la harina de la cáscara de *Manihot esculenta* (yuca) variedad blanca.

Se realizó el análisis químico proximal en base seca de la harina de la cáscara de *Manihot esculenta* (yuca) variedad blanca el cual nos da para proteínas un valor de 3.64 g/100g, para humedad 11.95 g/100g, para cenizas 9.77 g/100g, para carbohidratos 74.42 g/100g y para grasas 0.22 g/100g. Al evidenciar el contenido de carbohidratos en la muestra se analizó el porcentaje de almidón y celulosa inicial el cual fue de 30.75%, este valor fue favorable, debido a que, este se transformó durante la hidrólisis para obtener azúcares reductores.

Se realizó el análisis estadístico en el software Minitab 20 aplicando un ANOVA para las variables: concentración del ácido, temperatura y tiempo de hidrólisis, a su vez se evaluó la interacción entre estos, del cual se obtuvo un p-valor menor a 0.05, lo que nos indica que dichas variables son estadísticamente significativas. Al analizar la gráfica de efectos principales (fig. 9) se evidencia que para obtener el mayor grado de conversión en azúcares reductores la variable de la concentración de ácido debe ser al 3% ya que al aumentar este ocurre una disminución en la obtención de azúcares reductores, por el contrario, para las variables tiempo y temperatura de hidrólisis se ve que se obtiene un mayor rendimiento a 120 min y 80 °C. Al analizar la gráfica de interacción (fig. 10) para las interacciones: concentración – tiempo y concentración - temperatura muestran que la concentración al 3% tiene un efecto muy grande cuando el tiempo y temperatura están en el nivel más alto, para la interacción entre el tiempo – temperatura de hidrólisis, se observa que la temperatura tiene un efecto reducido a un tiempo bajo, pero un efecto positivo a un tiempo alto.

## **6.2 Contrastación de la hipótesis con otros resultados**

La influencia del pretratamiento es un proceso importante para la obtención de azúcares reductores, para el presente proyecto fue necesario un tratamiento alcalino a 60°C, una hora y una concentración de 3% de NaOH; así mismo se evidenció por la formación de espuma durante el proceso, esto permitió obtener un rendimiento alto en la obtención de azúcares reductores según lo expuesto por Aldana y Vázquez (16) los cuales indicaron que el tratamiento alcalino tiene mayor efecto en la obtención de azúcares reductores para las condiciones de 4 horas a 80°C obtuvieron 18.0140 mg/mL de azúcares reductores.

La hidrólisis de la harina de la cáscara de *Manihot esculenta* (yuca) variedad blanca tuvo una mayor obtención en azúcares reductores a la concentración de 3% en HCl, a una temperatura de 80°C y para un tiempo de 120 minutos (véase la figura 8) lo cual nos permite obtener un rendimiento en azúcares reductores alrededor del  $73.91 \pm 0.167\%$ , estos resultados guardan similitud con la investigación de Aruwajoye et al. (10), donde se indicó que la temperatura óptima de proceso fue de 69.62°C, durante 2.57 horas a una concentración de ácido de 3.68 v/v lo cual le permitió obtener un rendimiento del 93%.

El análisis estadístico de las variables concentración, tiempo y temperatura son significativas para el proceso, debido a que el p-valor obtenido es menor a 0.05, este resultado refleja similitud con lo expuesto por Cieza & Diaz (14) que evaluaron la hidrólisis ácida y enzimática en la obtención de azúcares reductores a partir de la cáscara de papa, indicando que para ambos tipos de procesos las variables concentración y tiempo son significativas teniendo un mayor rendimiento para el procedimiento enzimático.

## **6.3 Responsabilidad ética**

El presente trabajo de investigación es experimental y a nivel de laboratorio; por lo que se procedió a realizar las corridas experimentales siguiendo las buenas prácticas de laboratorio para la obtención de la data. Así mismo, para el análisis químico proximal de la muestra se contrató a un laboratorio certificado.

## VII. CONCLUSIONES

1. En esta tesis se obtuvo azúcares reductores a partir de la hidrólisis ácida de la harina de *Manihot esculenta* (yuca) variedad blanca, logrando una máxima concentración de  $18.94 \pm 0.043$  g/L, lo cual representa un grado de conversión del  $73.91 \pm 0.167$  %.
2. Se determinó la composición química proximal en base seca de la harina de la cáscara de *Manihot esculenta* (yuca) variedad blanca, el cual nos dio para proteínas un valor de 3,64 g/100g, humedad 11,95 g/100g, cenizas 9,77 g/100g, carbohidratos 74,42 g/100g y grasas 0,22 g/100g.
3. Se logró conocer las condiciones favorables para la hidrólisis ácida de la harina de la cáscara de *Manihot esculenta* (yuca) variedad blanca son: concentración de ácido clorhídrico al 3%, temperatura a 80°C y tiempo de 120 minutos.

## VIII. RECOMENDACIONES

1. Analizar, utilizando una técnica química, la cantidad de lignina residual en la cáscara de yuca pretratada, esto debido a que durante el proceso de hidrólisis ácida causará interferencia en la reacción de obtención de azúcares reductores al no ser removida adecuadamente.
2. Analizar la influencia del tamaño de partícula para el proceso de hidrólisis debido a que al aumentar el área de transferencia se obtiene mayor facilidad para que se lleve a cabo la reacción.
3. Continuar la evaluación del efecto de las variables de temperatura y tiempo durante el proceso de hidrólisis ácida debido a que aún no se alcanza el punto máximo seguido de la disminución en azúcares reductores.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) CASTAÑEDA E. Y GALLO A. Influencia del medio de crecimiento de *Lactobacillus Delbrueckii*, Subsp. *Bulgaricus* en la obtención de ácido láctico a partir del afrecho de café y cascara de mandarina, (2017). [http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/8964/CastanedaAlvarado\\_E - GalloVillacorta\\_M.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/8964/CastanedaAlvarado_E - GalloVillacorta_M.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- (2) Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI). Anuario estadístico de producción agrícola 2018, 2019. <https://siea.midagri.gob.pe/portal/publicaciones/datosestadisticas/anuarios/category/26-produccion-agricola>.
- (3) ROSALES, J. Y PAUCAR, M. Uso de la cascara de yuca en raciones para cerdos en crecimiento, *Folia Amaz.* 8 (2006) 105. <https://doi.org/10.24841/fa.v8i2.324>.
- (4) ABDEL-RAHMAN, M., TASHIRO, Y. Y SONOMOTO, K. Lactic acid production from lignocellulose-derived sugars using lactic acid bacteria: Overview and limits, *J. Biotechnol.* 156 (2011) 286-301. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2011.06.017>.
- (5) REALES, J., CASTAÑO, H. Y ZAPATA, J. Evaluación de tres métodos de pretratamiento químico sobre la deslignificación de tallos de yuca, *Inf. Tecnol.* 27 (2016) 11-22. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000300003>.
- (6) Informe Técnico de Producción Nacional (INEI). Enero 2022, (2022) 1-52. [www.inei.gob.pe](http://www.inei.gob.pe).
- (7) MARTÍNEZ L., TÉLLEZ S., RODRÍGUEZ G., PALOS I., EFRÉN M. Y CUARENTA J. Producción de azúcares fermentables a partir del agave tequilana weber variedad azul, *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología Alimentaria.* 1 (2016) 220-225. <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume1/2/2/40.pdf>.
- (8) TEJEDA, L., QUINTANA, J., PÉREZ, J. Y YOUNG, H. Obtención de etanol a partir de residuos de poda, mediante hidrólisis ácida e hidrólisis enzimática, *Rev. U.D.C.A Actual. Divulg. Científica.* 14 (2011) 111-116.

- <https://doi.org/10.31910/rudca.v14.n1.2011.763>.
- (9) GIL A. Tratado de nutrición, de Ángel Gil Hernández, 2ª edic. 4 volúmenes. Edit. Médica Panamericana, 2010., Ed. Médica Panam. 4 (2010) 902-904. <https://www.redalyc.org/pdf/3658/365834755023.pdf>.
  - (10) ARUWAJOYE, G., FALOYE, F. Y KANA, E. Soaking assisted thermal pretreatment of cassava peels wastes for fermentable sugar production: process modelling and optimization, *Energy Convers. Manag.* 150 (2017) 558-566. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.08.046>.
  - (11) LOOW, Y., WU, T., JAHIM, J., MOHAMMAD, A. Y TEOH, W. Typical conversion of lignocellulosic biomass into reducing sugars using dilute acid hydrolysis and alkaline pretreatment, *cellulose.* 23 (2016) 1491-1520. <https://doi.org/10.1007/s10570-016-0936-8>.
  - (12) MARIANO, A., UNPAPROM, Y. Y RAMARAJ, R. Hydrothermal pretreatment and acid hydrolysis of coconut pulp residue for fermentable sugar production, *Food Bioprod. Process.* 122 (2020) 31-40. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.04.003>.
  - (13) YOONAN, K. Y KONGKIATTIKAJORN, J. A Study of optimal conditions for reducing sugars production from cassava peels by diluted acid enzymes, *Kasetsart J. Nat. Sci.* 35 (2005) 29-35.
  - (14) CIEZA, R. Y DIAZ, G. Obtención de azúcares reductores a partir de cáscara de papa ( *Solanum tuberosum* ) por hidrólisis química y enzimática, (2018) 83.  
[https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/5777/Cieza García %26 Diaz Rodríguez.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/5777/Cieza%20García%20Diaz%20Rodríguez.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
  - (15) ESPINOZA, K., GAMBOA, C., MATARA, J., TORRES, L., BARRAGÁN, J. Y RODRÍGUEZ, C. Extracción de azúcares reductores totales ART por métodos físicos y químicos de planta de *Zea mays* (Poaceae) “maíz amarillo duro”, *Arnaldoa.* 24 (2017) 289-300. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.241.24112>.
  - (16) ALDANA G. Y VAZQUEZ G. Influencia del tiempo, temperatura y dosis de reactivo en La concentración de glucosa en el pretratamiento ácido y alcalino de los residuos sólidos orgánicos, 2019.

<http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/5992>.

- (17) BARRIOS R. Obtención de azúcares reductores por hidrólisis térmica a la piña (agave americana L.), a utilizarse en la producción de una bebida destilada, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, 2014.
- (18) ARTEAGA T. Y CASIANO L. Influencia de la temperatura y pH en la fermentación de azúcares hidrolizados para la obtención de etanol a partir de la cáscara de café (coffea arábica L.), Universidad Nacional de Trujillo, 2018.
- (19) SANTAMARIA J. Efecto de la concentración de ácido fosfórico y tiempo de hidrólisis en la obtención de azúcares reductores de grano de maíz (Zea mays) morado cocido, Universidad Nacional de Trujillo, 2019.
- (20) USAID. Yuca una opción industrial, Paraguay. (2010) 49.
- (21) BUITRAGO, L. Sistema productivo de yuca (Manihot esculenta Crantz), como alternativa agrícola para el aprovechamiento de terrenos que son utilizados para ganadería extensiva, (2018). [https://ciencia.lasalle.edu.co/ingenieria\\_agronomica](https://ciencia.lasalle.edu.co/ingenieria_agronomica).
- (22) GARAY C. Y PEÑA N. Obtención de azúcares reductores por medio de fermentación sólida a partir de cáscaras de piña, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00539><https://doi.org/10.1016/j.fo reco.2018.06.029><http://www.cpsg.org/sites/cbsg.org/files/documents/S unda Pangolin National Conservation Strategy and Action Plan %28LoRes%29.pdf><https://doi.org/10.1016/j.forec>.
- (23) Yuca Mandioca (2022). <https://www.tuberculos.org/yuca/>
- (24) ARISTIZÁBAL, J. Y SÁNCHEZ, T. Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. Fao, 163, 134. <https://doi.org/9253056770-9789253056774>écnica para producción y análisis de almidón de yuca, Fao. 163 (2007) 134. <http://www.fao.org/3/a-a1028s.pdf>.
- (25) CERRON M. "Inclusión de diferentes niveles de harina de cáscara de yuca (Manihot esculenta crantz) en la alimentación de cuyes en fases de crecimiento y acabado" tesis, 2016.
- (26) CEBALLOS, H. Y DE LA CRUZ, G. Taxonomía y morfología de la yuca. 2002: pp. 17-33. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/18089>.

- (27) EISLER, R. Cyanide hazards to fish, wildlife, and invertebrates: a synoptic review- U.S. Fish Wildl. Serv., Biol. Rep. 85 (1991) 1-65. <http://catalogue.nla.gov.au/Record/4005011>.
- (28) GIL, J. Uso de la yuca en la alimentación animal, 2015. [http://www.clayuca.org/sitio/images/publicaciones/cartilla\\_modulo\\_3\\_yuca\\_alimentacion\\_animal.pdf](http://www.clayuca.org/sitio/images/publicaciones/cartilla_modulo_3_yuca_alimentacion_animal.pdf).
- (29) VELÁSQUEZ, P., Y VILLANUEVA, J. Determinación de los parámetros experimentales en la obtención de glucosa a partir de la yuca del valle de Virú, 2010.
- (30) Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) Perú: Panorama económico ambiental, 2021.
- (31) ESPINOSA, F. Obtención de etanol mediante hidrólisis alcalina, enzimática y fermentación a partir del excedente orgánico del banano variedad musa paradisiaca tesis, 2013.
- (32) TAHERZADEH, M. Y KARIMI, K. Pretreatment of lignocellulosic wastes to improve ethanol and biogas production: A review, 2008. <https://doi.org/10.3390/ijms9091621>.
- (33) PÉREZ, J. Estudio del pretratamiento con agua caliente en fase líquida de la paja de trigo para su conversión biológica a etanol, 2008.
- (34) BARROSO, M. Pretratamiento de biomasa celulósica para la obtención de etanol en el marco de una biorrefinería, Univ. Politécnica Madrid. (2010) 117. [http://oa.upm.es/10559/1/MIGUEL\\_BARROSO\\_CASILLAS.pdf](http://oa.upm.es/10559/1/MIGUEL_BARROSO_CASILLAS.pdf).
- (35) ALCOCER, I. Determinación del contenido de azúcares reductores, totales, almidón y de los elementos minerales Calcio (Ca), Hierro (Fe) y Magnesio (Mg) en harinas de Amarantho variedad Alegría (*Amaranthus caudatus* L.), Chía (*Salvia Hispanica* L.), Papa Puca-shungo (*Sola*, Rev. Bras. Ergon. 3) (2018) 80-91. <https://www.infodesign.org.br/infodesign/article/view/355%0Ahttp://www.abergo.org.br/revista/index.php/ae/article/view/731%0Ahttp://www.abergo.org.br/revista/index.php/ae/article/view/269%0Ahttp://www.abergo.org.br/revista/index.php/ae/article/view/106>.
- (36) BELLO, D., CARRERA, E. Y DIAZ, M. Determinación de azúcares

- reductores totales en jugos y mezclado de caña de azúcar utilizando el método ácido 3,5-dinitrosalicílico, *Icidca*. 40 (2006) 45-50.
- (37) BRICEÑO, K. Azúcares reductores: métodos para determinación, importancia, *Lifeder*. (2016). <https://www.lifeder.com/azucres-reductores/>.
- (38) CORTES, W., IBLA, J., CALDERON, L. Y HERRERA, A. Cuantificación de azúcares reductores en las cáscaras de naranja y banano, *Rev. Tecnol.* 12 (2013). <https://doi.org/10.18270/rt.v12i2.772>.
- (39) GILL, J. Y BUITRAGO, J. La yuca en la alimentación animal, en: 1990.
- (40) ROMERO, I, Hidrólisis ácida y enzimática del residuo de poda de olivo. Fermentación de Hidrolizados con *Pachysolen Tannophilus*., 2003. <http://ruja.ujaen.es/bitstream/10953/431/1/8484392880.pdf>.
- (41) MENON, V., Y RAO, M. Trends in bioconversion of lignocellulose: Biofuels, platform chemicals & biorefinery concept, *Prog. Energy Combust. Sci.* 38 (2012) 522-550. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2012.02.002>.
- (42) CUERVO, L. FOLCH, JL. Y QUIROZ, R. Lignocelulosa como fuente de azúcares para la producción de etanol, *Bio Tecnol.* 13 (2009) 11-25. [http://www.smbb.com.mx/revista/Revista\\_2009\\_3/Lignocelulosa.pdf](http://www.smbb.com.mx/revista/Revista_2009_3/Lignocelulosa.pdf).
- (43) GONZALEZ, A. Desarrollo de pretratamientos enzimáticos de materiales lignocelulósicos para la obtención de bioetanol de segunda generación, (2018).
- (44) MERCANTE, F., ROGÉRIO C., CAVALHEIRO, J., Y OTSUBO, A. Biomassa microbiana, em um argissolo vermelho, em diferentes coberturas vegetais, em área cultivada com mandioca, *Acta Sci. - Agron.* 30 (2008) 479-485. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v30i4.5301>.
- (45) ARELLANO, C. Obtención de bioetanol a partir de materiales lignocelulósicos sometidos a hidrólisis enzimática, 2015.
- (46) MORALES, S. hidrólisis ácida de celulosa y biomasa lignocelulósica asistida con líquidos iónicos memoria para aspirar al grado de, 2015. [https://digital.csic.es/bitstream/10261/132717/1/morales\\_de\\_la\\_rosa\\_silvia.pdf](https://digital.csic.es/bitstream/10261/132717/1/morales_de_la_rosa_silvia.pdf).
- (47) AOAC International, Official methods of analysis of AOAC International, *Assoc. Off. Anal. Chem. Int.* (2016) 3172.

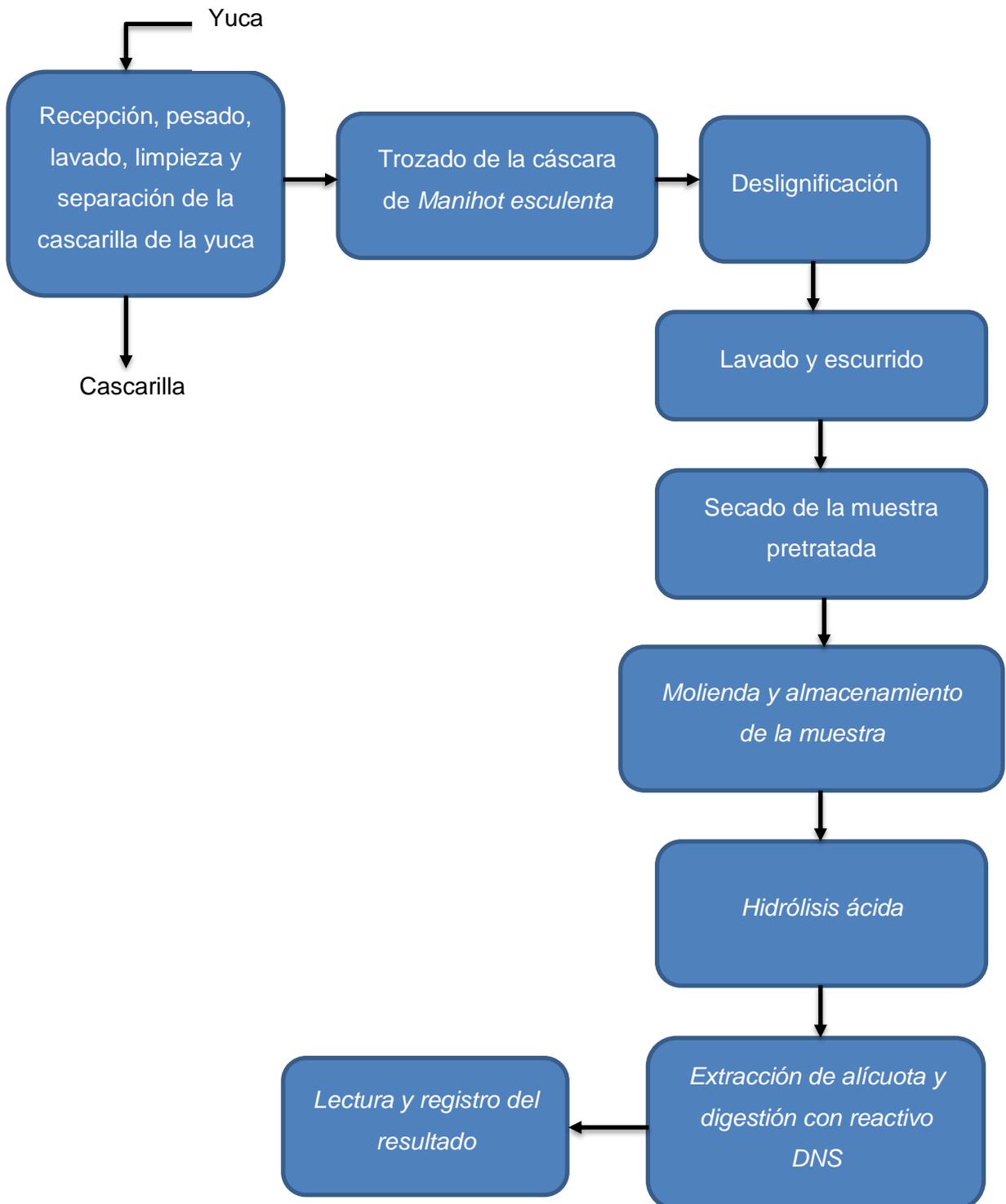
## **ANEXOS**

## - Matriz de consistencia

### “OBTENCIÓN DE AZÚCARES REDUCTORES A PARTIR DE LA HIDRÓLISIS ÁCIDA DE LA HARINA DE LA CÁSCARA DE *Manihot esculenta* (YUCA) VARIEDAD BLANCA”

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES
¿Cómo obtener azúcares reductores a partir de la hidrólisis ácida de la harina de la cáscara de <i>Manihot esculenta</i> (yuca) variedad blanca?	Obtener azúcares reductores a partir de la hidrólisis ácida de la harina de la cáscara de <i>Manihot esculenta</i> (yuca) variedad blanca.	Mediante la hidrólisis ácida de la harina de la cáscara de <i>Manihot esculenta</i> (yuca) variedad blanca se obtiene un grado de conversión cercano al 80% en azúcares reductores.	Y = Grado de conversión de azúcares reductores.	Y <sub>1.1</sub> = Concentración de azúcares reductores obtenidos.  Y <sub>1.2</sub> = Conversión de azúcares reductores.	Y <sub>1.1</sub> mg/L  Y <sub>1.2</sub> %conversión
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLES INDEPENDIENTES	DIMENSIONES	INDICADORES
1. a. ¿Cuál es la composición química proximal de la harina de la cáscara de <i>Manihot esculenta</i> (yuca) variedad blanca?	1. Determinar la composición química proximal de la harina de la cáscara de <i>Manihot esculenta</i> (yuca) variedad blanca.	1. La harina de la cáscara de <i>Manihot esculenta</i> (yuca) variedad blanca presenta características químicas proximales que permiten obtener azúcares reductores.	X <sub>1</sub> = Análisis químico proximal de la harina de la cáscara de <i>Manihot esculenta</i> (yuca) variedad blanca.	X <sub>1.1</sub> . = Cantidad de carbohidratos. X <sub>1.2</sub> . = Cantidad de proteínas. X <sub>1.3</sub> . = Cantidad de grasas. X <sub>1.4</sub> . = Cantidad de cenizas.	X <sub>1.1</sub> .: % carbohidratos X <sub>1.2</sub> .: % proteínas X <sub>1.3</sub> .: % grasas X <sub>1.4</sub> .: % cenizas
2. ¿Cuáles son las condiciones favorables para la hidrólisis ácida de la harina de la cáscara de <i>Manihot esculenta</i> (yuca) variedad blanca?	2. Determinar las condiciones favorables de la hidrólisis ácida de la harina de la cáscara de <i>Manihot esculenta</i> (yuca) variedad blanca.	2. La concentración del ácido, el tiempo y la temperatura tienen efecto directo en la hidrólisis ácida de la harina de la cáscara de <i>Manihot esculenta</i> (yuca) variedad blanca.	X <sub>2</sub> = Parámetros para la hidrólisis ácida de la harina de la cáscara de <i>Manihot esculenta</i> (yuca) variedad blanca.	X <sub>2.1</sub> . = Concentración de ácido clorhídrico. X <sub>2.2</sub> . = Tiempo de la reacción de hidrólisis. X <sub>2.3</sub> . = Temperatura de la reacción de hidrólisis.	X <sub>2.1</sub> .: %v/v X <sub>2.2</sub> .: minutos X <sub>2.3</sub> .: °C

## - Diagrama de proceso de obtención de azúcares reductores



## - Elaboración de la curva patrón

Debido a que el método para determinar los azúcares reductores a utilizar es el espectrofotométrico, resulta necesario realizar una curva patrón la cual fue elaborada en base a la glucosa anhidra, los datos registrados en el espectrofotómetro se muestran en la tabla 19.

**Tabla 19**

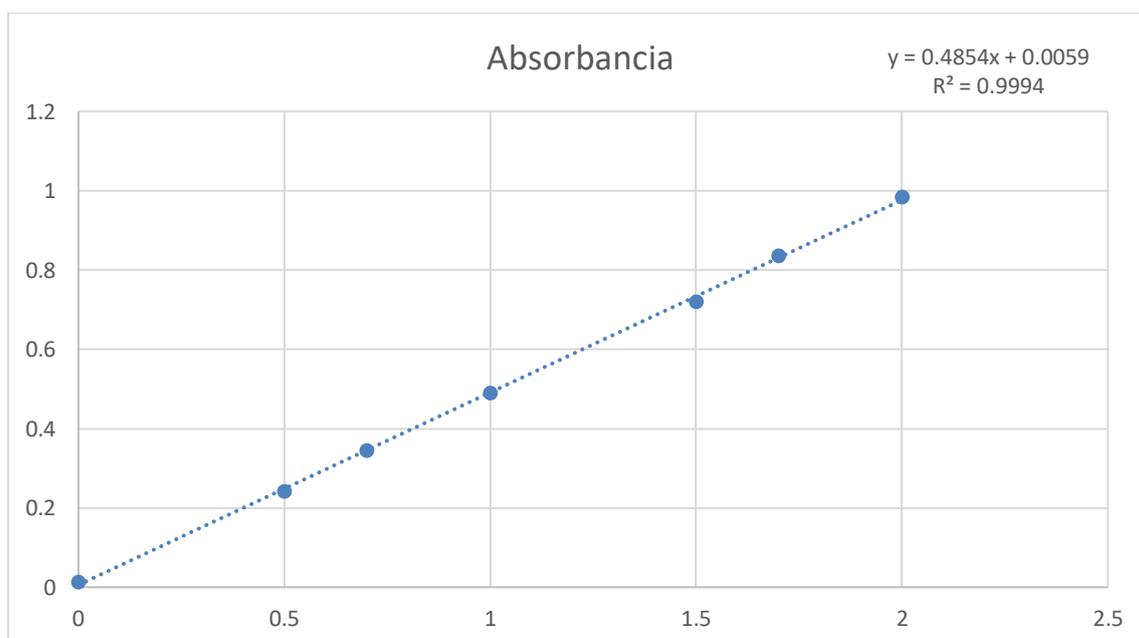
*Absorbancia de glucosa pura a distintas concentraciones*

Concentración	Absorbancia
0	0.014
0.5	0.242
0.7	0.346
1	0.49
1.5	0.72
1.7	0.836
2	0.985

Con estos resultados se elaboró la curva patrón (Ver figura 11), lo que permitió la determinación de la concentración de las muestras obtenidas en las corridas experimentales.

**Figura 11**

*Curva patrón de glucosa*



Se obtuvo un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.9994 lo cual nos indica que las lecturas fueron correctamente realizadas.

## - Lecturas de absorbancia de las corridas experimentales

**Tabla 20**

*Lecturas de absorbancia de la primera corrida experimental*

Lecturas espectrofotométricas		Concentración		F.D.	Concentración corregida		
1 lectura	2 lectura	1 lectura	2 lectura		1 lectura	2 lectura	Prom.
0.161	0.163	0.320	0.324	11	3.515	3.560	3.537
0.215	0.21	0.431	0.420	11	4.739	4.625	4.682
0.363	0.359	0.736	0.727	11	8.093	8.002	8.047
0.323	0.327	0.653	0.662	11	7.186	7.277	7.231
0.357	0.359	0.723	0.727	11	7.957	8.002	7.979
0.382	0.379	0.775	0.769	11	8.523	8.455	8.489
0.025	0.026	0.039	0.041	11	0.433	0.456	0.444
0.029	0.03	0.048	0.050	11	0.523	0.546	0.535
0.031	0.031	0.052	0.052	11	0.569	0.569	0.569
0.164	0.165	0.326	0.328	11	3.583	3.605	3.594
0.29	0.29	0.585	0.585	11	6.438	6.438	6.438
0.371	0.373	0.752	0.756	11	8.274	8.319	8.296
0.432	0.43	0.878	0.874	11	9.656	9.611	9.633
0.637	0.638	1.300	1.302	11	14.302	14.324	14.313
0.78	0.785	1.595	1.605	11	17.542	17.656	17.599
0.033	0.033	0.056	0.056	11	0.614	0.614	0.614
0.047	0.049	0.085	0.089	11	0.931	0.977	0.954
0.022	0.02	0.033	0.029	11	0.365	0.320	0.342
0.281	0.283	0.567	0.571	11	6.234	6.280	6.257
0.327	0.327	0.662	0.662	11	7.277	7.277	7.277
0.354	0.357	0.717	0.723	11	7.889	7.957	7.923
0.659	0.66	1.345	1.348	11	14.800	14.823	14.812
0.747	0.745	1.527	1.523	11	16.795	16.749	16.772
0.840	0.845	1.718	1.729	11	18.902	19.015	18.959
0.035	0.035	0.060	0.060	11	0.659	0.659	0.659
0.063	0.061	0.118	0.114	11	1.294	1.249	1.271
0.113	0.114	0.221	0.223	11	2.427	2.450	2.438

**Tabla 21***Lecturas de absorbancia de la segunda corrida experimental*

Lecturas espectrofotométricas		Concentración		F.D.	Concentración corregida		
1 lectura	2 lectura	1 lectura	2 lectura		1 lectura	2 lectura	Prom.
0.175	0.172	0.348	0.342	11	3.832	3.764	3.798
0.209	0.210	0.418	0.420	11	4.603	4.625	4.614
0.349	0.350	0.707	0.709	11	7.775	7.798	7.787
0.333	0.335	0.674	0.678	11	7.413	7.458	7.435
0.355	0.357	0.719	0.723	11	7.911	7.957	7.934
0.389	0.390	0.789	0.791	11	8.682	8.704	8.693
0.029	0.028	0.048	0.046	11	0.523	0.501	0.512
0.033	0.033	0.056	0.056	11	0.614	0.614	0.614
0.036	0.035	0.062	0.060	11	0.682	0.659	0.671
0.161	0.162	0.320	0.322	11	3.515	3.537	3.526
0.317	0.315	0.641	0.637	11	7.050	7.005	7.027
0.382	0.383	0.775	0.777	11	8.523	8.546	8.534
0.420	0.423	0.853	0.859	11	9.384	9.452	9.418
0.625	0.627	1.275	1.280	11	14.030	14.075	14.053
0.762	0.762	1.558	1.558	11	17.135	17.135	17.135
0.038	0.037	0.066	0.064	11	0.727	0.705	0.716
0.053	0.054	0.097	0.099	11	1.067	1.090	1.079
0.026	0.028	0.041	0.046	11	0.456	0.501	0.478
0.293	0.292	0.591	0.589	11	6.506	6.484	6.495
0.341	0.340	0.690	0.688	11	7.594	7.571	7.583
0.363	0.366	0.736	0.742	11	8.093	8.160	8.126
0.701	0.700	1.432	1.430	11	15.752	15.730	15.741
0.789	0.787	1.613	1.609	11	17.746	17.701	17.724
0.840	0.839	1.718	1.716	11	18.902	18.879	18.891
0.039	0.040	0.068	0.070	11	0.750	0.773	0.761
0.075	0.074	0.142	0.140	11	1.566	1.543	1.555
0.126	0.124	0.247	0.243	11	2.722	2.676	2.699

**Tabla 22***Lecturas de absorbancia de la tercera corrida experimental*

Lecturas espectrofotométricas		Concentración		F.D.	Concentración corregida		
1 lectura	2 lectura	1 lectura	2 lectura		1 lectura	2 lectura	Prom.
0.17	0.168	0.338	0.334	11	3.719	3.673	3.696
0.213	0.212	0.427	0.425	11	4.693	4.671	4.682
0.359	0.359	0.727	0.727	11	8.002	8.002	8.002
0.33	0.329	0.668	0.666	11	7.345	7.322	7.333
0.353	0.351	0.715	0.711	11	7.866	7.821	7.843
0.386	0.383	0.783	0.777	11	8.614	8.546	8.580
0.027	0.028	0.043	0.046	11	0.478	0.501	0.489
0.03	0.032	0.050	0.054	11	0.546	0.591	0.569
0.033	0.033	0.056	0.056	11	0.614	0.614	0.614
0.164	0.163	0.326	0.324	11	3.583	3.560	3.571
0.31	0.311	0.626	0.629	11	6.891	6.914	6.903
0.374	0.371	0.758	0.752	11	8.342	8.274	8.308
0.43	0.431	0.874	0.876	11	9.611	9.633	9.622
0.63	0.63	1.286	1.286	11	14.143	14.143	14.143
0.78	0.777	1.595	1.589	11	17.542	17.474	17.508
0.034	0.034	0.058	0.058	11	0.637	0.637	0.637
0.052	0.051	0.095	0.093	11	1.045	1.022	1.033
0.027	0.025	0.043	0.039	11	0.478	0.433	0.456
0.29	0.291	0.585	0.587	11	6.438	6.461	6.450
0.34	0.338	0.688	0.684	11	7.571	7.526	7.549
0.361	0.362	0.732	0.734	11	8.047	8.070	8.059
0.694	0.696	1.418	1.422	11	15.594	15.639	15.616
0.784	0.787	1.603	1.609	11	17.633	17.701	17.667
0.844	0.842	1.727	1.722	11	18.993	18.947	18.970
0.034	0.035	0.058	0.060	11	0.637	0.659	0.648
0.07	0.07	0.132	0.132	11	1.453	1.453	1.453
0.117	0.115	0.229	0.225	11	2.518	2.472	2.495

## - Ilustraciones del desarrollo de las corridas experimentales

**Figura 12**

*Equipos*

Baño de agua utilizado para mantener la temperatura de reacción.



Interior del UV-Visible.

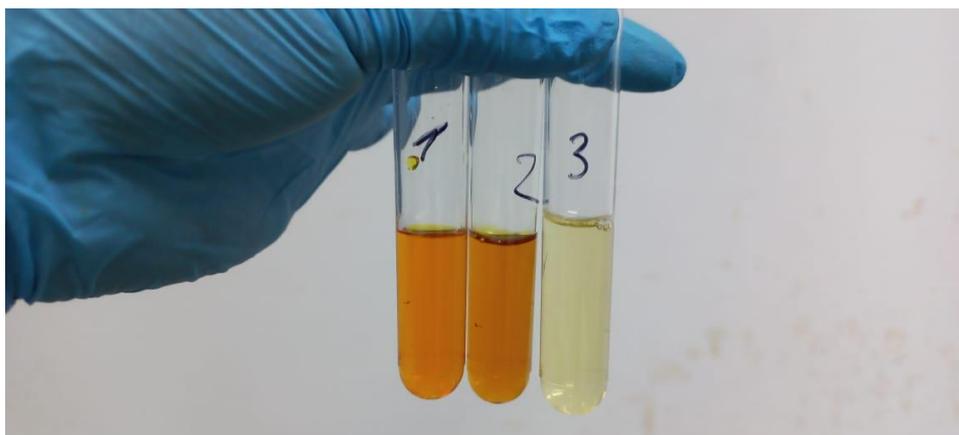


Equipo UV-Visible utilizado para las lecturas.



**Figura 13**

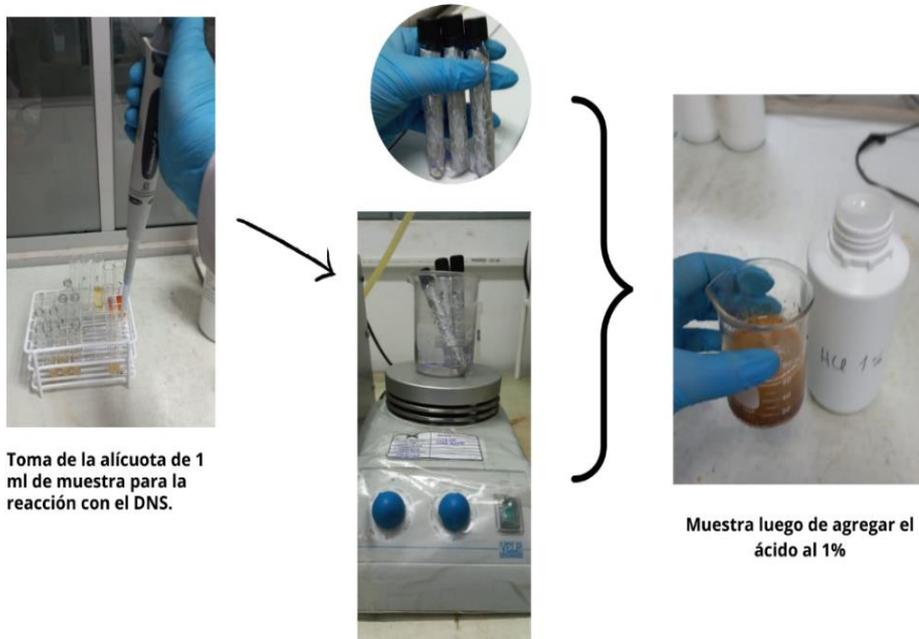
*Comparación de colores*



*Nota.* Comparación de colores con la misma temperatura de reacción a diferentes concentraciones de ácido: 1% tubo 1, 3% tubo 2, 5% tubo 3.

## Figura 14

*Toma de muestras y adición del HCl*



*Nota.* Tubos de muestras cubiertos en aluminio para protegerlos de la luz; baño de agua a 93 grados para iniciar la reacción con el DNS; muestra luego de agregar el ácido al 1%

## Figura 15

*Secado de las muestras*



## Figura 16

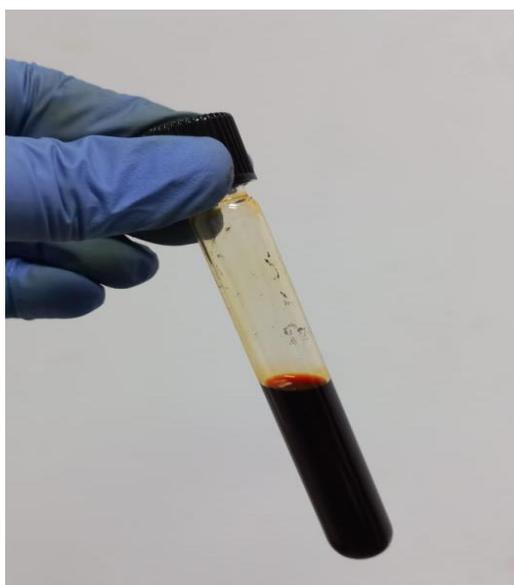
*Contención de hidrólisis ácida*



*Nota.* Cooler con gelpack para el baño de temperatura helado utilizado para detener la reacción de hidrólisis con el DNS.

## Figura 17

*Mayor concentración de azúcares reductores*

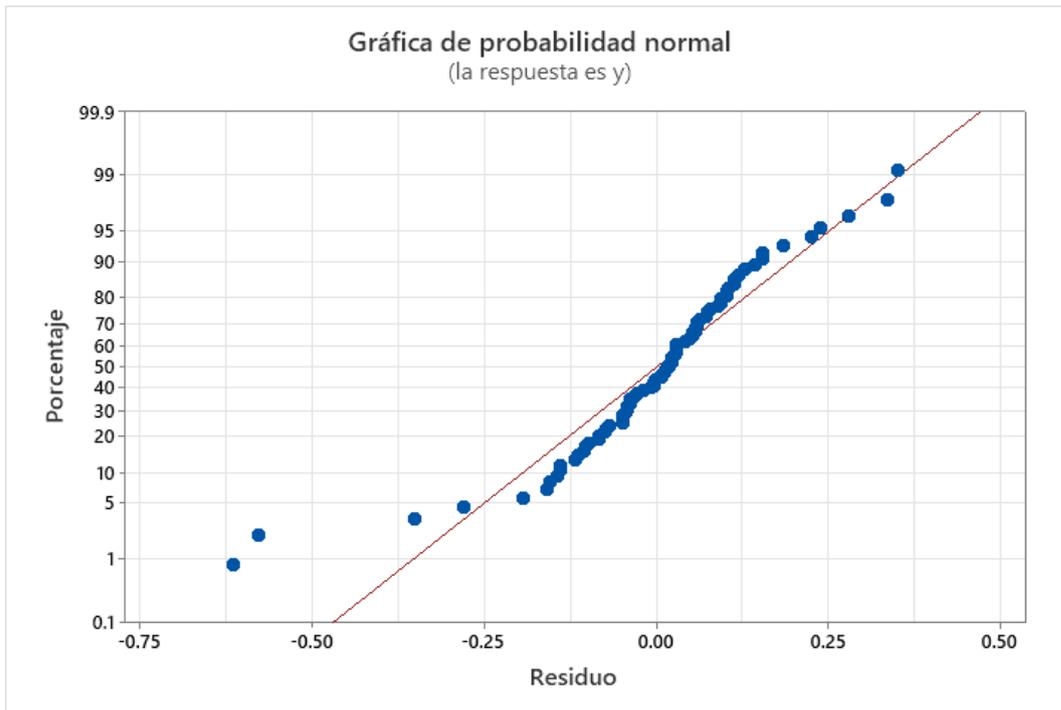


*Nota.* Mayor concentración obtenida utilizando ácido al 3% en un tiempo de 2 horas de reacción en baño de agua a 80°C.

## - Otras gráficas estadísticas

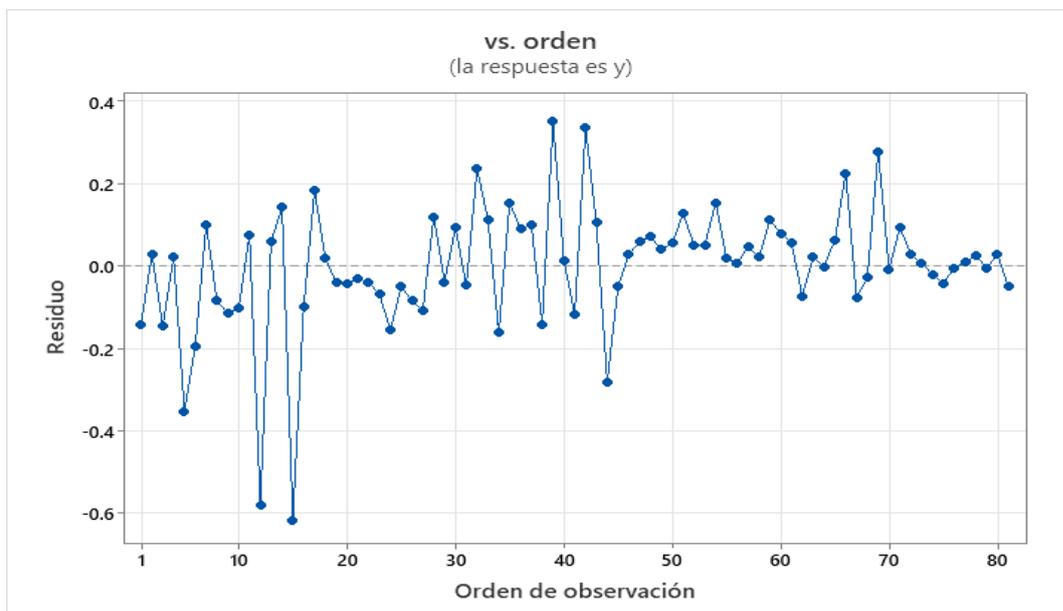
**Figura 18**

*Gráfica de probabilidad normal*



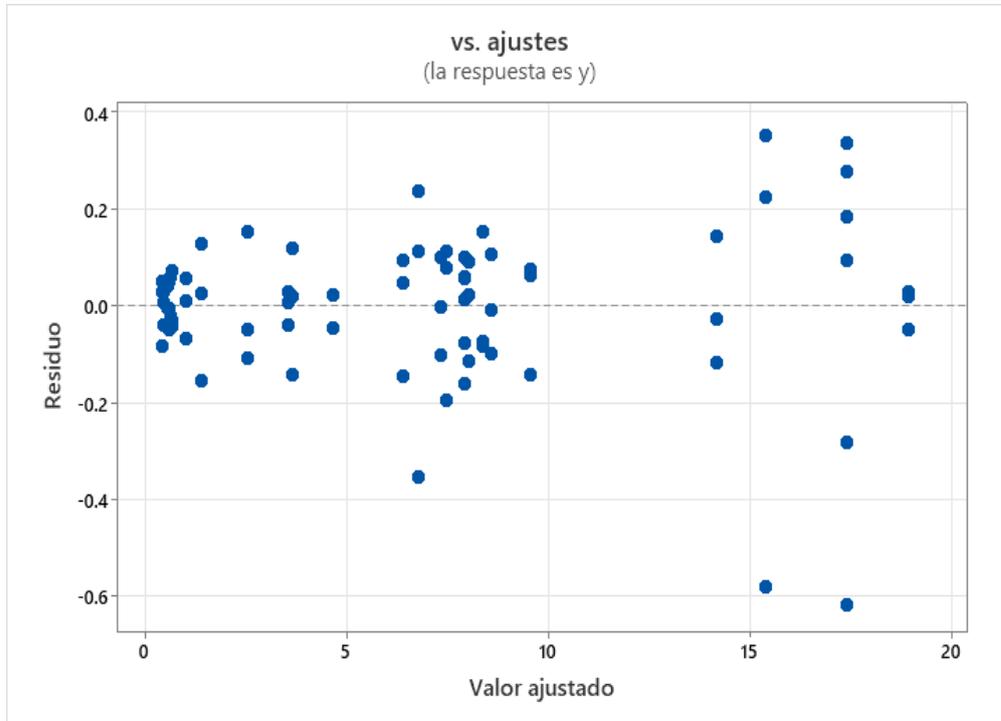
**Figura 19**

*Gráfica de residuales*



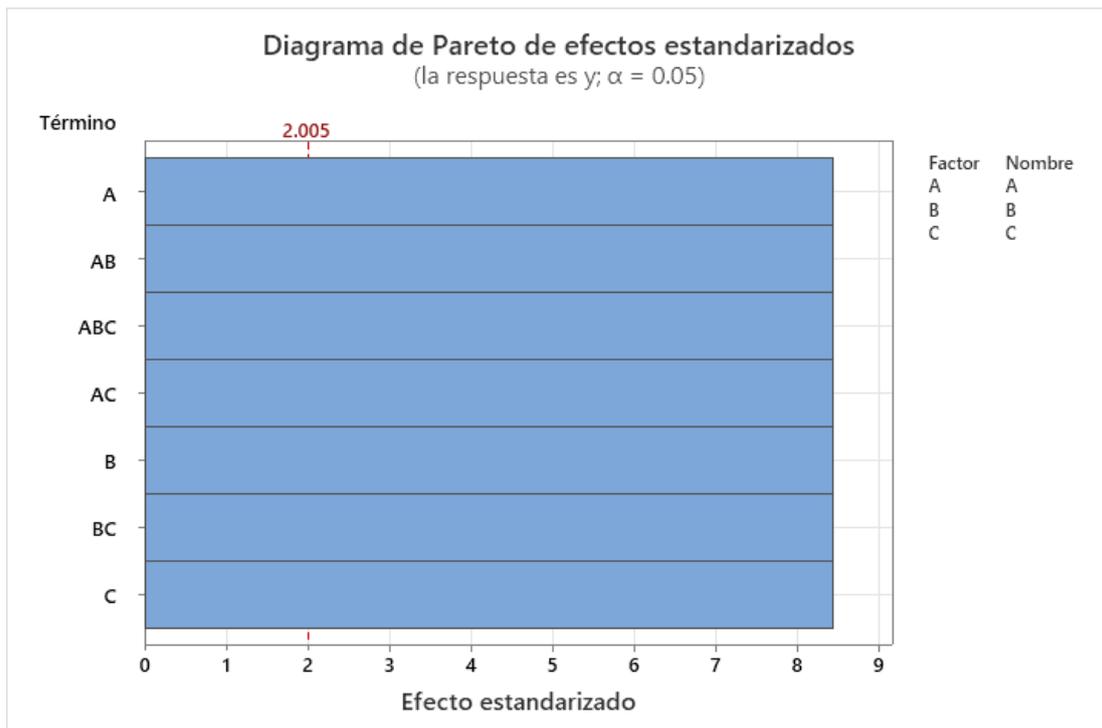
**Figura 20**

*Gráfica de varianza*



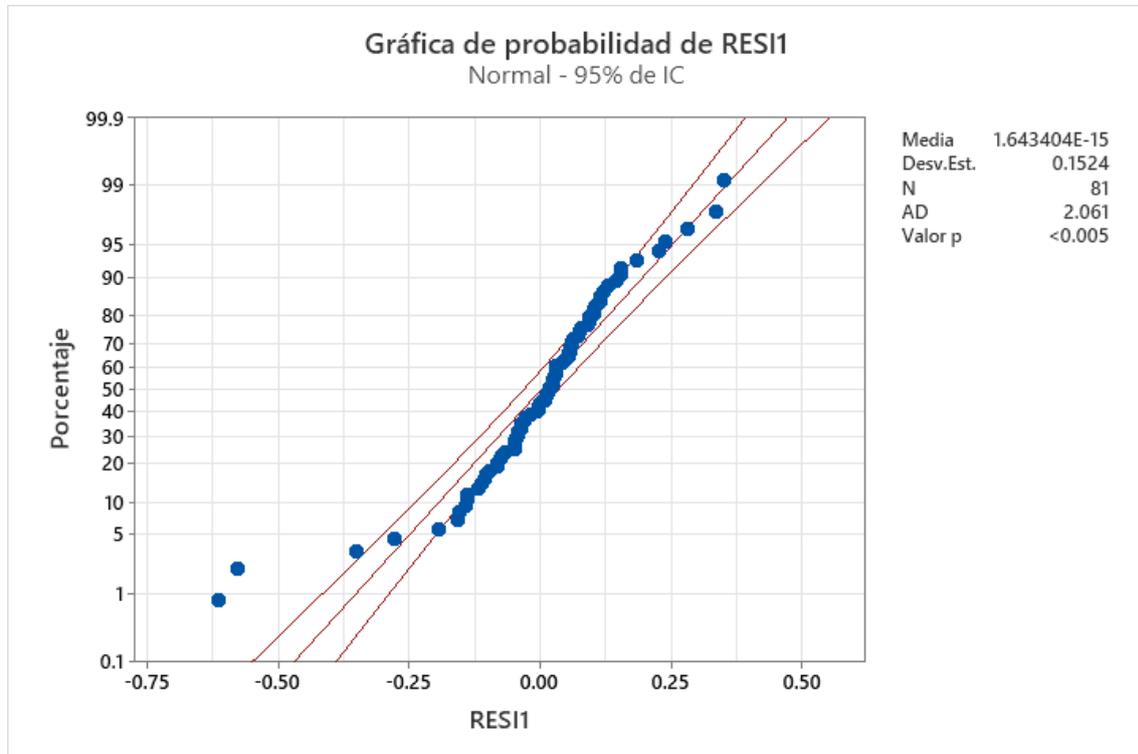
**Figura 21**

*Diagrama de pareto*



**Figura 22**

*Gráfica de probabilidad de residuales*



## - Resultado de análisis de composición química proximal

### Figura 23

Primera página del informe de ensayo del análisis proximal



#### INFORME DE ENSAYO N° 2431-2022 NA/LAB/FSC

**Nombre del Cliente** : BENITES ZELAYA JULIO CESAR  
**Dirección del Cliente** : CAL.B MZA. R2 LOTE. 7 ASC. VICTOR RAUL HAYA DE LA TORRE  
 Independencia - Lima - Lima  
**N° Orden de Trabajo** : 2027-2022/LAB/FSC  
**Procedencia de la Muestra** : Muestra proporcionada por el cliente  
**Fecha de Muestreo** : No Aplica  
**Fecha de Recepción** : 29/08/2022  
**Fecha de Análisis** : 29/08/2022  
**Lugar de Muestreo** : No Aplica  
**Muestra / Descripción** : M01 Harina de cascara de yuca / 01 Bolsa de polietileno que contiene 300 g  
**Temperatura de Recepción** : Ambiente

#### RESULTADOS DE ENSAYO

Ensayo	Unidades	Via	Resultado
Proteínas	g/100g	1	3.64
Humedad	g/100g	1	11.95
Almidón	Positivo/Negativo	1	Positivo
Cenizas	g/100g	1	9.77
Determinación de energía total	Kcal/100g	1	314.22
Determinación de carbohidratos	g/100g	1	74.42
Granulometría	%	1	39.15 (Tamiz 18)
Grasa	g/100g	1	0.22

#### METODOS DE ENSAYO

Ensayo	Norma o Referencia
Proteínas	IS/ISO 5983-1:2005 Animal Feeding Stuffs - Determination of nitrogen content and calculation of crude protein content. Part 1 Kjeldahl Method
Humedad	NTP 205.037 1975(Revisado el 2011). HARINAS. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD.
Almidón	NMX-F-374-1983. ALIMENTOS. ALMIDÓN. DETERMINACIÓN CUALITATIVA (PRUEBA DEL LUGOL). MÉTODO DE PRUEBA.
Cenizas	NMX-F-066-S-1978. DETERMINACIÓN DE CENIZAS EN ALIMENTOS. FOODSTUFF DETERMINATION OF ASHES. NORMAS MEXICANAS. DIRECCIÓN GENERAL DE NORMAS.
Determinación de energía total	Cálculo. MS-INS Collazos. Pág.45. Séptima Edición 1996
Determinación de carbohidratos	Cálculo. MS-INS Collazos. Pág.45. Séptima Edición 1996
Granulometría	Método interno
Grasa	NMX-F-089-S-1978. DETERMINACIÓN DE EXTRACTO ETÉREO (MÉTODO SOXHLET) EN ALIMENTOS.

Los resultados de los ensayos pertenecen sólo a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita de FS Certificaciones S.A.C.

FSC-F-LAB-011/V.03

Página 1

Jr. Monterrey N° 221 Of. 201-202, Urb. Chacacilla del Estanque. Santiago de Surco, Lima - Perú  
 Teléfonos: (51-1) 480 0581 - Anexo: Lab 111  
 www.fscertificaciones.com

## Figura 24

Segunda página del informe de ensayo del análisis proximal



### INFORME DE ENSAYO N° 2431-2022 NA/LAB/FSC

Observaciones :
Tamiz 40: 48.20% / Tamiz 60: 7.05 % / Partículas

Lima, 13 de Setiembre del 2022

ANDREA INCHAUSTEGUI BRITTO  
Jefe de Físicoquímica y Sensorial

Los resultados de los ensayos pertenecen sólo a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita de FS Certificaciones S.A.C.

FSC-F-LAB-011/V.03

Página 2

Jr. Monterrey N° 221 Of. 201-202, Urb. Chacarilla del Estanque, Santiago de Surco, Lima - Perú  
Teléfonos: (51-1) 480 0561 - Anexo: Lab 111  
[www.fscertificaciones.com](http://www.fscertificaciones.com)

## Figura 25

Informe de ensayo del análisis cuantitativo del almidón y celulosa presente en la harina



### INFORME DE ENSAYO N° 2432-2022 NA/LAB/FSC

**Nombre del Cliente** : BENITES ZELAYA JULIO CESAR  
**Dirección del Cliente** : CAL B MZA. R2 LOTE. 7 ASC. VICTOR RAUL HAYA DE LA TORRE  
Independencia - Lima - Lima  
**N° Orden de Trabajo** : 2065-2022/LAB/FSC  
**Procedencia de la Muestra** : Muestra proporcionada por el cliente  
**Fecha de Muestreo** : No Aplica  
**Fecha de Recepción** : 05/09/2022  
**Fecha de Análisis** : 07/09/2022  
**Lugar de Muestreo** : No Aplica  
**Muestra / Descripción** : M01 Harina de cascara de yuca / 01 Bolsa de polietileno que contiene 400 g  
**Temperatura de Recepción** : Ambiente

#### RESULTADOS DE ENSAYO

Ensayo	Unidades	Via	Resultado
Almidón y Celulosa Cuantitativo	%	1	30.75

#### METODOS DE ENSAYO

Ensayo	Norma o Referencia
Almidón y Celulosa Cuantitativo	AOAC Official Method 945.37 Vol II, C.32, p.18 21 st Edition 2019 Starch in Flour

Lima, 13 de Setiembre del 2022

ELSA LILYA VARGAS GRANADOS  
Jefe de Instrumental

Los resultados de los ensayos pertenecen sólo a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita de FS Certificaciones S.A.C.

FSC-F-LAB-011/V.03

Página 1

Jr. Monterrey N° 221 Of. 201-202, Urb. Chacarilla del Estanque, Santiago de Surco, Lima - Perú  
Teléfonos: (51-1) 480 0561 - Anexo: Lab 111  
www.fscertificaciones.com