



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

CARRERA DE AGROINDUSTRIA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**OBTENCIÓN DE UN CONCENTRADO PROTEICO DE LAS HOJAS DE
YUCA (*Manihot esculenta Crantz*) MEDIANTE EL MÉTODO DE
EXTRACCIÓN ALCALINA Y PRECIPITACIÓN ISOELÉCTRICA.**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de Ingenieros
Agroindustriales

Autores:

Mendoza Zambrano Jasson Jair

Rosero Carrion Kenny Ariel

Tutor: Quim. Jaime Orlando Rojas
Molina, Ph.D.

LATACUNGA - ECUADOR Julio 2025

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Mendoza Zambrano Jasson Jair, con cédula de ciudadanía No. 1755520366 y Rosero Carrion Kenny Ariel, con cédula de ciudadanía No. 0706449279, declaramos ser autores del presente Proyecto de Investigación: **“OBTENCIÓN DE UN CONCENTRADO PROTEICO DE LAS HOJAS DE YUCA (*Manihot esculenta Crantz*) MEDIANTE EL MÉTODO DE EXTRACCIÓN ALCALINA Y PRECIPITACIÓN ISOELÉCTRICA.”**, siendo el Químico Jaime Orlando Rojas Molina, Ph.D. Tutor del presente trabajo; y, eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 23 de julio del 2025



Jasson Jair Mendoza Zambrano
C.C: 1755520366
ESTUDIANTE



Kenny Ariel Rosero Carrion
C.C: 0706449279
ESTUDIANTE

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **MENDOZA ZAMBRANO JASSON JAIR**, identificado con cédula de ciudadanía **1755520366** de estado civil soltero, a quien en lo sucesivo se denominará **EL CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - **EL CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Agroindustria, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “**OBTENCIÓN DE UN CONCENTRADO PROTEICO DE LAS HOJAS DE YUCA (*Manihot esculenta Crantz*) MEDIANTE EL MÉTODO DE EXTRACCIÓN ALCALINA Y PRECIPITACIÓN ISOELÉCTRICA.**”, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Octubre 2021 - Marzo 2022

Finalización de la carrera: Abril – Agosto 2025

Tutor: Quim. Jaime Orlando Rojas Molina, Ph.D.

Tema: “**OBTENCIÓN DE UN CONCENTRADO PROTEICO DE LAS HOJAS DE YUCA (*Manihot esculenta Crantz*) MEDIANTE EL MÉTODO DE EXTRACCIÓN ALCALINA Y PRECIPITACIÓN ISOELÉCTRICA.**”

CLÁUSULA SEGUNDA. - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **EL CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO: Por el presente contrato **EL CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- . La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- . La publicación del trabajo de grado.
- . La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- . La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- . Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **EL CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - **LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **EL CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 23 días del mes de julio del 2025.



Jasson Jair Mendoza Zambrano
EL CEDENTE

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.
LA CESIONARIA

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **ROSERO CARRION KENNY ARIEL**, identificado con cédula de ciudadanía **0706449279** de estado civil soltero, a quien en lo sucesivo se denominará **EL CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - **EL CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería Agroindustrial, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de **“OBTENCIÓN DE UN CONCENTRADO PROTEICO DE LAS HOJAS DE YUCA (*Manihot esculenta Crantz*) MEDIANTE EL MÉTODO DE EXTRACCIÓN ALCALINA Y PRECIPITACIÓN ISOELÉCTRICA.”**, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Abril 2022 - Agosto 2022

Finalización de la carrera: Abril – Agosto 2025

Tutor: Quim. Jaime Orlando Rojas Molina, Ph.D.

Tema: **“OBTENCIÓN DE UN CONCENTRADO PROTEICO DE LAS HOJAS DE YUCA (*Manihot esculenta Crantz*) MEDIANTE EL MÉTODO DE EXTRACCIÓN ALCALINA Y PRECIPITACIÓN ISOELÉCTRICA.”**

CLÁUSULA SEGUNDA. - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **EL CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO: Por el presente contrato **EL CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- . La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- . La publicación del trabajo de grado.
- . La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- . La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- . Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **EL CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - LA CESIONARIA podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **EL CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 23 días del mes de julio del 2025.



Kenny Ariel Rosero Carrion
EL CEDENTE

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.
LA CESIONARIA

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación sobre el título:

“OBTENCIÓN DE UN CONCENTRADO PROTEICO DE LAS HOJAS DE YUCA (*Manihot esculenta Crantz*) MEDIANTE EL MÉTODO DE EXTRACCIÓN ALCALINA Y PRECIPITACIÓN ISOELÉCTRICA”, de Mendoza Zambrano Jasson Jair y Rosero Carrion Kenny Ariel, de la carrera de Agroindustria, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también han incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, 23 de julio del 2025



Quím. Jaime Orlando Rojas Molina, Ph.D.

C.C: 0502645435


DOCENTE TUTOR

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, los postulantes: Mendoza Zambrano Jasson Jair y Rosero Carrion Kenny Ariel, con el título del Proyecto de Investigación **“OBTENCIÓN DE UN CONCENTRADO PROTEICO DE LAS HOJAS DE YUCA (*Manihot esculenta Crantz*) MEDIANTE EL MÉTODO DE EXTRACCIÓN ALCALINA Y PRECIPITACIÓN ISOELÉCTRICA.”**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

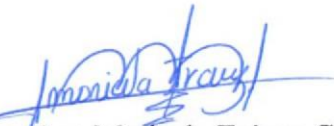
Latacunga, 23 de julio del 2025



Ing. Manuel Enrique Fernández Paredes, Mg.
C.C: 0501511604
LECTOR 1 (PRESIDENTE)



Ing. Renato Agustín Romero Corral, Mg.
C.C: 1717122483
LECTOR 2 (MIEMBRO)



Ing. Ana Maricela Trávez Castellano, Mg.
C.C: 0502270937
LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a la Universidad Técnica de Cotopaxi por compartir el conocimiento dentro de su establecimiento. A Jaime Orlando Rojas Molina, tutor y guía en el proceso de la presente investigación. A los docentes que forman parte del tribunal de lectores por aportar con sus valiosos comentarios. Quiero agradecer a mi familia por su apoyo incondicional, su paciencia y cariño brindado durante el emocionante proceso de aprendizaje y crecimiento.

Kenny Ariel Rosero Carrion

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a la Universidad Técnica de Cotopaxi por abrirme las puertas del conocimiento que se imparte en sus aulas. A nuestro docente tutor Jaime Orlando Rojas Molina por ser un guía en el proceso de la ejecución de la investigación. A los docentes que forman parte del tribunal de lectores. A mis padres por ser los pilares fundamentales de mi vida y por siempre guiar mis pasos y a mis hermanos que siempre me han acompañado a lo largo de la carrera brindándome su apoyo. A mi compañero de tesis Kenny Rosero por su amistad y compartir sus conocimientos y por ser comprometido con todo el proceso. A mis compañeros de curso por formar parte de mi proceso de estudio en esta carrera.

Jasson Jair Mendoza Zambrano

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado con mucho orgullo a mi padre Tito Rosero, guía, consejero y amigo de mi joven y extenso camino. Dedicado a mi madre Carmen Carrión, por ser mi gran ejemplo a seguir y jamás abandonar nuestras esperanzas en las batallas más difíciles. A mi hermana Paula Rosero, por ser el soporte emocional y humano durante mi permanencia universitaria. A todos mis amigos del aula, quienes con su alegría e inteligencia supieron alivianar la carga académica. A mi compañero de habitación Jhonny Rosero, por siempre estar pendiente de mi bienestar y acompañarme durante el extenso viaje universitario. A mi compañero de tesis Jasson Mendoza, por compartir sus conocimientos y amistad durante nuestro proceso formativo, por ser leal a la causa y luchar por cumplir los objetivos propuestos.

Kenny Ariel Rosero Carrion

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación va primeramente dedicado a Dios por iluminar mi camino y darme la fortaleza para alcanzar este logro académico. A mi querida mamá Bella Zambrano y a mi papá Lito Mendoza quienes han sido mis pilares inquebrantables, mi inspiración para salir adelante y mi mayor apoyo. A mis hermanos Jeniffer y Daniel, por compartir sus experiencias, risas, tristezas, secretos y aventuras, creando recuerdos imborrables en mi corazón. A mis sobrinos Emilio y Eydan, personas de las que quiero ser un ejemplo. A mis amigos y familiares, quienes han estado a mi lado en las alegrías y en los desafíos formando parte de mi historia y dándome aliento en cada paso. A mi compañero de tesis Kenny Rosero por brindarme su amistad, experiencias y conocimientos, por ser comprometido con este proyecto que hemos sacado adelante juntos. Esta tesis es el resultado de un esfuerzo colectivo, y dedico cada palabra y descubrimiento a todos ustedes.

Jasson Jair Mendoza Zambrano

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TÍTULO: “OBTENCIÓN DE UN CONCENTRADO PROTEICO DE LAS HOJAS DE YUCA (*Manihot esculenta Crantz*) MEDIANTE EL MÉTODO DE EXTRACCIÓN ALCALINA Y PRECIPITACIÓN ISOELÉCTRICA.”,

Autores

Mendoza Zambrano Jasson Jair
Rosero Carrion Kenny Ariel

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo obtener un concentrado proteico a partir de hojas de yuca (*Manihot esculenta Crantz*), esta planta es un cultivo muy utilizado en Ecuador, en especial sus raíces preparadas de forma cocida, en harina o almidón. Las hojas de este cultivo se consideran un subproducto agrícola desaprovechado, pero poseen un alto contenido de proteína que las convierte en una fuente alternativa para la elaboración de productos proteicos vegetales. Para obtener el producto se utilizó un Diseño Compuesto Central dentro del Modelo de Superficie de Respuesta (MSR), aplicando una metodología basada en extracción alcalina con NaOH 0,1 N y posterior precipitación isoeléctrica con HCl 1 M, utilizando como factores la temperatura de extracción (20, 40 y 60 °C) y el pH de precipitación (4; 4,5 y 5). El análisis bromatológico de la harina vegetal presentó un contenido de proteína de 24,77 %, además de humedad 6,79 %; materia seca 93,21 %; extracto etéreo 4,14 %; fibra 15,02 %; cenizas 8,36 %; materia orgánica 91,64 % y carbohidratos 40,92 %; mientras que, la cuantificación de compuestos cianogénicos reflejó un valor de 53,48 mg/Kg. Las condiciones óptimas de extracción fueron temperatura de 40 °C y pH de 4,5; con un concentrado proteico que alcanzó el 36,82 % de proteína y presencia de 29,59 % de aminoácidos totales, destacando el ácido glutámico con 5,06 % y arginina con 3,09 %, sin embargo, los aminoácidos esenciales como metionina, histidina y lisina presentaron un valor máximo de 1,06 %. Estos resultados evidencian la eficiencia del proceso de extracción y destacan el potencial del concentrado proteico como suplemento nutricional, especialmente en dietas deportivas, siempre que sea complementado con fuentes que aportan aminoácidos esenciales limitantes. Sin embargo, se identificó que un mayor control de la temperatura en las fases de extracción y secado, junto con el uso de reactivos más eficientes, podría incrementar la pureza y rendimiento del concentrado.

Palabras clave: hojas de yuca, extracción alcalina, precipitación isoeléctrica, proteína.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCE AND NATURAL RESOURCES

**THEME: “OBTAINING A PROTEIN CONCENTRATE FROM CASSAVA LEAVES
(*Manihot esculenta Crantz*) BY THE ALKALINE EXTRACTION AND ISOELECTRIC
PRECIPITATION METHOD.”**

Authors:

Mendoza Zambrano Jasson Jair
Rosero Carrion Kenny Ariel

ABSTRACT

This study aimed to obtain a protein concentrate from cassava leaves (*Manihot esculenta Crantz*), this plant is a widely used crop in Ecuador, especially its roots prepared in a cooked form, flour or starch. The leaves of this crop are considered a wasted agricultural by-product, but they have a high protein content that makes them an alternative source for the vegetable protein products elaboration. To obtain the product a Central Composite Design within the Response Surface Model (RSM) was used, applying a methodology based on alkaline extraction with 0,1 N NaOH and subsequent isoelectric precipitation with 1 M HCl, using as factors the extraction temperature (20; 40 and 60 °C) and the precipitation pH (4; 4,5 and 5). The bromatological analysis of the vegetable flour showed a protein content of 24,77 %, in addition to moisture 6,79 %; dry matter 93,21 %; ether extract 4,14 %; Fiber 15,02 %; ash 8,36 %; organic matter 91,64 %; and carbohydrates 40,92 %; while the quantification of cyanogenic compounds reflected a value of 53,48 mg/kg. The optimal extraction conditions were a temperature of 40 °C and a pH of 4,5; the protein concentrate reached 36,82 % protein and the presence of 29,59 % total amino acids, with glutamic acid standing out with 5,06 % and arginine with 3,09 %. However, essential amino acids such as methionine, histidine, and lysine presented a maximum value of 1,06 %. These results demonstrate the extraction process efficiency and highlight the protein concentrate potential as a nutritional supplement, especially in sports diets, provided it is complemented with sources that provide limiting essential amino acids. However, it was identified that greater temperature control in the extraction and drying phases, together with the use of more efficient reagents, could increase the concentrate purity and yield.

Keywords: cassava leaves, alkaline extraction, isoelectric precipitation, protein.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR.....	iii
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	ix
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN	x
<i>AGRADECIMIENTO</i>	xi
<i>DEDICATORIA</i>	xiii
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT	xvi
ÍNDICE DE CONTENIDOS	xvii
ÍNDICE DE TABLAS	xx
ÍNDICE DE FIGURAS	xxi
INTRODUCCIÓN	1
1. INFORMACIÓN GENERAL	2
Título del Proyecto de Investigación.....	2
2. DISEÑO DEL PROYECTO	3
2.2 Marco contextual.....	4
2.3 Formulación del problema	6
¿Las variaciones entre el tiempo de agitación y el pH afectan en el rendimiento de la extracción y precipitación isoelectrica para el proceso de obtención del aislado proteico de hojas de yuca?	6
2.4 OBJETIVOS.....	6
2.4.1 Objetivo general	6
2.4.2 Objetivos específicos	7
2.5 ACTIVIDADES Y TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	7
2.6 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA O MARCO REFERENCIAL	9
2.6.1. Antecedentes	9
2.6.2.1 Origen de la yuca	11

2.6.2.2 Clasificación.....	11
2.6.2.3 Toxicidad.....	12
2.6.2.4 Descripción botánica.....	12
Tallo.....	12
Hojas.....	13
Raíz.....	14
2.6.2.5 Cultivo (condiciones, partes aprovechadas y tendencias).....	14
2.6.2.6 Yuca en el Ecuador.....	15
2.6.2.7 Importancia.....	16
2.6.2.8 Contenido nutricional de la raíz de yuca.....	16
2.6.2.9 Proteínas.....	18
2.6.2.10 Suplementación con proteína vegetal.....	19
2.6.2.11 Aminoácidos.....	19
2.6.2.12 Concentrados Proteicos.....	20
2.6.2.13Extracción alcalina.....	21
2.6.2.14 Precipitación isoeléctrica.....	21
2.7 METODOLOGÍA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	22
2.7.1 Tipos de investigación.....	22
2.7.1.1 Investigación bibliográfica.....	22
2.7.1.2 Investigación experimental.....	22
2.7.1.3 Investigación descriptiva.....	22
2.7.2 Metodología de investigación.....	23
2.7.2.1 Método científico.....	23
2.7.2.2 Método estadístico.....	23
2.7.3 Materiales y equipos.....	24

2.7.3.1 Materia prima	24
2.7.3.2 Materiales	24
2.7.3.3 Reactivos	24
2.7.3.4 Instrumentos y equipos	25
2.7.4 Metodología para la obtención de harina de hojas de yuca.....	26
2.7.5 Metodología para la obtención de un concentrado proteico.....	29
2.7.5.1 Extracción Alcalina	29
2.7.5.2 Precipitación Isoeléctrica	31
2.7.6 Metodología de análisis físicos y químicos para la evaluación de la harina de hojas de yuca y el concentrado proteico	37
2.7.6.1 Metodología para la determinación de la humedad	37
2.7.6.2 Metodología para la determinación de la grasa.....	38
2.7.6.3 Metodología para la determinación de la ceniza.....	39
2.7.6.4 Metodología para la determinación de la proteína	40
2.7.6.5 Metodología para la determinación del perfil de aminoácidos para el mejor tratamiento de obtención de concentrado de proteínas	41
2.7.6.6 Metodología para determinar la presencia de compuestos cianogénicos en la harina de hojas de yuca.....	42
2.8 Hipótesis.....	43
Hipótesis Nula (H_0)	43
Hipótesis Alternativa (H_1).....	43
2.9 Diseño experimental.....	43
2.9.1 Corridas experimentales.....	44
2.9.2 Cuadro de variables.....	45
2.10 Resultados y discusión	46
2.10.1 Análisis proximal de harina de hojas de yuca.....	46
2.10.2 Presencia de compuestos cianogénicos	48

2.10.3 Matriz experimental para la obtención de un concentrado de proteína de harina de hojas de yuca (<i>Manihot esculenta Crantz</i>)	48
2.10.4 Análisis físicos y químicos del concentrado proteico de hojas de yuca	52
2.10.5 Análisis de aminoácidos en el concentrado proteico de hojas de yuca.....	55
3. IMPACTOS DEL PROYECTO.....	58
3.1 Sociales	58
3.2 Económicas	58
3.3 Ambientales.....	58
4 RECURSOS Y PRESUPUESTO.....	59
5 CONCLUSIONES	60
6 RECOMENDACIONES	62
7 BIBLIOGRAFÍA.....	63
8 ANEXOS	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Actividades a realizar en base a los objetivos planteados	8
Tabla 2 Taxonomía correspondiente a la yuca.	11
Tabla 3 Cosecha de la yuca en las provincias del Ecuador.	15
Tabla 4 Composición química de la raíz de yuca	17
Tabla 5 Composición física y química de las hojas de yuca.	18

Tabla 6 Descripción de las variables de estudio.	43
Tabla 7 Matriz experimental.....	44
Tabla 8 Cuadro de variables para la obtención de un concentrado proteico de hojas de yuca.	45
Tabla 9. Análisis proximal de la harina de hojas de yuca.	46
Tabla 10. Matriz experimental con factores independientes y la variable respuesta (% proteína).	49
Tabla 11. Modelo codificado para la concentración de proteínas	50
Tabla 12. Análisis proximal del concentrado de proteína de hojas de yuca (Manihot esculenta Crantz).	54
Tabla 13. Aminoácidos presentes en el concentrado proteico de hojas de yuca	56
Tabla 14. Recursos utilizados para desarrollar el proyecto.	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Morfología correspondiente a las hojas de yuca.....	13
Figura 2 Selección de la materia prima	26
Figura 3 Hojas de yuca seleccionadas	27
Figura 4. Hojas de yuca listas para su deshidratación.	27
Figura 5. Hojas de yuca trituradas finamente.	28
Figura 6 Harina de hojas de yuca.	28
Figura 7 Diagrama de bloques para la obtención de harina vegetal.	2929
Figura 8 Harina de hojas de yuca siendo pesada	300
Figura 9 Materia prima y reactivo para la extracción alcalina	31

Figura 10	Harina vegetal en agitación	311
Figura 11	Desecho de la extracción alcalina.	32
Figura 12	Reactivo para la precipitación isoeléctrica.....	322
Figura 13	Proteínas precipitadas.	33
Figura 14	Proteínas y sobrenadante.....	333
Figura 15	Centrífuga.....	34
Figura 16	Tubos de centrífuga con concentrado proteico.	344
Figura 17	Concentrados proteicos	34
Figura 18	Concentrado proteico deshidratado.....	355
Figura 19.	Diagrama de bloques para la obtención de concentrado proteico de harina de yuca	366
Figura 20.	Gráfica 3D del contenido de proteína.	52
Figura 21.	Deseabilidad del diseño experimental.....	53
Figura 22.	Cromatograma del perfil de aminoácidos del concentrado proteico.....	58

INTRODUCCIÓN

El consumo de concentrados de proteína presenta beneficios por su alto valor nutricional, siendo así que, tras procesos de extracción se puede obtener productos que superan el 30 % de proteína. El consumo de concentrados proteicos va a depender de la funcionalidad y la presencia de los aminoácidos en el organismo, lo que a su vez define la calidad de las proteínas (Ramírez et al., 2021). La concentración de proteínas se puede realizar con métodos con el ajuste de temperaturas de extracción y de pH hasta llegar al punto de precipitación de proteínas de 4,5 con el uso de ácidos y solventes fuertes (Serpa et al., 2014).

La yuca (*Manihot esculenta Crantz*) es un cultivo ampliamente distribuido en las zonas tropicales de Ecuador, del que se generan residuos o subproductos con un potencial nutricional elevado para combatir las deficiencias en la nutrición de los sectores dedicados a la producción del tubérculo como las hojas, que pueden poseer entre un 20 a 25 % de proteína cruda y que es utilizada en la alimentación animal (Idris et al., 2023).

Las deficiencias en la calidad de la nutrición humana, la generación y sobreproducción de residuos como los tallos y las hojas de yuca estas últimas presentan ciertos factores negativos como la presencia de compuestos antinutricionales derivados del cianuro como HCN lo que limita que las hojas frescas puedan ser incorporadas directamente en la dieta humana (Castellanos et al., 1994). Por ello, se plantea impulsar nuevas alternativas y aplicaciones de distintos métodos de extracción y purificación de proteínas con el fin de aprovechar la funcionalidad de estas macromoléculas (Ramírez et al., 2021).

La finalidad de este proyecto de investigación es valorar la composición química proximal y perfil de aminoácidos que poseen las proteínas concentradas de hojas de yuca, además de establecer las condiciones óptimas de extracción, con el fin de conocer las propiedades nutricionales y funcionalidad de los aminoácidos identificados, buscando la ampliación de conocimiento y optimizando los procesos de extracción y su aplicación a dietas saludables.

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto de Investigación

“Obtención de un concentrado proteico de las hojas de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) mediante el método de extracción alcalina y precipitación isoelectrica” Fecha de inicio:

Fecha de inicio:

Abril 2025

Fecha de finalización

Agosto 2025

Lugar de ejecución Barrio:

Salache

Parroquia: Eloy Alfaro

Cantón: Latacunga

Provincia: Cotopaxi

Zona: 3

Institución: Universidad Técnica de Cotopaxi

Facultad que auspicia

Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

Carrera que auspicia

Carrera de Agroindustria

Equipo de Trabajo

Tutor: Quim. Jaime Orlando Rojas Molina (Anexo No. 1)

Investigador 1. Mendoza Zambrano Jasson Jair (Anexo No. 2.)

Investigador 2. Rosero Carrion Kenny Ariel (Anexo No. 3.) **Línea**

de investigación:

Desarrollo y seguridad alimentaria

Línea de vinculación de la carrera:

Investigación-optimización de procesos tecnológicos Agroindustriales

2. DISEÑO DEL PROYECTO

2.1 Planteamiento del problema

Existe una relación inversa entre la desnutrición y la obesidad, pues cada país posee un nivel específico de prevalencia de malnutrición, reflejado por cambios estructurales en el acceso a alimentación y hábitos en las dietas de las personas. El elevado consumo de productos ultra procesados, alimentos refinados, grasas y aceites, plantean riesgos para la salud de los consumidores. En el contexto de América Latina y el Caribe para el año 2012 la prevalencia de desnutrición se ubicó en un 12,7 % y para el año 2022 se redujo a 11,5 % Mientras que las prevalencias de obesidad fueron de 7,4 % para el 2012 y se evidenció un aumento a 8,6 % para 2022 (FAO et al., 2024).

En el año 2018 en Ecuador se registró un 23 % de prevalencia de desnutrición crónica infantil para niños menores de 5 años y un 27,2 % en niños menores de 2 años, porcentajes que duplican el 11,6 % que se reporta para Latino América. En la provincia de Cotopaxi la DCI en menores de dos años es de un 34,85 %. Los factores que afectan directamente las condiciones de vida en los sectores más afectados por esta problemática son: la escasa prestación de servicios básicos y de salud la distribución y dispersión geográfica que existe entre las comunidades (Fundación CRISFE, 2022). De acuerdo con FAO et al. (2024) menciona que, a pesar de existir avances en el combate contra la desnutrición, en las últimas décadas, desde el año 2014 ha ido en aumento, alcanzando su nivel más alto en la pandemia COVID 2019.

Un aspecto negativo de la producción de yuca es la alta generación de residuo como hojas y tallos que representan el 50 % de producción total de la planta, estos desechos de la extracción de tubérculos suelen ser quemados o se descartan (Idris et al., 2023). De acuerdo con Suarez et al. (2022) la planta de la yuca está conformada por un 50 % de tubérculo y 10 % de hojas, se estima que la producción de materia seca de hojas de yuca puede alcanzar 2 t/ha, mientras que a nivel mundial se puede alcanzar una generación de hojas de 49 millones de t/año, los cuales son considerados como desechos agroindustriales. Es por ello que se planteó la alternativa de obtener productos proteicos derivados de materias primas vegetales, que permitan fortalecer los procesos de reducción de problemas de malnutrición y afectación a la salud de las personas por el consumo de alimentos que no van alineados a una nutrición adecuada (Fundación CRISFE, 2022).

Las hojas son un subproducto que pueden servir como recurso para la alimentación humana, pero debido a la presencia de macro componentes que no son beneficiosos para el consumo, se impide el aprovechamiento directo de las proteínas presentes. Sin embargo, mediante un proceso de extracción y deshidratación es posible obtener proteínas de alta concentración (Rubio et al., 2024). El empleo de hojas de yuca como verduras en las dietas de las personas presenta limitación debido a la falta de propiedades nutricionales que poseen (oxalatos, nitratos, taninos) y glucósidos cianogénicos (Ayele et al., 2022).

2.2 Marco contextual

La yuca ha sido una planta sembrada y consumida por la humanidad desde hace mucho tiempo, forma parte de su historia y su cultura. Entre la producción de tubérculos a nivel mundial los cultivos de yuca destacan por su importancia social, económica y de garantizar la seguridad alimentaria, principalmente en las zonas tropicales (Borku, 2025). La tradición del cultivo de yuca en Ecuador ha sido base de la alimentación especialmente de la gente nativa de la Región Amazónica, campesinos de la Costa y los valles cálidos en la región Sierra (Muñoz et al., 2017).

A lo largo de la historia se ha considerado que las proteínas de origen animal son mejores, tomando en cuenta el alto valor biológico de las mismas, consolidándose como la fuente de proteínas principal en la dieta humana (Monroy et al., 2024). Las proteínas cumplen un rol muy importante para el desarrollo, crecimiento y regeneración en los tejidos de un individuo. Existen alrededor de 300 aminoácidos conocidos en la naturaleza, sin embargo, 20 son los cuales constituyen proteínas que se reparten por el cuerpo humano para cumplir funciones específicas, como procesos hormonales o enzimáticos (Zea et al., 2017).

El cultivo de yuca contribuye significativamente a la seguridad alimentaria y a los ingresos económicos de muchas familias en los países productores. Los tubérculos constituyen la parte más aprovechada de la planta, ya sea para el consumo directo, cocidos, o para la elaboración de harinas y almidones (Ayele et al., 2022). La alta producción de raíces de yuca, las cuales son ricas en almidón y el follaje con alto contenido de proteína, se ha convertido en una gran opción para reemplazar el maíz amarillo en la alimentación de animales debido a que poseen características similares y se puede aplicar en las dietas de ganado porcino, bovino y avícola, lo cual convierte a esta planta en un alimento que se puede aprovechar completamente. Las raíces que son el principal

producto del cultivo son ricas en carbohidratos, por otra parte, las hojas frescas están enriquecidas con vitaminas, minerales y proteínas que pueden ser aptas para el consumo humano (Aguilar, 2017).

El intensificado proceso de producción de carnes a nivel mundial se constituye como uno de los sistemas que más afecta al medio ambiente debido a las emisiones de gases y el uso excesivo de recursos como el agua y el suelo (Monroy et al., 2024), en ese sentido la alimentación basada en el consumo de proteína vegetal ha tomado relevancia en los últimos años.

Los recursos vegetales han generado un creciente interés en las últimas décadas como una fuente de compuestos bioactivos; la yuca es un recurso alimenticio de alta relevancia en la dieta humana, tomando fuerza en estos últimos años en su producción para la alimentación de la población (Suarez et al., 2022).

Los residuos generados por las cadenas de producción alimentaria generan problemas tanto económicos como ambientales, gran cantidad de los residuos generados se pueden reutilizar para la extracción de nuevos ingredientes bioactivos con la finalidad de ser utilizados como alimentos funcionales (Gómez, 2022).

Las hojas de yuca utilizadas como verdura son una alternativa para la alimentación debido a su alto contenido de vitaminas, antioxidantes, flavonoides, polifenoles y proteínas. Los procesos como el blanqueado y secado de las hojas aseguran el aumento en la calidad nutricional, el secado de las hojas asegura el contenido de clorofila y una importante disminución de componentes anti nutricionales como el cianuro (Ayele et al., 2021).

En cuanto a la calidad nutricional de la alimentación humana existe una problemática que actualmente ha tomado relevancia, por dicha razón se genera la particular necesidad de impulsar nuevas tecnologías enfocadas en la investigación de fuentes alternativas de proteína: en insectos, algas unicelulares o de materia orgánica vegetal con alto contenido proteínico (Castellanos et al., 1994). De igual forma el desarrollo de la investigación acerca de los subproductos del cultivo de yuca (cáscaras, hojas y almidón) generados por los agricultores o la industria se evalúa la producción de bioplásticos flexibles o semirrígidos (Canales & Trujillo, 2021).

A partir del análisis bibliográfico realizado, se evidencia la importancia de estudiar detalladamente estos parámetros en el proceso de obtención de concentrados proteicos a partir de hojas de yuca, a fin de optimizar su aprovechamiento y aplicar estos conocimientos en procesos agroindustriales sostenibles. La obtención de proteínas a partir de fuentes vegetales mediante técnicas como la extracción alcalina y la precipitación isoeléctrica ha despertado un creciente interés en el ámbito científico e industrial, debido a su eficiencia y bajo costo. Este proceso está condicionado por variables físicas y químicas, siendo el pH y la temperatura factores determinantes en el comportamiento de las proteínas durante las etapas de solubilización y precipitación. Según Bonino et al., (2016), la acidificación controlada del medio permite alcanzar el punto isoeléctrico de las proteínas, provocando la desestabilización de las partículas suspendidas y facilitando la formación de agregados proteicos, lo cual mejora su separación del resto de compuestos. Por otro lado, se indica que temperaturas elevadas incrementan la solubilidad de las proteínas, favoreciendo su extracción en la fase inicial del proceso; sin embargo, un exceso de calor puede desnaturalizar las proteínas, reduciendo significativamente el rendimiento del concentrado final (Chen et al., 2019).

Los procesos de innovación en la industria alimentaria al día de hoy se enfocan en la búsqueda de fuentes proteicas, nuevos alimentos y componentes bioactivos, se destacan las materias primas como las algas, legumbres, insectos comestibles y carne cultivada (Gómez, 2022). La alimentación y sus prácticas productivas en la actualidad destinadas a alimentar 7600 millones de personas contribuye a la pérdida de los ecosistemas terrestres y acuáticos, esto sucede debido a las actividades industriales y de producción con poco o nulo enfoque ambiental, sobre todo en la reducción de los impactos que contribuyen al cambio climático.

2.3 Formulación del problema

¿Las variaciones entre el tiempo de agitación y el pH afectan en el rendimiento de la extracción y precipitación isoeléctrica para el proceso de obtención del aislado proteico de hojas de yuca?

2.4 OBJETIVOS

2.4.1 Objetivo general

- Obtener un concentrado proteico a partir de la hoja de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) mediante el método de extracción alcalina y precipitación isoeléctrica.

2.4.2 Objetivos específicos

- Evaluar la cuantificación de compuestos cianogénicos y la composición física y química de una harina obtenida a partir de hojas de yuca (*Manihot esculenta Crantz*).
- Determinar el tratamiento óptimo para la obtención del concentrado proteico de la harina de hojas de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) aplicando el método de extracción alcalina y precipitación isoeléctrica.
- Realizar un análisis proximal y perfil de aminoácidos para el tratamiento óptimo del concentrado proteico.

2.5 ACTIVIDADES Y TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

La tabla 1 especifica las actividades a realizar en base a los objetivos planteados.

Tabla 1 Actividades a realizar en base a los objetivos planteados

OBJETIVOS	ACTIVIDAD	METODOLOGÍA	RESULTADO
------------------	------------------	--------------------	------------------

<p>Evaluar la cuantificación de y compuestos cianogénicos a composición física y química de una harina obtenida a partir de hojas de yuca (<i>Manihot esculenta Crantz</i>)</p>	<p>Obtener harina de • hojas de yuca.</p> <p>Analizar la composición física • y química en la harina de • yuca (Humedad, • materia seca, • proteína, extracto • etéreo, fibra, • cenizas, materia • orgánica, • carbohidratos).</p>	<p>Norma general para productos proteínicos vegetales (CXS 174-1989)</p> <p>AOAC 23.003.2003</p> <p>Cálculo AOAC 2001.11</p> <p>AOAC 920.39</p> <p>AOAC 930.15</p> <p>AOAC 923.03</p> <p>Cálculo</p> <p>Cálculo</p> <p>• Cuantificación de compuestos cianogénicos mediante el método MQ/AOAC 915,03</p>	<p>Composición física y química de la harina vegetal (tabla 9) y cuantificación de compuestos cianogénicos (anexo 7).</p>
<p>Determinar el tratamiento óptimo para la obtención del concentrado proteico de la harina de hojas de yuca (<i>Manihot esculenta Crantz</i>) aplicando el método de extracción alcalina y</p>	<p>Aplicar la metodología de extracción de proteínas con un los diseño apl experimental MSR me con 2 factores: temperatura de extracción y pH de precipitación isoeléctrica para determinar el <u>tratamiento óptimo</u></p>	<p>Establecer las mejores condiciones de extracción de proteínas basados en listintos autores que can la misma metodología.</p> <ul style="list-style-type: none"> • (Serpa et al., 2014) • (Ramírez et al., 2021) 	<p>Condiciones óptimas de extracción en la obtención del concentrado proteico de acuerdo a las combinaciones de factores establecidos en el diseño experimental (tabla 10).¹</p>

¹ Continúa en la página siguiente

además de alcanzar los requerimientos energéticos de cada animal de acuerdo con las raciones suministradas.

Los análisis realizados en las hojas de yuca en base seca presentados por Idris et al. (2020) en su artículo "*Physicochemical composition of different parts of cassava (Manihot esculenta Crantz) plant*" indican que el contenido de humedad en las distintas partes de la planta de yuca varía entre porcentajes de 1,23 y 6,11; hubo significancia entre cada parte de la planta, puesto que el tallo mostró 1,23 % de humedad. Los contenidos de proteína cruda en las hojas de yuca alcanzaron valores de 28,02 %, la fibra cruda fue de 21,41 %, el contenido de grasa es de 5,63 %, mientras que el contenido de cianuro fue de 0,02 mg/kg.

La investigación de Serpa et al. (2014) denominada: "*Determinación del punto isoeléctrico de las proteínas presentes en cuatro fuentes foliares: yuca (Manihot esculenta Crantz) variedades verónica y tai, jatropha (Jatropha curcas L.) y gmelina (Gmelina arborea)*", se enfocó en la caracterización de cada una de las fuentes foliares de proteína y la determinación del punto isoeléctrico óptimo para la extracción con resultados de 15,92 % de proteína en las hojas de variedad Verónica y 17,43 % en las hojas de la variedad Tai.

El estudio titulado "*Obtención de un concentrado proteico de la harina de dos variedades de haba (Vicia faba): Haba sultana y Haba peruana mediante las fases de extracción alcalina y precipitación isoeléctrica*", realizado por Gualotuña y Quindil., (2024) destaca los beneficios funcionales de incorporar el haba en la alimentación diaria, enfatizando su valor como fuente rica en aminoácidos esenciales. En la investigación mencionada, se desarrolló un proceso para obtener aislados proteicos a partir de dos variedades de haba, donde se aplicaron rigurosos controles sobre el pH durante las etapas de extracción alcalina y precipitación isoeléctrica. Para optimizar estos parámetros, se utilizó un diseño experimental factorial 2x2x2, lo que permitió evaluar diferentes combinaciones de condiciones. Los resultados indicaron que el mejor rendimiento proteico se alcanzó con un pH de extracción de 11 y un pH de precipitación de 5,5; condiciones que favorecen la solubilización y posterior precipitación de las proteínas, mejorando así la eficiencia del proceso y la calidad del concentrado obtenido. Este estudio aporta información valiosa para el desarrollo de ingredientes proteicos funcionales derivados de leguminosas, con potencial aplicación en la industria alimentaria. **2.6.2 Marco Teórico**

2.6.2.1 Origen de la yuca

La yuca es una planta originaria de América del Sur, luego de la llegada de Colón al continente americano, la yuca fue esparcida por los españoles hacia sus colonias africanas y asiáticas (Beecham et al., 2023). Sin embargo, su distribución se encuentra desde Estados Unidos (Arizona) hasta la cuenca del Plata en Argentina (Aguilar, 2017).

Los cultivos cuyo producto comestible son las raíces han tomado reconocimiento por mejorar la seguridad alimentaria especialmente en los países en desarrollo siendo así una fuente de alimento directo de millones de individuos (Borku, 2025).

En Ecuador el cultivo de yuca es muy versátil y de fácil adaptación, en la mayoría de provincias se produce yuca con un gran aporte en la alimentación y economía de las familias. En el país la yuca (*Manihot esculenta Crantz*) es cultivada en mayor volumen por agricultores que habitan hasta los 1620 msnm en las 4 regiones del país: Costa, Sierra, Amazonía y Galápagos. Existen muchas tradiciones en el cultivo por parte de poblaciones campesinas e indígenas (Hinostroza et al., 2014). A pesar de que se conoce el manejo del follaje de la yuca, no se determinan nuevos mercados destinados a explotar el forraje como recurso para la creación de nuevos productos en los que se aprovecha su alto contenido nutricional (Giraldo, 2006).

2.6.2.2 Clasificación

La clasificación taxonómica de la mandioca o yuca se presenta en la tabla 2.

Tabla 2 Taxonomía correspondiente a la yuca.

Taxonomía de la yuca

Reino	Plantae
División	Spermatophyta
Clase	Dicotyledoneae
Orden	Euphorbiales
Familia	Euphorbiaceae
Subfamilia	Crotonoideae
Género	Manihot
Especie	Esculenta Crantz

Fuente: (Mendoza & Rosero., 2025).

Su nombre es dado por el investigador Crantz, quien en 1766 definió dos especies: yuca amarga, *M. utilisima*; y yuca dulce, *M. aipi*; finalmente se definió 3 subespecies: *M. esculenta*, *M. flabellifolia* y *M. peruviana*, siendo las dos últimas unas variedades silvestres de *M. esculenta* (Espitia et al., 2022).

2.6.2.3 Toxicidad

En la planta de yuca existe presencia de glucósidos cianogénicos: linamarina y lotaustralina (Torres et al., 2022). La presencia de estos compuestos en el organismo del ser humano se expresa como un inhibidor enzimático para la producción de ATP, además de inducir a la hipoxia celular, es por ello la importancia de someter a un proceso de hidrólisis enzimática raíces y hojas para aprovechar sus propiedades nutricionales (Rivadeneira et al., 2017). El cianuro presente en las hojas de yuca tiende a dificultar la absorción de nutrientes en el cuerpo, es por ello que, de acuerdo con Ayele et al. (2022), tratamientos como el escaldado o secado permiten disminuir hasta en 81 % el contenido de cianuro. La estabilización de la linamarasa es esencial para la detoxificación del cianuro en las hojas de yuca, la cual para degradar los compuestos de cianuro debe estar expuesta a una temperatura de 55 °C (Ayele et al., 2022).

2.6.2.4 Descripción botánica

La mandioca es una planta perenne, de aspecto arbustivo que puede alcanzar de 1 a 4 m dependiendo de la variedad y sector donde se encuentra el cultivo (Aguilar, 2017).

Tallo

El tallo es de forma cilíndrica con un diámetro ente 2 a 6 cm de grosor, los colores varían entre morado, café, amarillo verdoso o gris plateado; estas características varían dependiendo la edad, variedad y lugar de ubicación del cultivo. Conforme la edad de la planta aumenta, la epidermis del tallo se vuelve más dura y leñosa por la acumulación de xilema, una vez cosechado el tubérculo las estacas del tallo sirven para la propagación de la planta de manera asexual, comúnmente utilizada por haciendas para fines comerciales (Espitia et al., 2022).

Hojas

Las hojas son de conformación simple, están compuestas por un pecíolo, lámina foliar palmeada y lobulada con 3 a 9 lóbulos por hoja; miden de 5 a 15 cm de longitud y 5 cm de ancho según la variedad. Su color puede ser verde o morado, de igual manera que los pecíolos. Durante los primeros 3 meses las hojas son más grandes que sus predecesoras y las subsiguientes (Beecham et al., 2023).

Las hojas de yuca, como en la mayoría de plantas, cumplen la función principal de generar energía mediante el proceso de fotosíntesis. La cantidad de hojas va a depender directamente de las condiciones medioambientales y la edad morfológica de la planta, siendo de 60 hasta 150 días la etapa de mayor crecimiento de biomasa. Sin embargo, es a los 75 días cuando empieza el proceso de formación de las raíces de almacenamiento, las cuales posteriormente engrosaran para ser destinadas al consumo humano (Aguilar, 2017).

Algunas denominaciones para identificar las distintas formas de las hojas de yuca son: lineal, abobada y panderada. Distintas instituciones clasifican también otro tipo de morfología: elíptica, lanceolada y oblongo lanceolada (Giraldo, 2006). Véase Figura 1.

Figura 1: *Morfología correspondiente a las hojas de yuca.*



Nota: *Forma de las hojas de distintas variedades.*

Fuente: (Giraldo, 2006.)

La raíz y el follaje de la yuca tienen una composición química considerada opuesta, pues las raíces contienen alto contenido de carbohidratos, mientras que el follaje es una de las materias primas verdes con mayor porcentaje de proteína (Borku, 2025).

Raíz

Se denominan raíces tuberosas que alcanzan una longitud de hasta 40 cm de largo por 5-8 cm de diámetro, son de forma irregular, cilíndrica y cónica, se considera la parte de la planta con mayor interés comercial por su contenido de almidón (80 %), el color de la raíz dependerá de la variedad (Muñoz et al., 2017).

Las raíces son utilizadas principalmente o destinadas a distintos mercados, se consumen frescas o se trasladan a la industria de harinas y almidones, también para la elaboración de jarabes, y otros volúmenes se derivan a las industrias del papel, cartón y textiles. Tras la obtención de almidones estos se clasifican en: almidones agrios y dulces denominados nativo e industrial respectivamente, el almidón es comercializado para la obtención de subproductos como concentrados, y funciona como sustituto de cortos almidones y féculas de maíz (Canales & Trujillo, 2021).

2.6.2.5 Cultivo (condiciones, partes aprovechadas y tendencias)

El cultivo de la yuca en todo el mundo abarca su mayor potencial en las zonas tropicales-bajas, la fácil adaptabilidad que tiene este cultivo le permite sobrevivir en ambientes y condiciones extremas, se puede desarrollar en suelos muy secos y de baja fertilidad. La mayor productividad se obtiene en áreas ubicadas desde el nivel del mar hasta 1300 msnm y temperatura promedio de 25 a 30 °C (Hinostroza et al., 2014).

Los cultivos de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) se ubican en zonas tropicales y subtropicales, debido al eficiente aprovechamiento de nutrientes y humedad de los suelos, así como la resistencia que tiene en condiciones críticas y adaptada a resistir los ataques de plagas, además de producir rendimientos bastante aceptables a bajos costos, pues el cultivo se puede mantener y producir sin aplicación de insumos y en suelos nutritivamente pobres.

“La yuca, que es cultivada exclusivamente por pequeños agricultores de bajos ingresos, constituye uno de los pocos cultivos básicos que pueden producirse de forma eficaz en pequeña escala” (FAO, 2013) se puede utilizar para la elaboración de diversos productos que pueden abarcar distintas industrias a la de alimentos, como: industria farmacéutica y generación de biocombustibles. La

FAO (2013) estimó que: “la cosecha mundial en el año 2012 ascendió un 60 % a 280 millones de toneladas, desde el año 2000, es decir que el incremento anual fue de 1,8 %, como resultado 12,8 toneladas por hectárea”.

2.6.2.6 Yuca en el Ecuador

Ecuador es un importante productor de yuca en la región latinoamericana, de manera paralela a nivel nacional, se puede observar en la tabla 3 que en la mayoría de las provincias del Ecuador el cultivo de yuca representa un rubro significativo.

Tabla 3 Cosecha de la yuca en las provincias del Ecuador.

Provincia	Superficie sembrada (ha)	Superficie cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t/ha)
Morona Santiago	4832	4775	17253,83	3,57
Cotopaxi	3078,17	2791,92	12964,75	4,77
Santo Domingo de los Tsáchilas	2752,4	2395,8	16811,4	7
Manabí	2261,33	1967,92	4872,83	2,62
Pichincha	1816,67	1773	9714,58	4,99
Loja	1630,5	1591	7765,92	4,33
Los Ríos	1621,83	1464,17	10040,42	7
Pastaza	1314,75	1251,08	2755,83	2,18
Zamora Chinchipe	1247,58	1130,83	4689,58	3,85
Esmeraldas	778,58	749	1540,92	2,24
Orellana	578,5	579,5	1287,25	2,27
Sucumbíos	283,25	268,67	473	1,78
El Oro	278,33	261,58	489,5	2,1
Guayas	264,33	225,25	581,75	2,82
Bolívar	199,4	199,4	139,17	0,84
Imbabura	167,33	161,75	366,42	2,43
Cañar	124,36	90,64	332,09	4,16
Azuay	89,75	68,38	101,58	2,1
Chimborazo	63,89	62,78	135,25	2,44
Santa Elena	56,33	41	92,6	2,35
Galápagos	44	41	55	1,34
Carchi	21,67	21,17	48,29	4,03

Tungurahua	14	12	22	1,83
Total Nacional	23518,95	21922,84	92533,96	73,04

Fuente: (Hinostroza et al., 2014)

2.6.2.7 Importancia

Los usos tradicionales de la yuca se remontan a las culturas precolombinas, siendo explotada por los indígenas de la Amazonía al ser consumida fresca y procesada como almidones, productos de panificación y utilizada en la fermentación de alcohólica para la obtención de chicha (Muñoz et al., 2017). Aunque los destinos de los subproductos a pesar de ser muy aprovechables no han sido investigados a profundidad en Ecuador. Según Hinostroza et al., (2014), el manejo adecuado de los cultivos de yuca puede generar una producción anual de 13 t/ha en el cantón Santo Domingo debido a las excelentes condiciones climáticas y de adaptabilidad que brinda la provincia para la siembra y producción de este producto.

El cultivo de yuca puede generar alrededor de 6 toneladas de proteína por hectárea al año, manteniendo buenas prácticas de cultivo (genotipos, suelos, controles y densidades de siembra) destinadas específicamente al aprovechamiento del follaje (Giraldo et al., 2008). Las hojas de yuca por su gran contenido de proteína son utilizadas en alimentación animal, por ello el enfoque en presentar una alternativa óptima de suplementación alimenticia en humanos a partir de las proteínas extraídas de las hojas como materia prima como punto de partida en el proceso de producción. Como se menciona en Espitia et al., (2022), la siembra y producción de yuca forrajera está determinada por los periodos de corte que se producen por año. Dentro de la experimentación realizaron cortes periódicos de 3 meses en el que se obtuvieron 37 t/ha en material fresco en un lapso de dos años.

2.6.2.8 Contenido nutricional de la raíz de yuca

Tradicionalmente se ha utilizado la raíz de la yuca como fuente de alimento por sus propiedades nutritivas, sin embargo, se ha demostrado que con un adecuado manejo de cosecha para el follaje de la yuca se puede llegar a obtener hasta 6 toneladas de proteína bruta por hectárea (Giraldo et al., 2008). De igual manera en la investigación se menciona que la proteína presente en el follaje de

Manihot esculenta Crantz alcanza un valor de 22,70 % con una humedad de 7,80 %. Mientras que en fresco alcanza valores del 7 % de proteína (Idris et al., 2020).

Al hablar de la yuca es importante mencionar que la parte con mayor interés comercial a lo largo del tiempo ha sido su raíz, por lo tanto, es necesario conocer la composición nutricional de la raíz de yuca por cada 100 g de materia seca, la cual según Inga., (2020) se muestra en la tabla 4

Tabla 4 Composición química de la raíz de yuca

Nutriente	Unidad	Cantidad en seco
Valor energético	kcal	132
Agua	%	65,20
Proteína	%	1,0
Grasa	%	0,40
Carbohidratos totales	%	32,80
Fibra	%	1,0
Cenizas	%	0,60
Calcio	mg	40,0
Fósforo	mg	34,0
Hierro	mg	1,40
Tiamina	mg	0,05
Riboflavina	mg	0,04
Niacina	mg	0,60
Ácido ascórbico	mg	19,0
Porciones no comestibles	%	32,0

Nota: La tabla indica las cantidades y porcentajes de distintos elementos que componen la hoja.

Fuente: (Inga, 2020).

En la tabla 5 se muestra el valor nutricional de las hojas de yuca y sus partes en base seca

Tabla 5 Composición física y química de las hojas de yuca.

Contenido

Partes de la Yuca	de humedad (%)	Proteína cruda	Grasa cruda	Fibra cruda	Ceniza	Carbohidratos	Energía bruta	Equivalente de HCN
Raíz	2,83±0,02 ^c	1,75±0,01 ^d	0,64±0,05 ^d	2,11±0,03 ^f	1,24±0,05 ^e	92,66± 1,88 ^a	4223,9±4,9 ^c	0,01±0,00 ^a
Tubérculo desechado	4,03±0,02 ^d	3,54±0,04 ^c	0,75±0,05 ^{cd}	5,31±0,11 ^e	2,94±0,00 ^d	83,39±0,43 ^b	3645±0,1 ^e	0,01±0,00 ^a
Tallo	1,230±0,00 ^a	5,24±0,19 ^b	1,37±0,05 ^{bc}	39,51±0,05 ^a	6,43±0,18 ^{bc}	42,99±1,52 ^c	4168,4±38,4 ^c	7,03x10 ⁻⁴ ±0,00 ^a
Hoja	6,11±0,06 ^f	28,02±0,10 ^a	5,63± 0,12 ^a	21,41±0,00 ^c	7,28±0,39 ^b	31,55±1,09 ^f	4824,3±10,6 ^a	0,02±0,00 ^b
Corteza	1,40±0,01 ^b	0,023±0,03 ^e	1,56±0,06 ^b	12,41± 0,12 ^d	5,58±0,28 ^c	78,94±0,05 ^c	4069,2±26,8 ^d	0,01±0,00 ^a
Peridermo	5,03±0,02 ^e	4,08±0,16 ^c	1,14±0,37 ^b	24,49±0,11 ^b	14,59± 0,07 ^a	50,71±0,20 ^d	4666,5 ±0,3 ^b	6,50x10 ⁻³ ±0,00 ^a

Fuente: (Idris et al., 2020)

Los datos presentados permiten reconocer que en cuanto a valor proteico se refiere, la mayor concentración se encuentra presente en su follaje y representa un gran potencial nutritivo y comercial aplicando las correctas prácticas de cosecha y postcosecha.

Las hojas de yuca han sido utilizadas por décadas para la alimentación de ganado bovino, sin que este aproveche completamente la proteína presente en las hojas. En la alimentación de aves de postura también ha sido utilizado ampliamente para dar mayor intensidad de color a la yema, sin embargo, existen limitaciones nutricionales en la harina de hoja de yuca destinada a la alimentación animal (Herrera et al., 2019).

2.6.2.9 Proteínas

Son macromoléculas formadas por cadenas de varios aminoácidos, polímeros de aminoácidos, los cuales están unidos por enlaces peptídicos. La secuencia en la cual se encuentran unidos los aminoácidos definirá la estructura tridimensional de la molécula y su función biológica dentro de un sistema. (Monroy et al., 2024). De hecho, las proteínas pueden clasificarse por la función que realizan (enzimática, estructural, transporte, etc.); y también por los pliegues que pueden llegar a formar (primaria, secundaria, terciaria y cuaternaria).

2.6.2.10 Suplementación con proteína vegetal

Las proteínas presentes en materias primas como la quínoa, algunas legumbres y la soya, poseen beneficios directos para la salud debido a su bajo contenido de grasa, por lo cual el consumo de este tipo de dietas, tiene como prioridad la ingesta de carbohidratos, proteínas y vitaminas (Zea et al., 2017). Nutricionalmente la ingesta de proteínas vegetales permite cumplir los requerimientos necesarios para mantener una buena salud. El consumo de proteínas de origen vegetal aporta vitaminas y aminoácidos esenciales, pero tiene baja viabilidad en la producción de las mismas debido a la preferencia del consumidor sobre proteínas de origen animal. Sin embargo, ciertas investigaciones sugieren el uso de proteínas vegetales para prevenir enfermedades crónicas degenerativas (Monroy et al., 2024).

En la naturaleza se encuentran más de 300 aminoácidos, de los cuales se ha determinado que 20 son necesarios para el ser humano en la síntesis de proteínas. Estos aminoácidos se pueden encontrar en diversos alimentos, y otros son resultado de síntesis propia en el organismo, esta característica permite una clasificación en aminoácidos no esenciales y aminoácidos esenciales. Los esenciales son aquellos que el organismo no puede sintetizar y, por lo tanto, es necesario su ingesta mediante una dieta equilibrada (Zea et al., 2017).

El follaje de las plantas se considera como una gran fuente nutritiva, donde se pueden encontrar una gran cantidad de proteínas (250-300) involucradas en procesos fotosintéticos, celulares y estructurales, las cuales se pueden clasificar en proteínas solubles e insolubles. Dentro de las proteínas solubles es predominante la presencia del Rubisco (Ribulosa 1,5-bisfosfato carboxilasa/oxigenasa), enzima clave en el proceso de fijación de CO₂ que representa hasta el 50 % de las proteínas solubles en las hojas (Santamaría & Lübeck, 2020).

2.6.2.11 Aminoácidos

Son los principales constituyentes de las proteínas que estructuran los tejidos, enzimas y partes del organismo como las hormonas, anticuerpos, material genético (Zea et al., 2017). De acuerdo con Coila., (2020), el aporte proteico de fuentes vegetales puede ser aprovechado e incluido en las dietas de personas con déficit de aminoácidos esenciales, utilizando métodos de extracción y cuantificación de proteínas, en material vegetal que tenga gran presencia de aminoácidos y

nitrógeno. Los aminoácidos presentes en las proteínas vegetales son primordiales en la producción de alimentos que, nutricionalmente o en digestibilidad son muy similares a los de la proteína animal (Monroy et al., 2024). Los aminoácidos vistos de forma estructural, cumplen una función vital en las proteínas, otorgando características específicas a las mismas; las que a su vez componen los tejidos vivos; en lo funcional, intervienen en procesos metabólicos en el organismo para la obtención de energía; se conocen muchos aminoácidos en la naturaleza, de los cuales solamente 20 se constituyen proteínas (Zea et al., 2017).

En un perfil de aminoácidos de la harina de hojas de yuca, según Giraldo et al., (2008), se observó que el aminoácido limitante fue la metionina, cuyo consumo es esencial en niños en etapa de crecimiento. Los aminoácidos esenciales son nueve: histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptófano y valina; este grupo se distingue porque el organismo del ser humano no es capaz de sintetizarlos, por ello se debe incluir en la dieta. A diferencia de dichos aminoácidos esenciales, existen los aminoácidos no esenciales (alanina, arginina, asparagina, ácido aspártico citrulina, cisteína, ácido glutámico, glutamina, glicina, ornitina, prolina, serina, taurina, tirosina). Generalmente los grupos amino de los aminoácidos, son catalizados para producir aminoácidos glucogénicos y cetogénicos que se metabolizan en el hígado para finalmente producir energía (Zea et al., 2017).

2.6.2.12 Concentrados Proteicos

Conociendo la importancia de las proteínas y su papel para el correcto funcionamiento del organismo, los procesos de investigación han llegado a desarrollar varias metodologías para realizar la extracción y purificación de una proteína específica con la finalidad de obtener un polvo pulverizado con alta concentración de proteínas que pueda servir como suplemento alimenticio en una dieta insuficiente (Tapia et al., 2016).

Para la obtención de un aislado proteico existen varios métodos de laboratorio, tanto físicos como químicos, en los cuales se debe tomar en cuenta las características específicas de la proteína analizada determinadas como: carga, peso molecular, hidrofobicidad; con el objetivo de conservar las propiedades de la proteína hasta el final de la extracción y purificación (Ramírez et al., 2021).

En el presente estudio se utiliza el método de extracción alcalina y precipitación isoeléctrica, tomando en cuenta la investigación de Serpa et al., (2014), donde se menciona que el punto

isoelectrico óptimo para la extracción de la proteína presente en el follaje de la yuca es con el valor de pH 4.

La precipitación de proteínas consiste en la operación de convertir un producto solubilizado en un sólido con ayuda de un agente precipitante que permita ajustar el pH requerido y que las proteínas que específicamente que se encuentran suspendidas en un disolvente se precipitan hacia el fondo (Serpa et al., 2014).

2.6.2.13 Extracción alcalina

La extracción alcalina es una técnica que se fundamenta en elevar el pH de la solución a valores elevados, generalmente entre 8 y 10, mediante la adición de bases fuertes como el hidróxido de sodio (NaOH). Este aumento en la alcalinidad favorece la solubilización de los grupos proteicos presentes en la materia prima, facilitando su separación de otros compuestos no proteicos que forman parte de la fuente de extracción. Este método optimiza la recuperación de proteínas al modificar la carga y estructura de las moléculas, lo que incrementa su dispersión en la solución y permite una extracción más eficiente. Así, la extracción alcalina se posiciona como un procedimiento clave en la obtención de concentrados proteicos de origen vegetal, al maximizar el rendimiento proteico inicial para etapas posteriores del proceso (Chen et al., 2019).

La precipitación de proteínas consiste en la operación de convertir un producto solubilizado en un sólido con ayuda de un agente precipitante que permita ajustar el pH requerido y que las proteínas que específicamente que se encuentran suspendidas en un disolvente se precipitan hacia el fondo (Serpa et al., 2014).

2.6.2.14 Precipitación isoelectrica

Según Serpa et al. (2014), el punto isoelectrico para la precipitación de proteínas en cada extracto se sitúa generalmente en un rango de pH entre 4 y 5, que puede lograrse mediante la adición controlada de ácido clorhídrico. Este ajuste del pH es fundamental para alcanzar las condiciones óptimas de precipitación, ya que en este rango las proteínas tienden a perder su carga neta, lo que provoca su desestabilización y posterior agregación. Al identificar el pH en el que se obtiene el mayor contenido proteico en el concentrado, es posible optimizar el proceso de aislamiento proteico, garantizando una mayor eficiencia y calidad en el producto final. Por tanto, el control

preciso del pH durante esta etapa es clave para maximizar el rendimiento proteico en procesos de extracción y precipitación isoelectrica.

2.7 METODOLOGÍA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

2.7.1 Tipos de investigación

2.7.1.1 Investigación bibliográfica

Se revisó el material disponible de investigaciones previas con respecto al tema de estudio desde la selección de fuentes de información; considerando que es importante en cualquier tipo de investigación seguir las etapas de observación, indagación, interpretación y análisis para ejecutar un proyecto. Dicha información fue recolectada mediante la lectura de artículos, revistas científicas, tesis y bases de datos de internet (Scopus, Scielo y Google académico) (Ayala, 2018).

2.7.1.2 Investigación experimental

Se empleó un diseño experimental de Metodología de Superficie Respuesta (MSR) con un diseño compuesto central, en la que se consideraron dos factores de estudio: Factor A, que indica la temperatura durante el proceso de extracción alcalina; Factor B, que refleja el pH de precipitación isoelectrica, en la cual se establecen 16 corridas experimentales de extracción con la combinación de los factores, cada uno con tres niveles de análisis, la variable de respuesta considerada en la investigación fue el porcentaje de proteínas en el concentrado (Gabriel et al., 2017).

2.7.1.3 Investigación descriptiva

En este tipo de estudio se describieron algunas características de comportamiento de fenómenos que permitieron establecer datos e información comparable con fuentes relacionadas. Se realizó con el fin de obtener un producto con alta concentración de proteínas que proveen las hojas de yuca para identificar cómo influye los factores de temperatura de extracción y pH mediante los análisis físicos y químicos del concentrado proteico (Guevara et al., 2020).

2.7.2 Metodología de investigación

2.7.2.1 Método científico

La aplicación del método científico en esta investigación permitió llevar a cabo el proceso de extracción y cuantificación del contenido proteico presente en la harina obtenida a partir de hojas de yuca, así como en el concentrado proteico resultante. Esta metodología facilitó, además, la realización del análisis del perfil de aminoácidos correspondiente a la corrida experimental considerada óptima, en función del porcentaje de proteína extraída. Dicho enfoque se fundamenta en procedimientos previamente validados por estudios similares, lo que garantiza la fiabilidad de los resultados obtenidos y respalda la rigurosidad del proceso investigativo (Coila, 2020).

2.7.2.2 Método estadístico

En el desarrollo del presente estudio se empleó un enfoque metodológico basado en la recopilación de datos reales y eficaces obtenidos, los cuales sirvieron como base para la implementación de un diseño experimental riguroso. Este diseño permitió evaluar de manera sistemática la interacción entre variables clave, tales como la temperatura de extracción alcalina y las condiciones de precipitación isoeléctrica, con el fin de identificar el tratamiento más eficiente para la obtención de concentrado proteico. A través de la aplicación de análisis estadísticos multifactoriales, se logró establecer relaciones significativas entre los factores evaluados, lo que permitió optimizar el proceso de extracción de proteínas de manera científica y reproducible.

Para este fin, se utilizó la herramienta estadística Design Expert, ampliamente reconocida por su eficacia en la planificación y análisis de experimentos con múltiples variables. Esta plataforma facilitó la identificación de la corrida experimental óptima, así como la determinación de los niveles más adecuados de cada factor, con base en modelos de superficie de respuesta y análisis de varianza. La metodología aplicada permitió reducir la variabilidad experimental, mejorar la precisión de los resultados y garantizar la validez del modelo propuesto. En comparación con investigaciones previas que han empleado estrategias similares este enfoque contribuye significativamente a la innovación en el diseño de procesos bioquímicos eficientes y sostenibles (Gabriel et al., 2017).

2.7.3 Materiales y equipos

2.7.3.1 Materia prima

- Hoja de yuca variedad Valencia

2.7.3.2 Materiales

- Bowls
- Tamizador
- Cucharas
- Bandejas
- Vasos de precipitación
- Espátulas
- Recipientes de plástico pequeños
- Tubos cónicos
- Pissetas
- Cápsulas
- Vasos de destilación
- Pinzas
- Pipetas
- Probetas
- Cajas Petri
- Embudo de cristal
- Micro bureta
- Gradillas
- Matraz de digestión Kjeldahl con capacidad de 125 ml.
- Matraz Erlenmeyer de 10 ml
- Matraz volumétrico de 100 ml

2.7.3.3 Reactivos

- Hidróxido de sodio 0.1 N
- Metabisulfito
- Hexano

- Sulfato de sodio anhídrido
- Ácido bórico
- Ácido clorhídrico 1 M
- Hidróxido de sodio al 30 %
- Ácido sulfúrico concentrado
- Catalizadores para la digestión
- Pepsina
- Carbonato de sodio
- Quimotripsina
- Tripsina
- Ácido acético
- Ácido sulfúrico
- Ácido glioxílico
- Solución de papaína

2.7.3.4 Instrumentos y equipos

- Balanza analítica de 120 voltios (OHAUS)
- Molino industrial de 220 voltios (FAIRUZ EQUIPOS SDLM S.A.S)
- Potenciómetro de 120 voltios (Metrohm)
- Agitador 220 voltios
- Centrifugadora de 220 voltios (WIFUG) con capacidad de 1 L
- Mufla
- Estufa
- Aparato digestor Kjeldahl
- Agitador magnético
- Plancha de agitación
- Desecador
- Agitador vortex con velocidad de 2500 rpm
- Horno incubador
- Deshidratador

2.7.4 Metodología para la obtención de harina de hojas de yuca

La obtención de harina de hojas de yuca se ejecutó siguiendo la metodología mencionada a continuación. La extracción del concentrado proteico se obtuvo en la planta agroindustrial y el laboratorio de bromatología de la Universidad Técnica de Cotopaxi mediante los procedimientos que se describen a continuación:

- Se recolectaron 5 kg de hojas de yuca en el recinto Riobambeños Chilimpe, en la parroquia rural San Jacinto del Bua, ubicado en la provincia de Santo Domingo en las coordenadas 0°12'28.6"S 79°19'16.7"W.
- Posteriormente, se realizó la clasificación inicial, separando hojas en mal estado físico y las estructuras no deseadas, como pecíolos y lóbulos, para asegurar la homogeneidad del material utilizado en el proceso.

Figura 2 Selección de la materia prima



Nota: Selección de la materia prima realizada en la planta de procesamiento de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Fuente: (Mendoza & Rosero., 2025).

- Se procedió con la eliminación de los contaminantes físicos que se encontraban presentes en la materia prima. Mediante una desinfección por inmersión de las hojas de yuca en una solución de agua con metabisulfito de sodio (0,5 g/l).

Figura 3 Hojas de yuca seleccionadas



Nota: Hojas de yuca seleccionadas y listas para la inmersión en la solución desinfectante.

Fuente: (Mendoza & Rosero., 2025).

- Las hojas desinfectadas fueron sometidas a un proceso de secado controlado a una temperatura de 60 °C durante un periodo de 8 horas. Se mantuvo la temperatura por debajo de los 70 °C para evitar la desnaturalización de proteínas y preservar el perfil nutricional del material vegetal.

Figura 4. Hojas de yuca listas para su deshidratación.



Nota: Las hojas seleccionadas y desinfectadas fueron colocadas en bandejas para su deshidratación.

Fuente: (Mendoza & Rosero., 2025).

- Una vez culminado el proceso de deshidratación, las hojas secas fueron trituradas utilizando una licuadora y mortero, con el objetivo de obtener un tamaño de partícula lo más fino posible. Esta etapa resultó crucial para facilitar una adecuada extracción de proteínas en etapas posteriores.

Figura 5. Hojas de yuca trituradas finamente.



Nota: *Equipos y materiales (licuadora, morteros, cernidores y bowls) usados para la tritución fina de las hojas deshidratadas.*

Fuente: *(Mendoza & Rosero., 2025).*

- Finalmente, el producto triturado fue tamizado mediante un colador de malla fina número 18, con el fin de separar los residuos fibrosos y obtener una harina homogénea de hojas de yuca. Esta harina vegetal constituye la base para los análisis posteriores de contenido proteico y perfil de aminoácidos.

Figura 6 *Harina de hojas de yuca.*



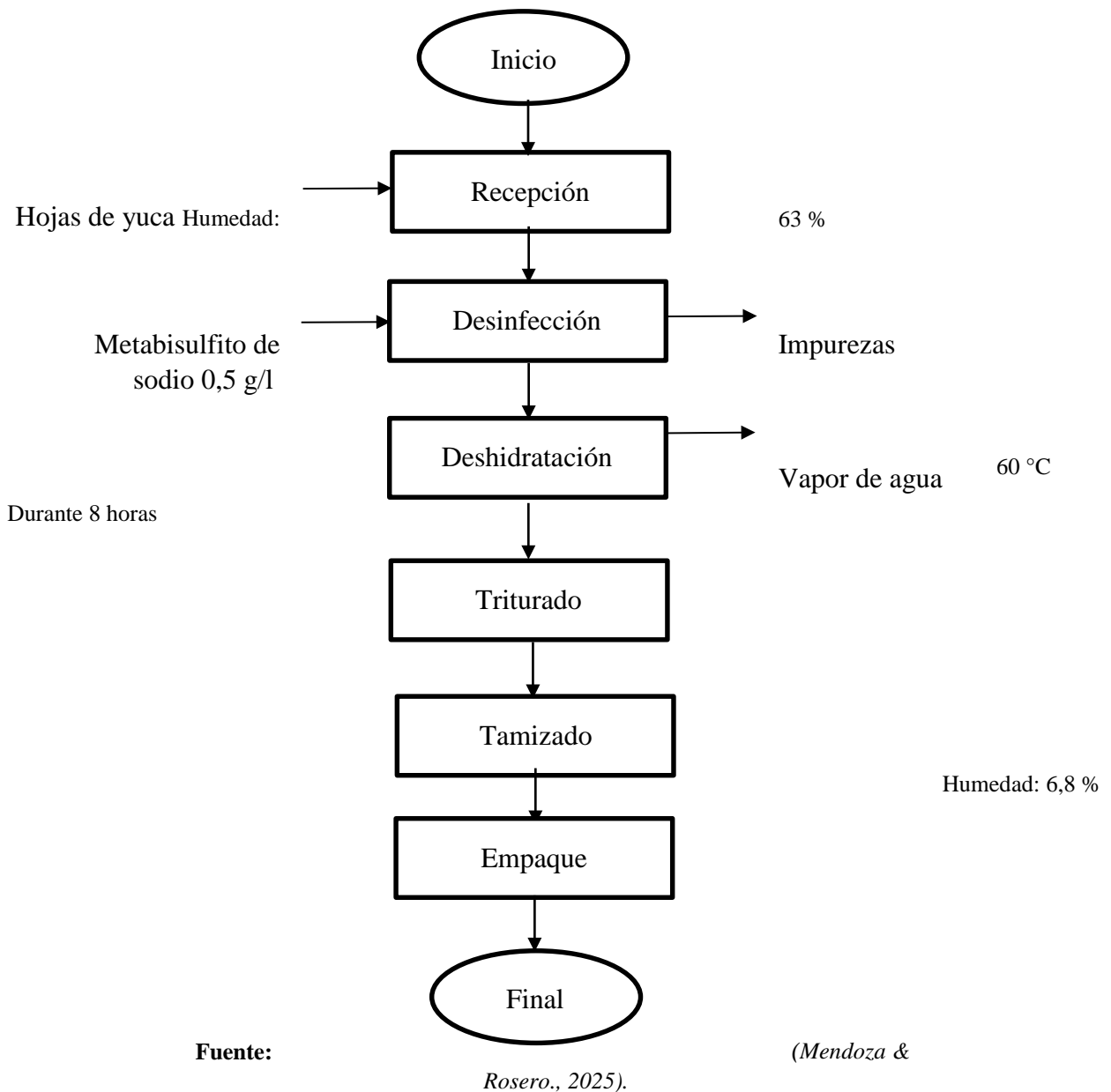
Nota: *Harina vegetal obtenida luego de ser deshidratada y tamizada.*

Fuente: *(Mendoza & Rosero., 2025).*

El proceso para la obtención de harina a partir de hojas de yuca se detalla en el siguiente diagrama de bloques.

Figura 7

Diagrama de bloques para la obtención de harina vegetal.



2.7.5 Metodología para la obtención de un concentrado proteico

2.7.5.1 Extracción Alcalina

- La etapa inicial del proceso consistió en la preparación de las muestras para la extracción alcalina. Para ello, se utilizó harina vegetal proveniente de hojas de yuca previamente deshidratadas y trituradas. Se procedió a pesar 100 g por cada uno de los tratamientos establecidos en el diseño experimental, asegurando uniformidad en las condiciones iniciales de las corridas.

Figura 8

Harina de hojas de yuca siendo pesada



Nota: *Harina vegetal siendo pesada, con la cual se realizó la primera corrida del diseño experimental.*

Fuente: *(Mendoza & Rosero., 2025).*

- Se preparó una suspensión utilizando una solución de hidróxido de sodio (NaOH) 0.1 N, con una relación peso/volumen de 1:7 w/v para cada corrida, la cual fue replicada para cada tratamiento experimental, según lo estipulado en el diseño estadístico.

Figura 9 *Materia prima y reactivo para la extracción alcalina*

Nota: *Se observa en la izquierda de la figura a la harina vegetal y en la derecha la solución de NaOH 0.1 N.*

Fuente: *(Mendoza & Rosero., 2025).*

- La suspensión resultante fue sometida a agitación constante en una plancha calefactora con control de temperatura, durante un periodo de 20 minutos. Esta etapa se realizó bajo condiciones específicas para cada tratamiento (20 °C; 40 °C y 60 °C), controlando la temperatura directamente en la disolución mediante termómetro sumergido, con el objetivo de mantener la homogeneidad y asegurar la eficiencia del proceso de extracción de proteínas.

Figura 10
Harina vegetal en agitación



Nota: Suspensión de harina vegetal y NaOH 0.1 N expuesta a temperatura y agitación constante.

Fuente: (Mendoza & Rosero., 2025).

- Una vez finalizado el tiempo de agitación, se procedió a la separación del sobrenadante (fase líquida), el cual contenía las proteínas solubilizadas en medio alcalino, de la fase sólida correspondiente a la materia vegetal hidratada. Este sobrenadante fue utilizado posteriormente en el proceso de precipitación isoelectrica.

Figura 11 *Desecho de la extracción alcalina.*



Nota: Se puede apreciar la harina vegetal hidratada luego de extraer las proteínas en un medio alcalino.

Fuente: (Mendoza & Rosero., 2025).

2.7.5.2 Precipitación Isoeléctrica

- Posterior a la obtención del extracto proteico líquido, se procedió con la etapa de precipitación isoelectrica. A este extracto se le añadió de forma gradual ácido clorhídrico (HCl) 1 M, agitando constantemente hasta alcanzar los valores de pH definidos para cada tratamiento experimental: 4; 4,5 y 5. Este ajuste permitió modificar la solubilidad de las proteínas, facilitando su precipitación al alcanzar su punto isoelectrico.

Figura 12

Reactivo para la precipitación isoeléctrica.



Nota: La figura 12 Enseña las muestras de harina de hoja de yuca y el reactivo HCl 1 M utilizados para la precipitación isoeléctrica.

Fuente: (Mendoza & Rosero., 2025).

- La solución fue mantenida en reposo durante un periodo de 60 minutos a temperatura ambiente, permitiendo que las proteínas se sedimenten de forma natural. Este tiempo de reposo fue clave para maximizar el rendimiento del proceso.

Figura 13 *Proteínas precipitadas.*



Nota: En la figura se aprecia la disolución del sobrenadante con el HCl 1 M luego de 30 min de reposo para maximizar la precipitación de las proteínas.

Fuente: (Mendoza & Rosero., 2025).

- Concluido el tiempo de reposo, se separó cuidadosamente el sobrenadante, permitiendo que las proteínas precipitadas permanecieran en el fondo del vaso de precipitación, listas para su posterior recolección y purificación.

Figura 14

Proteínas y sobrenadante



Nota: Izquierda: Sobrenadante retirado de la disolución. Derecha: Proteínas precipitadas en la base del vaso de precipitación.

Fuente: (Mendoza & Rosero., 2025).

- Las proteínas obtenidas fueron transferidas a tubos de centrifuga y sometidas a un proceso de centrifugación a 4000 revoluciones por minuto (rpm) durante 30 minutos. Este procedimiento permitió una separación más precisa del contenido proteico respecto a cualquier resto de líquido presente.

Figura 15 Centrifuga



Nota: Centrifuga llena con los tubos y calibrada a 4000 rpm durante 30 minutos **Fuente:** (Mendoza & Rosero., 2025).

- Transcurrido el tiempo de centrifugado, los tubos fueron retirados cuidadosamente, separando el sobrenadante restante de la pasta proteica acumulada en el fondo del tubo, la cual corresponde al concentrado proteico.

Figura 16

Tubos de centrifuga con concentrado proteico.

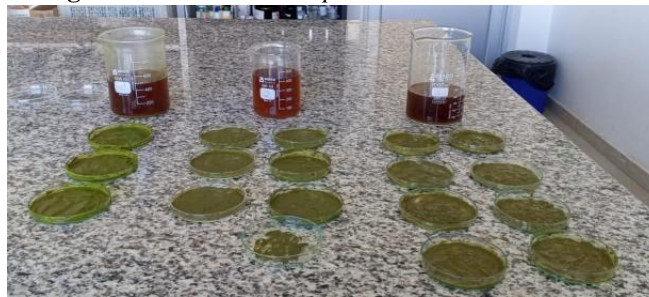


Nota: *Tubos de centrifuga retirados del equipo, donde se puede apreciar el precipitado y el sobrenadante.*

Fuente: *(Mendoza & Rosero., 2025).*

- El concentrado obtenido fue colocado en cajas Petri limpias y secas, preparadas para el proceso de deshidratación, con el objetivo de reducir su contenido de humedad y estabilizar el producto final.

Figura 17 *Concentrados proteicos*



Nota: *Cajas Petri llenas con los precipitados proteicos obtenidos a distintas condiciones.*

Fuente: *(Mendoza & Rosero., 2025).*

- La etapa final consistió en someter el concentrado proteico a deshidratación en estufa a una temperatura constante de 60 °C durante 12 horas. Este procedimiento permitió obtener un aislado proteico seco, listo para su posterior análisis nutricional, físico y químico.

Figura 18

Concentrado proteico deshidratado



Nota: *Cajas Petri con el concentrado proteico deshidratado.*

Fuente: *(Mendoza & Rosero., 2025).*

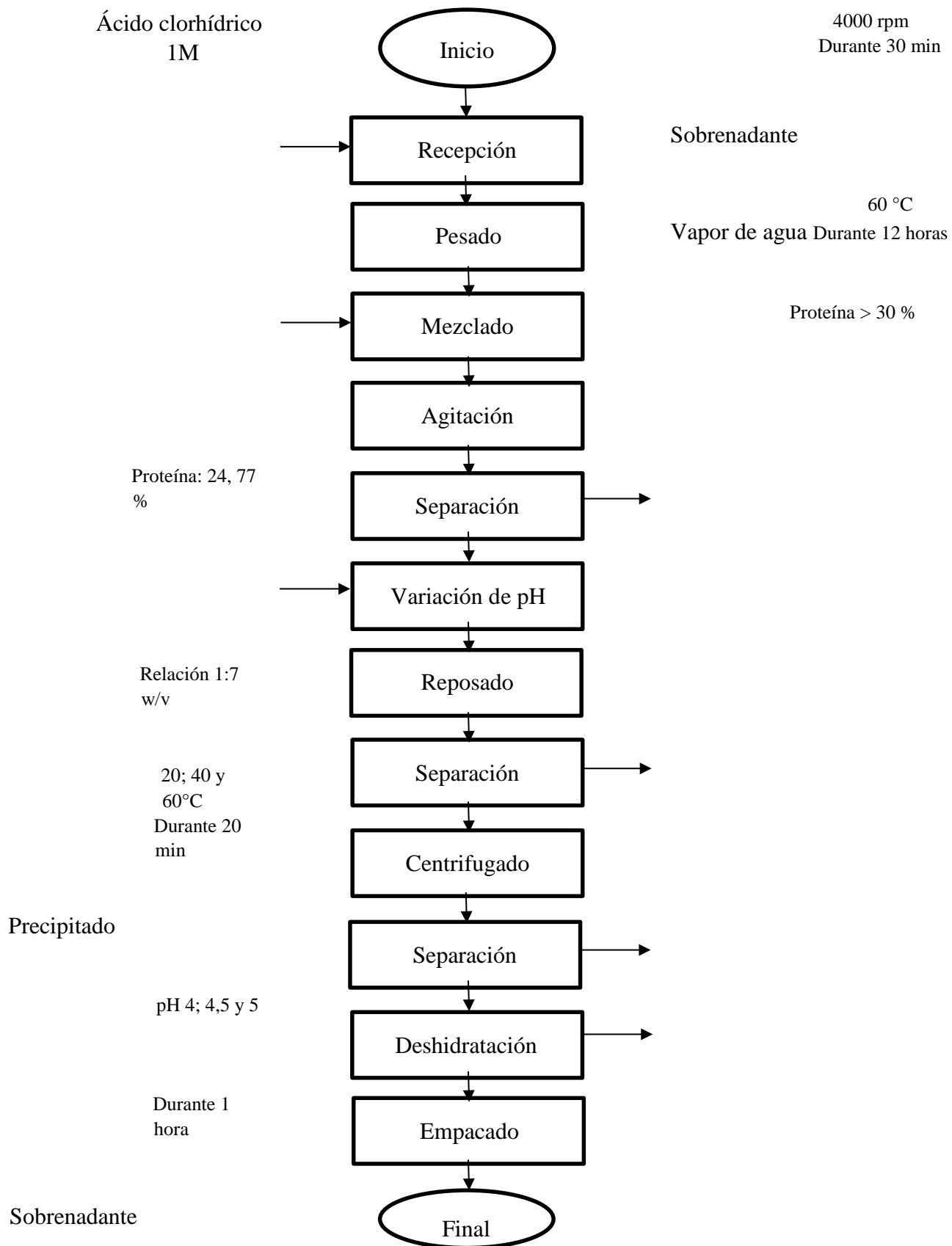
En la figura 19 se presenta el flujograma del proceso para la obtención del concentrado proteico utilizando la harina de hojas de yuca.

Figura 19.

Diagrama de bloques para la obtención de concentrado proteico de harina de yuca

100 g Harina de hojas de
yuca

Solución de
Hidróxido de sodio 0,1
N



Fuente: (Mendoza & Rosero., 2025).

2.7.6 Metodología de análisis físicos y químicos para la evaluación de la harina de hojas de yuca y el concentrado proteico

2.7.6.1 Metodología para la determinación de la humedad

La determinación de humedad se fundamentó en el método de 930.15, A.O.A.C. (2000) mencionado por Pillco et al., (2021) para determinar el contenido de humedad existente en una muestra mediante secado en estufa.

Procedimiento

- Se enjuagó con agua destilada los crisoles, después secaron en la estufa por 8 horas a 105 °C, posteriormente se enfriaron en un desecador para evitar la absorción de humedad, finalmente se pesaron los crisoles secos.
- Se pesó 1 gramo de harina de hojas de yuca y se agregó en los crisoles para ponerlos en la estufa a 105 °C por 12 horas.
- Después del secado, se dejó enfriar en un desecador hasta que estén fríos para pesar nuevamente.

Cálculos

Se utilizó la siguiente ecuación:

Ecuación 1. *Cálculo de humedad.*

$$\% H = \frac{Pcmh - Pcms}{Pc} \times 100$$

Donde:

% H = Porcentaje de humedad.

Pc = Peso del recipiente.

Pcmh = Peso del recipiente más muestra humedad.

Pcms = Peso del recipiente más muestra seca.

2.7.6.2 Metodología para la determinación de la grasa

El método de referencia es el N° 920.39 C de la A.O.A.C, mencionado por CODEX., (2021).

Procedimiento:

- Se lavaron con agua destilada los vasos para secarlos en la estufa por 2 horas a 105 °C.
- Se enfrió los vasos en el desecador, se añadió 200 ml de hexano.
- Se pesó 1 gramo de harina de hojas de yuca y se añadió con 2 gramos de sulfato de sodio anhidro, colocándolo en un cartucho limpio y se usó algodón para tapanlo.
- Luego se depositó la muestra en el vaso con hexano, agitando con el vortex, abriendo la llave de agua como refrigerante, se extrajo el material graso por 4 horas
- Se secó el vaso de destilación a 105 °C por 7 horas en la estufa, luego se retiró y se enfrió dentro del desecador y se pesó el resultado.

Cálculos

Se utilizó la siguiente ecuación:

Ecuación 2. Determinación de grasa.

$$EE = \frac{Pv - Pvr}{Pm} \times 100$$

Donde:

EE = Extracto etéreo (%).

Pv = Peso del vaso tarado.

Pvr = Peso del vaso más residuo.

Pm = Peso de la muestra.

2.7.6.3 Metodología para la determinación de la ceniza

Como lo menciona CODEX., (2021) se sigue el método A.O.A.C. 923.03, para eliminar todo el material orgánico presente en la muestra.

Procedimiento:

- Se pesaron 2 gramos de harina de hojas de yuca en un crisol. Se colocaron los crisoles en una mufla durante 2 horas a 600 °C, hasta que la ceniza adquirió un color blanco.
- Se transfirió el crisol a un desecador para evitar absorción de humedad e inmediatamente se pesó el contenido.

Cálculos:

Para el cálculo se utilizó la siguiente ecuación:

Ecuación 3. *Determinación de ceniza.*

$$\% C = \frac{P_{cz} - P_c}{P_m} \times 100$$

Donde:

C = Contenido de cenizas.

Pc = Peso de crisol.

Pcz = Peso de crisol más ceniza.

Pm = Peso mufla.

2.7.6.4 Metodología para la determinación de la proteína

Se utilizó el método Kjeldahl para análisis de proteínas, este método se basa en 3 etapas que son:

Digestión

- Se pesaron 0,15 g de harina de hojas de yuca en un matraz de Kjeldahl evitando la adherencia de la muestra al cuello o paredes del recipiente.
- En las dos perlas de ebullición se añadió 2,5 ml de H_2SO_4 con 1 g de catalizador
- La muestra fue sometida a digestión en el equipo de micro Kjeldahl en la campana de extracción, aumentando la temperatura durante el proceso. Cuando el color de la muestra llegó a un tono azul-verde la digestión finalizó
- El matraz se enfrió para que no se endurezca el solidificante en la muestra por 4 minutos
- Se añadieron 7 ml de H_2O gota a gota en la digestión de la muestra

Destilación

- Prendido el destilador, con velocidad de destilación a 5 ml por minuto.
- Con ayuda de un embudo, la muestra se colocó en la cámara de ebullición con el fin de obtener las perlas de ebullición y con 5 ml de agua destilada se lavó el matraz
- Se añadió 10 ml de ácido bórico en un frasco Erlenmeyer con 2 gotas de indicador bajo la salida de destilación.

- Se añadieron 10 ml de hidróxido de sodio (NaOH) en solución a la cámara de ebullición lentamente. La digestión se tornó oscura indicando la culminación del proceso.
- Se reservó un poco de NaOH en la copa y se colectaron 20 ml del destilado en 5 minutos. El destilado se tituló con color verde cristal en otro matraz.

Titulación

- Se tituló la muestra con 0,1 N de HCl hasta que llegó al color violeta final de titulación.
- El peso del N en mg está dado por el miliequivalente del ácido x 14 (peso equivalente del N).

Cálculos:

Para el cálculo se utilizó la siguiente ecuación:

Ecuación 4: *Titulación*

$$\% P = \frac{HCN \times N \times 14 \times f}{m \times 1000} \times 100$$

Donde:

HCN = Cantidad de ácido clorhídrico utilizado en la titulación.

N = Normalidad del ácido (0,1). 14 =

Peso atómico del nitrógeno. f = Factor

de la harina de hojas de yuca. m = Peso

de la muestra.

2.7.6.5 Metodología para la determinación del perfil de aminoácidos para el mejor tratamiento de obtención de concentrado de proteínas

Se determinó mediante la metodología de cromatografía líquida de alto rendimiento (Anchundia et al., 2019), HPLC según sus siglas en inglés.

Procedimiento:

- Se disolvió la muestra con metanol.
- La centrifugación se realizó a 10000 rpm y se conservó el sobrenadante.
- La muestra centrifugada fue reservada.
- Se cargó la muestra en el vial de HPCL.

2.7.6.6 Metodología para determinar la presencia de compuestos cianogénicos en la harina de hojas de yuca

Este método se utilizó para cuantificar la presencia de compuestos cianogénicos en productos obtenidos a partir de la yuca para verificar su seguridad para el consumo humano, siguiendo la metodología mencionada por Torres et al., (2022).

Procedimiento:

- Se pesó 50 g de la muestra del concentrado, posteriormente se mezcló con 100 ml de agua destilada bajo ultrasonido durante 30 min.
- El contenido obtenido se reposó durante 1 hora y luego se filtró la mezcla.
- En la celda del espectrofotómetro se colocó 1 ml de la muestra, con el reactivo colorimétrico ninhidrina (0,5 mg/ml en Na₂CO₃ al 2 %) y se midió la absorbancia.

2.8 Hipótesis

Hipótesis Nula (H_0)

La temperatura de extracción y el pH de precipitación isoelectrica, no influyen en el contenido de proteína del concentrado proteico obtenido de la harina de hojas de yuca.

Hipótesis Alterna (H_1)

La temperatura de extracción alcalina y el pH de precipitación isoelectrica influyen en el contenido de proteína del concentrado proteico obtenido de la harina de hojas de yuca.

2.8.1 Validación de Hipótesis

El diseño experimental de la Metodología de Superficie Respuesta con diseño compuesto central (MSR) utilizado en la investigación concluye que se acepta la Hipótesis alterna H_1 y se rechaza la Hipótesis nula H_0 , debido a que los factores de temperatura de extracción y pH de precipitación influyen de manera directa sobre el porcentaje de proteína obtenido en el producto final, siendo el factor temperatura el más relevante.

2.9 Diseño experimental

Se empleó la Metodología de Superficie Respuesta con diseño compuesto central (MSR) en la cual se incluyeron dos factores de estudio: temperatura para la extracción (X_T) y pH de precipitación isoelectrica (X_{pH}). El número de tratamientos se definió mediante el uso del software Desing Expert. El modelo de estudio se diseñó con 16 corridas experimentales para conocer la interacción que existe entre temperatura de extracción (X_T) y pH de precipitación (X_{pH}). Las X_T que se estudian son 20, 40 y 60 °C; y los pH para el punto isoelectrico 4; 4,5 y 5. La finalidad fue conocer las condiciones óptimas que permiten la mayor concentración de proteínas en la obtención del concentrado proteico de hojas de yuca.

Tabla 6 Descripción de las variables de estudio.

Factor	Nomenclatura	UM	Tipo	Subtipo	Mínimo	Máximo
Temperatura	X_T	°C	Numérico	Discreta	20	60
pH	X_{pH}		Numérico	Discreta	4	5

Fuente: (Mendoza & Rosero., 2025).

2.9.1 Corridas experimentales

La tabla 7 refleja la matriz experimental utilizada en el diseño, con un total de 16 corridas experimentales generadas entre los factores X_T y X_{pH} . Las combinaciones entre los factores se realizaron con la finalidad de encontrar el tratamiento con el mejor rendimiento para la obtención del concentrado proteico de las hojas de la yuca.

Tabla 7 *Matriz experimental.*

Corrida	Temperatura °C	pH
1	40	4,5
2	20	4
3	20	4,5
4	40	5
5	60	4,5
6	60	5
7	20	4,5
8	30	4
9	40	4,5
10	20	4,5
11	40	4
12	20	5
13	60	4,5
14	20	5
15	40	4
16	40	4,5

Fuente: (Mendoza & Rosero., 2025).

La tabla 7 muestra las corridas que se han generado entre los factores X_T y X_{pH} para encontrar entre ellas la combinación que permita maximizar la obtención de un concentrado proteico de las hojas

de yuca. Los niveles para de X_T y X_{pH} han sido asignados con valores de 20; 40 y 60°C y 4; 4,5 y 5 respectivamente, cada factor contiene valores mínimos y máximos que permiten explorar las condiciones propuestas y encontrar la opción con mejor rendimiento y resultados.

2.9.2 Cuadro de variables

La tabla 8 muestra que en la obtención del concentrado de proteína a base de las hojas de yuca se define como variable dependiente el concentrado obtenido y como variables independientes a X_T y X_{pH} . Así mismo, los análisis nutricionales del concentrado permiten definir cuál es la combinación ideal de los factores para maximizar la extracción. Es importante analizar estos factores debido a que afectan directamente sobre las propiedades nutricionales del producto obtenido, definir las condiciones ideales de extracción permite obtener un concentrado que cumpla los requerimientos del consumidor.

Tabla 8 Cuadro de variables para la obtención de un concentrado proteico de hojas de yuca.

Variable dependiente	Variable Independiente	Indicadores	Mediciones
Concentrado proteico a partir de la hoja de yuca (<i>Manihot esculenta</i> Crantz).	<ul style="list-style-type: none"> pH (4; 4,5 y 5). Temperatura de extracción (20; 40 y 60 °C). 	<p>Concentración de proteína en todos los tratamientos.</p> <p>Análisis al mejor tratamiento</p>	<ul style="list-style-type: none"> Porcentaje de proteína Proximal (humedad, materia seca, proteína, extracto etéreo, fibra, cenizas, materia orgánica, carbohidratos) Concentración de aminoácidos

Fuente: (Mendoza & Rosero., 2025).

2.10 Resultados y discusión

2.10.1 Análisis proximal de harina de hojas de yuca

La tabla 9 detalla los análisis físicos y químicos de la harina de hojas de yuca, aspecto fundamental que permite reconocer el aporte nutricional que la harina vegetal posee y sus posibles aplicaciones dentro de la agroindustria.

Tabla 9. Análisis proximal de la harina de hojas de yuca.

Parámetro	Resultado (%)
Humedad	6,79
Materia Seca	93,21
Proteína	24,77
Extracto Etéreo	4,14
Fibra	15,02
Cenizas	8,36
Materia Orgánica	91,64
Carbohidratos	40,92

Fuente: (Mendoza & Rosero., 2025).

La humedad de la harina vegetal arrojó el valor de 6,79 %, se comparó los resultados con los parámetros establecidos para la harina de trigo en la norma CODEX 152 (1995), la cual menciona que el valor máximo de humedad es de 15,5 %, la muestra analizada de harina de hojas de yuca cumple con los requisitos detallados en la normativa. La humedad obtenida se encuentra debajo del 10 % lo cual significa que la harina tendrá mayor vida útil, evitando el crecimiento microbiano (Suarez et al., 2022).

El análisis proximal realizado a la harina reflejó un contenido de proteína de 24,77 %, demostrando el alto potencial del follaje de la yuca para ser utilizada como base proteica en la formulación de diversos alimentos (Pereira et al., 2017). La composición de las hojas dependerá directamente de las condiciones ambientales del cultivo y de la edad del mismo, logrando características nutricionales significativas entre los 12 y 18 meses (Salles et al., 2016). De acuerdo con Blanquichet et al., (2025) en la caracterización proximal de harina de hojas de yuca de dos variedades, yuca dulce (MCol 2215) y amarga Corpoica Tai (MTAI 8), cuyo contenido de proteína es de 25 % y 19 % respectivamente, permite argumentar que las yucas dulces poseen más proteína

que las variedades amargas. El contenido de proteína de las variedades: Verónica y Corpoica Tai poseen un porcentaje de 15,92 y 17,43 respectivamente (Serpa et al., 2014), lo cual no concuerda con los datos de Castellanos et al., (1994) que reportan un contenido de proteína cruda en la harina de 22 %.

El contenido extracto etéreo, con un valor de 4,14 % se encuentra dentro de los valores aceptados por la normativa ecuatoriana INEN 523 (1980), la cual detalla el contenido de grasa como valor mínimo el 3,5 % de la composición total.

La fibra tuvo un valor de 17,6 %, según Morgan y Choct., (2016) en su *investigación “Cassava: Nutrient composition and nutritive value in poultry diets”* mencionan que la harina de hojas de yuca posee entre el 10 y 30 % de fibra en su composición. Se puede comparar con Suarez et al., (2022), sobre la caracterización física y química de una harina de hojas de yuca variedad Venezolana donde el contenido de fibra es de 5,12 %. El aumento o disminución de los componentes nutricionales puede depender de distintos factores, como la edad, la variedad y los procesos para la obtención de la harina, la presencia de peciolo puede provocar un aumento significativo en el contenido de fibra, según Blanquicheth., (2025) los peciolo poseen fibra en un 48 % en variedades de yuca dulce. Las dos variedades de yuca estudiadas por Blanquiceth et al., (2025) reportaron la fibra cruda con 19 y 15 % en Mcol 2215 y MTAI 8 respectivamente, mientras que los análisis proximales realizados por Morgan y Choct (2016) donde se estudió las distintas partes de la planta. Las hojas frescas poseen un contenido de fibra del 12,89 % mientras que en la harina de hojas el contenido aumenta a 17,69 %.

El valor obtenido de cenizas es de 8,36 %. La norma INEN 520, especifica el procedimiento necesario y los cálculos para obtener el valor de cenizas correspondiente a la muestra analizada. La cantidad de cenizas reflejada en los análisis está relacionada con el contenido de nitrógeno de las hojas de la planta y la variedad de yuca analizada. Las cenizas en las yucas de variedad Verónica y Tai son de 8,29 y 10,50 % respectivamente, en cuanto a las variedades MCOL 2215 y MTAI 8 analizadas por Blanquiceth et al., (2025) se reportaron contenidos de 3,8 y 7,8 %. El elevado contenido de cenizas en un producto puede estar influenciado por la presencia de minerales (hierro, zinc, fósforo, potasio), pues de acuerdo con Serpa et al., (2014) que en las plantas los minerales están presentes en un rango del 1 al 12 %.

2.10.2 Presencia de compuestos cianogénicos

La cuantificación de compuestos cianogénicos en las hojas de yuca alcanzó un valor de 53,48 mg/Kg, que se encuentra dentro de los valores permitidos. Las partes de la yuca que poseen el mayor contenido de cianuro en la planta son el tallo y las hojas, siendo así que las hojas analizadas en base seca pueden contener entre 53 y 1300 mg/Kg. El nivel de cianuro presente en las hojas de yuca permite clasificar las variedades entre dulces y amargas, siendo así, que las variedades dulces son las que menor contenido de glucósidos cianogénicos poseen (Ndubuisi & Chidiebere, 2018). Los métodos como el secado y molienda permiten la desintoxicación y reducción considerable del nivel de HCN sin afectar la calidad nutricional del producto final (Forkum et al., 2025). De acuerdo con CODEX (2024) los niveles de cianuro en forma de glucósidos cianogénicos en una harina de yuca comestible, no debe superar los 10 mg/Kg, de igual manera indica una dosis de referencia aguda (DRA) de 0,09 mg/Kg de peso corporal, se puede afirmar que el consumo de harina de hojas de yuca, no puede ser utilizado en el consumo humano.

El principal glucósido cianogénico existente en la yuca es la linamarina, un β -glucósido de la acetona cianhidrina, la cual representa un 80 % de los compuestos de cianuro presente en la planta. Los niveles de cianuro en las plantas se desarrollaron como mecanismo de defensa química debido a las condiciones climáticas adversas, por lo que las yucas que son cultivadas durante la sequía pueden alcanzar niveles mucho más elevados de glucósidos (Ndubuisi & Chidiebere, 2018).

2.10.3 Matriz experimental para la obtención de un concentrado de proteína de harina de hojas de yuca (*Manihot esculenta Crantz*)

La tabla 10 muestra la matriz experimental que se utilizó para obtener un concentrado proteico a partir de una harina de hojas de yuca (*Manihot esculenta Crantz*). La matriz detalla las combinaciones de los factores X_T (20; 40 y 60°C) y X_{pH} en la precipitación (4; 4,5 y 5), de igual manera se presentan los resultados en términos de porcentaje de proteína cruda.

Tabla 10. Matriz experimental con factores independientes y la variable respuesta (% proteína).

Corrida	Temperatura (°C)	pH	Proteína (%)
1	40	4,5	35,21
2	40	5	35,19
3	60	4	34,30

4	40	5	35,15
5	40	4,5	35,26
6	40	4	34,90
7	40	4,5	35,29
8	40	4,5	35,16
9	60	5	32,71
10	20	4,5	31,25
11	60	4,5	32,52
12	40	4,5	35,28
13	20	4	31,31
14	20	5	31,05
15	40	4,5	35,20
16	40	5	35,11

Fuente: (Mendoza & Rosero., 2025).

La tabla 10 muestra 16 corridas con las combinaciones de los factores X_T , X_{pH} y el contenido de proteína como variable respuesta. La corrida 7 corresponde a las condiciones óptimas de extracción, ya que refleja un valor de 35,29 % de proteína, el pH utilizado en la etapa de precipitación (4,5) está relacionado con el punto isoeléctrico de las proteínas, donde estas moléculas no poseen carga neta, permitiendo agregarse y precipitarse en un medio ácido (Serpa et al., 2014). El análisis demuestra que a 40 °C la reacción de precipitación se genera de manera eficaz alcanzando los mejores resultados en concentración de proteína, concluyendo que a mayor temperatura de extracción se obtuvieron los valores más altos.

El modelo matemático utilizado para el análisis estadístico corresponde a un modelo cuadrático, la elección del modelo matemático se debe a que la interacción entre los factores no es lineal, la variable respuesta experimenta su pico más alto y luego de este punto los valores obtenidos disminuyen (Gabriel et al., 2017).

Tabla 11. Modelo codificado para la concentración de proteínas

Indicador	Modelo codificado
Intercepto	35,16
X_T	0,99
X_{pH}	-0,24
$X_T X_{pH}$	-0,33
X_T^2	-3,07
X_{pH}^2	0,15
R^2	0,97

R ² ajustado	0,96
F modelo	67,72
<u>F falta de ajuste</u>	<u>166,99</u>

Fuente: (Mendoza & Rosero., 2025)

El valor del intercepto fue 35,16 que representa la predicción de la variable respuesta (% de proteína) calculada por el software Desing Expert 8.07.1. El componente X_T del modelo matemático obtuvo valor de 0,99 lo cual demuestra que el cambio de la temperatura es un factor estadísticamente significativo para la extracción de proteínas del follaje de la yuca, con una relación directamente proporcional, a mayor temperatura mayor será la concentración de proteínas (Ayele et al., 2021). Cuando las proteínas son expuestas a bajas temperaturas no se obtiene la solubilidad deseada en la etapa de extracción y cuando son expuestas a altas temperaturas se puede llegar al punto de desnaturalización de las proteínas (Romero et al., 2018).

El valor negativo de X_{pH} (-0,24), indica que existe una relación inversamente proporcional entre el factor y la variable respuesta, cuando aumenta el valor de pH, la concentración de proteína disminuye levemente. Por lo tanto, a mayor temperatura y menor pH el concentrado proteico presenta mayor concentración de proteínas en comparación a las condiciones de los otros tratamientos.

El coeficiente de determinación (R^2) arrojó un resultado de 0,97, lo cual evidencia que el diseño experimental utilizado se ajusta de manera adecuada a los datos observados e indica una alta precisión del modelo propuesto. Un valor de R^2 cercano a 1 significa que la variabilidad de la variable dependiente, en este caso el porcentaje de proteína, puede ser explicada en gran medida por las variaciones de los factores independientes, específicamente la temperatura (X_T) y el pH (X_{pH}), tal como lo señala Palma., (2022). Por el contrario, valores de R^2 próximos a cero reflejan que la regresión estimada mediante el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) no logra representar satisfactoriamente la relación entre variables, produciendo estimaciones inestables y un modelo matemático que no se ajusta adecuadamente a los datos muestrales, situación descrita por Rodríguez et al., (2022). Por ende, un alto coeficiente de determinación es fundamental para validar la confiabilidad y robustez del modelo en estudios experimentales.

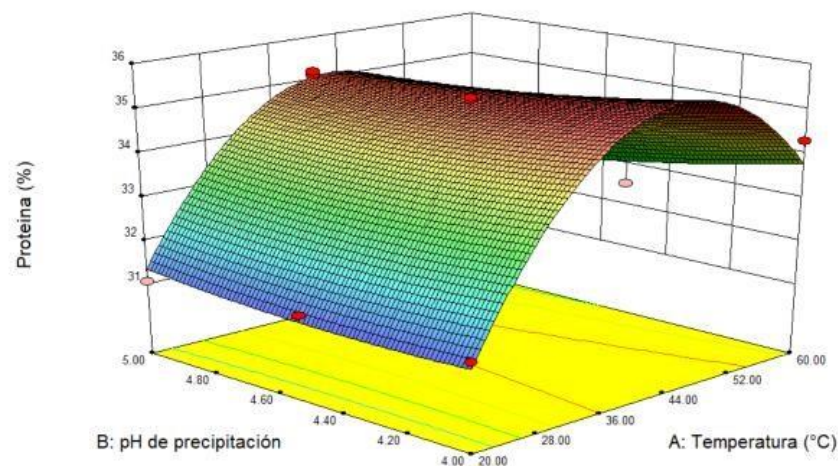
El coeficiente de determinación ajustado (R^2 ajustado) fue de 0,96, este valor se utiliza como una alternativa al R^2 tradicional, ya que presenta menos sesgo al evaluar el ajuste del modelo

matemático. Sin embargo, su interpretación es válida únicamente cuando los factores estudiados tienen una influencia considerable sobre la variable dependiente, es decir, cuando el valor del R^2 es suficientemente alto (Palma, 2022).

El alto valor del estadístico F para la falta de ajuste de 166,99 indica que pocos datos no se ajustan al diseño experimental, lo que aporta confianza a los resultados y confirma que las condiciones establecidas son significativas para la obtención del concentrado proteico. La prueba de falta de ajuste se realiza para evaluar el comportamiento de los resultados y determinar si el modelo matemático puede aplicarse de manera confiable en otros experimentos similares (Jekel et al., 2018).

La figura 20 presenta una gráfica tridimensional de la interacción entre los factores X_T y X_{pH} . En ella se observa que el punto óptimo para la extracción de proteínas de la harina de hojas de yuca se alcanza con temperaturas altas y valores bajos de pH, bajo condiciones controladas. Esta figura 3D refleja los tratamientos experimentales y relaciona los dos factores con la variable respuesta (% proteína). Se identificó que X_T es un factor determinante en el proceso, pues a bajas temperaturas la concentración proteica es mínima. En cambio, el factor X_{pH} mostró poca influencia, ya que las diferencias en los porcentajes de proteína a distintos valores de pH no fueron significativas en comparación con las variaciones observadas al cambiar la temperatura.

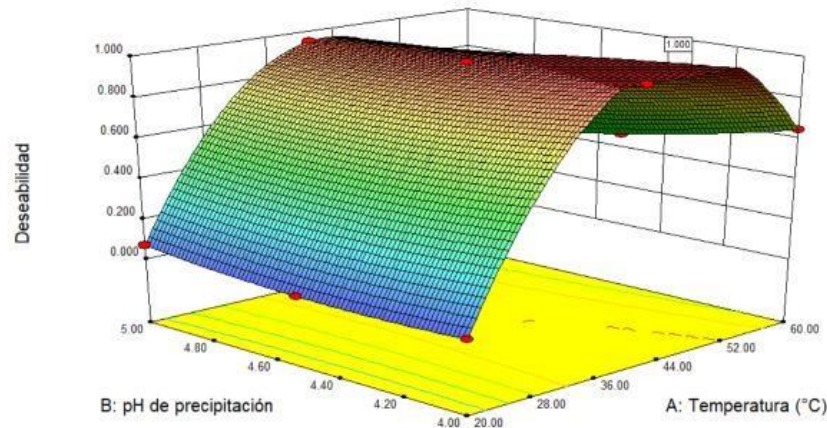
Figura 20.
Gráfica 3D del contenido de proteína.



Fuente: (Mendoza & Rosero., 2025)

La deseabilidad refleja que el diseño experimental propuesto se ajusta adecuadamente a los objetivos planteados, ofreciendo condiciones óptimas para el proceso de extracción de proteínas. De acuerdo con los resultados, se concluye que controlar la temperatura (X_T) en $44\text{ }^\circ\text{C}$ es fundamental para obtener el máximo rendimiento proteico en la elaboración del concentrado. Por otro lado, el pH óptimo (4,3) se sitúa muy cerca del punto isoeléctrico de las proteínas presentes en las hojas de yuca, lo que facilita la precipitación eficiente de las mismas (Serpa et al., 2014). Esta relación entre los factores estudiados y la variable respuesta se visualiza claramente en la figura 21, donde el punto máximo de deseabilidad aparece señalado en el área roja de la gráfica, alcanzando un valor de 1. Este resultado confirma que la temperatura fue el factor más determinante en el proceso, destacando la importancia de un control preciso de X_T para optimizar el proceso de obtención del concentrado proteico.

Figura 21.
Deseabilidad del diseño experimental.



Fuente: (Mendoza & Rosero., 2025)

2.10.4 Análisis físicos y químicos del concentrado proteico de hojas de yuca

Según los resultados presentados en la tabla 12, el contenido de proteína del concentrado en base seca fue del 36,82 %, lo que representa un aumento aproximado del 10 % en comparación con la harina vegetal. Este valor supera el 25 % mínimo establecido por CFR., (2025), para que un

producto pueda ser considerado como concentrado proteico. Este incremento confirma la efectividad del proceso de extracción y precipitación aplicado, al permitir una mayor concentración del contenido proteico al separar otros componentes no deseados. Por otra parte, un aislado proteico se define como un extracto cuya concentración supera el 90 % de proteína. Cabe recalcar que, en la metodología, las variaciones de temperatura cambian el rendimiento en peso, pero disminuye el porcentaje de proteína. Los concentrados de proteína presentan mejores características físicas y químicas que la harina vegetal, pero aún se pueden observar contenidos altos de compuestos no deseables, como los azúcares reductores, que pueden generar la reacción de Maillard y afectar la calidad de la proteína, incidiendo la pérdida de lisina, triptófano y metionina (Vioque et al., 2001).

Tabla 12. *Análisis proximal del concentrado de proteína de hojas de yuca (Manihot esculenta Crantz).*

Parámetro	Resultado (%)
Humedad	5,70
Proteína	36,82
Extracto Etéreo	0,98
Fibra	4,89
Cenizas	2,21
Carbohidratos	97,79

Fuente: (Mendoza & Rosero., 2025)

El valor de proteína bruta alcanzó el 36,82 %, lo que confirma un proceso exitoso de concentración proteica. Cárdenas., (2016), en su estudio con chíá, encontró un valor de proteína del 61,32 % y señaló que concentraciones menores al 90 % no deben considerarse aislados, por lo que este resultado encaja dentro de la categoría de concentrado. Además, el valor es comparable al reportado en concentrados comerciales como el WPC-34, que presenta entre 34 y 38 % de proteína (CFR, 2025), lo que refuerza la validez de esta clasificación para productos vegetales similares.

El contenido de humedad del concentrado proteico fue de 5,7 % (tabla 12), lo que garantiza una buena estabilidad microbiológica, ya que valores por debajo del 10 % inhiben el crecimiento microbiano y prolongan la vida útil del producto (FAO et al., 2022). Este resultado es incluso más bajo que el reportado por Juárez et al., (2022), quienes obtuvieron 7,17 % de humedad en un aislado proteico de semillas de anacahuita. La baja humedad obtenida no sólo valida la calidad del concentrado de hojas de yuca, sino que también lo hace adecuado para su uso en alimentos funcionales o suplementos, tal como lo indica Kutzli et al., (2021), quienes destacan que los

ingredientes proteicos en polvo deben mantener bajo contenido de humedad para conservar su estabilidad y funcionalidad durante el almacenamiento.

En relación con el contenido de extracto etéreo de 0,98 %, el porcentaje es comparable con el de otros concentrados proteicos de origen vegetal, como el concentrado de proteína de arveja, que generalmente contiene entre 1 y 2 % de lípidos. El bajo nivel de lipídico indica que el concentrado presenta un aporte energético mínimo derivado de grasas, lo cual resulta favorable para formulaciones alimenticias dirigidas al control del consumo de estos compuestos. (Li et al., 2019).

La fibra cruda alcanzó el 4,89 %, los valores de fibra pueden variar significativamente según el estado físico de la muestra analizada, ya sea en forma de harina, concentrado o aislado proteico.

En el caso de la soja, por ejemplo, Sobral et al. (2015) reportan rangos de fibra cruda entre 2,7 y 3,8 % en harinas, entre 3,5 y 5 % en concentrados, y entre 0,1 y 0,2 % en aislados. Estas variaciones reflejan el grado de pureza alcanzado en cada etapa del procesamiento, donde la fibra se va reduciendo progresivamente a medida que se eliminan componentes no proteicos durante los procesos de extracción y purificación. La fibra proporciona un beneficio adicional desde el punto de vista nutricional, ya que mejora el tránsito intestinal y puede contribuir a la salud metabólica. Este valor es mayor al contenido típico de fibra en proteínas de origen animal y comparable al de subproductos vegetales ricos en fibra, lo que podría aumentar el valor funcional del concentrado (Slavin., 2013).

El contenido de cenizas del concentrado proteico fue de 2,21 %, reflejando el nivel de minerales presentes en el producto final. Este valor es coherente con el reportado por Mercado et al. (2015), quienes obtuvieron solamente 2 % de cenizas en aislados de Sacha Inchi mediante una metodología similar. En comparación con la harina de hojas de yuca, que presentó un 8,36 %, se evidencia una reducción significativa, atribuida a las condiciones del proceso de extracción y a la deshidratación, donde la temperatura pudo alterar o degradar parte de los micronutrientes (Reinmöller et al., 2023). Aun así, el contenido se mantiene dentro del rango esperado para productos vegetales concentrados (1–5 %), lo que indica una proporción adecuada de minerales como calcio, fósforo, potasio y hierro (FAO et al., 2024). Esto sugiere que, aunque hay una pérdida natural de minerales durante el procesamiento, el concentrado mantiene un perfil mineral aceptable.

Las propiedades funcionales de las proteínas dependen en gran medida de la fuente de obtención, así como de las técnicas empleadas en la extracción y el secado. La extracción alcalina es uno de los métodos más utilizados para la concentración proteica, ya que, según Chandran et al. (2024), el uso de valores elevados de pH (8-10 durante la extracción con NaOH 0,1 N), incrementa la solubilidad de las proteínas y facilita su posterior precipitación a un pH cercano a 4,3. No obstante, en la actualidad se están explorando nuevas tecnologías como la extracción mediante microondas, ultrasonidos y campos eléctricos pulsados, que prometen mejorar no solo el rendimiento proteico, sino también la solubilidad y otras características funcionales. Para lograr un concentrado proteico de alta calidad, resulta fundamental controlar cuidadosamente la temperatura durante la extracción, ya que superar los límites de desnaturalización proteica en el proceso de secado puede causar la desestructuración parcial y la agregación de los grupos proteicos, afectando negativamente sus propiedades funcionales (Chen et al., 2019).

2.10.5 Análisis de aminoácidos en el concentrado proteico de hojas de yuca.

El análisis de aminoácidos realizado mediante Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC) permitió identificar y cuantificar los compuestos presentes en el concentrado proteico. Tal como se detalla en la tabla 13, se identificaron diversos aminoácidos, entre los cuales destacan los esenciales: leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, valina e histidina. Estos aminoácidos son considerados esenciales debido a que el organismo humano no puede sintetizarlos de forma endógena, por lo que su incorporación a través de la dieta resulta indispensable para mantener funciones biológicas clave, como la síntesis proteica, el metabolismo celular y el desarrollo muscular.

Tabla 13. *Aminoácidos presentes en el concentrado proteico de hojas de yuca*

Aminoácidos	Valor (%)
Histidina	0,54
Arginina	3,09
Serina	2,94
Aspártico	2,06
Glutámico	5,06
Lisina	1,06
Glicina	1,5
Cisteina	0,00

Valina	1,89
Alanina-Tirosina	1,89
Prolina	1,24
Metionina	0,91
Fenilalanina	1,86
Treonina	1,22
Isoleucina	1,56
Leucina	2,75
Aminoácidos totales	29,59

Fuente: (Mendoza & Rosero., 2025)

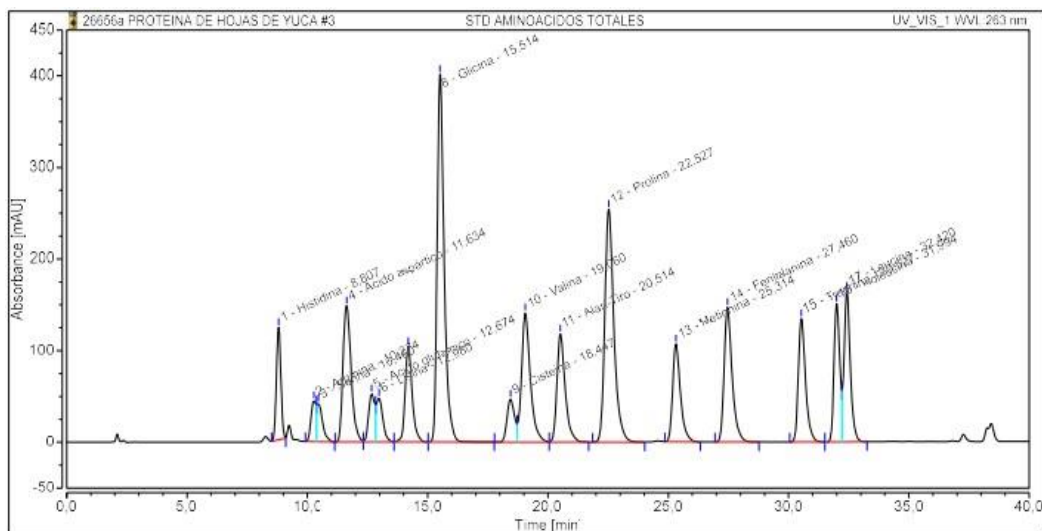
Los niveles de lisina, metionina e histidina se encontraron en proporciones relativamente bajas, entre 0,54 y 1,06 %, lo cual concuerda con el perfil de aminoácidos descrito por Ngudi et al., (2003), donde se reportó un déficit de metionina (0,37–0,67 %) y ausencia de cisteína, En contraste, Castellanos et al. (1994) reportaron una concentración de cisteína del 0,55 % y lisina en proteínas extraídas por ultrafiltración y termocoagulación de 5,05 y 4,90 % respectivamente, es decir que el contenido de aminoácidos también puede variar de acuerdo a los métodos de extracción. Si se compara con González et al., (2018) que reportó un 1,23 % de lisina en el perfil de aminoácidos de hojas de moringa, indica que su presencia puede variar según las condiciones agronómicas y de procesamiento. Cabe señalar que la mayoría de proteínas vegetales presentan al menos un aminoácido limitante, a diferencia de las proteínas animales que tienden a contener un perfil más completo. Quesada y Gómez., (2019) indican que en vegetales como espinaca, lenteja y espárrago los aminoácidos limitantes suelen ser la lisina, metionina, histidina o leucina. Según Ly et al., (2012), en su estudio enfocado en la alimentación porcina con suplementos proteicos derivados de hojas de yuca, se evidenció que deficiencias en lisina y metionina pueden ser corregidas mediante la suplementación directa con dichos aminoácidos, recomendando además incluir fuentes alimenticias con aminoácidos azufrados para prevenir deficiencias nutricionales en animales.

Respecto a los aminoácidos con presencia media, se identificaron serina, arginina, tirosina, alanina, isoleucina y treonina, con un rango entre 1,22 y 3,09 %. En relación al ácido glutámico, el concentrado evaluado alcanzó un valor de 5,06 %, considerablemente menor al reportado por Giraldo et al., (2008), quien indicó un contenido del 10,35 %. En comparación con los datos presentados por Ospina et al (2021), la presencia de ácido glutámico alcanzó un porcentaje de 3,49 siendo de igual manera el aminoácido de mayor abundancia en las hojas de yuca. Aunque no es un

aminoácido esencial, el glutamato actúa como precursor de otros aminoácidos como la prolina y la arginina, y cumple funciones claves en el sistema nervioso como neurotransmisor, participando en procesos de percepción, memoria y aprendizaje. Además, según Ngudi et al., (2003), este compuesto ha sido reconocido como un potenciador natural del sabor, asociado al umami, lo que abre la posibilidad de su aprovechamiento en formulaciones alimenticias enriquecidas, especialmente cuando se complementa con otros aminoácidos esenciales como la metionina. Desde el punto de vista vegetal, el ácido glutámico tiene un rol importante en la estructura de las proteínas y facilita el metabolismo del nitrógeno (Albarracín et al., 2016).

Figura 22.

Cromatograma del perfil de aminoácidos del concentrado proteico



Fuente: (Mendoza & Rosero., 2025)

El análisis de aminoácidos realizado al concentrado proteico arrojó un contenido del 29,59 % de aminoácidos totales. En cuanto a los aminoácidos de cadena ramificada (BCAA: isoleucina, leucina y valina), se obtuvieron niveles de 1,56; 2,75 y 1,89 % respectivamente, representando en conjunto alrededor del 6 % del perfil total de aminoácidos del concentrado. Comparativamente, Castellanos (1994) reportó niveles más altos de isoleucina y valina de 3,90 y 4,98 % respectivamente, lo que evidencia que el perfil aminoacídico puede verse afectado por factores como la variedad, edad fisiológica de la planta, clima y condiciones del suelo. La proporción de los aminoácidos esenciales sugiere un posible uso del producto como suplemento nutricional para deportistas, dado que los BCAA desempeñan un papel fundamental en la recuperación muscular, la disminución de la fatiga y la preservación del tejido muscular, formando parte del 14–18 % del músculo esquelético (Soriano, 2019); (Guerra & Pozo, 2018).

De acuerdo con el cromatograma de la figura 22 la presencia de glicina en el concentrado proteico refleja una mayor concentración con relación a la absorbancia, este es un aminoácido no esencial y metabólicamente inerte que se caracteriza por servir como un sustrato para sintetizar moléculas de interés biológico, las acciones de la glicina son ejercidas gracias a la unión con varios receptores como GlyR, que permite la síntesis de proteínas, además que este aminoácido posee propiedades antiinflamatorias e inmunomoduladoras (Pérez et al., 2016). La prolina por su parte incrementa la producción del colágeno y evita la disminución del mismo, lo que protege a las células de la piel del envejecimiento prematuro; de igual manera repara y fortalece articulaciones y tendones cardiacos (Gutierrez, 2011).

3. IMPACTOS DEL PROYECTO

3.1 Sociales

La creación de un concentrado proteico a partir de la hoja de yuca puede suponer una alternativa viable para combatir los problemas de desnutrición en las comunidades que se dedican a la siembra y cosecha de la yuca, así como también mejorar la calidad de vida mediante la obtención de más ingresos por su actividad agrícola al cosechar y vender la hoja de la yuca.

3.2 Económicas

El aprovechamiento de las hojas de la yuca es una gran oportunidad de obtener ingresos a partir de esta materia prima ignorada y desperdiciada, se ha demostrado que anualmente se pueden obtener más de 6 toneladas de proteína pura a partir de las hojas por cada hectárea de yuca cosechada. Implementar una industria que procese la hoja de la yuca para la generación de concentrados proteicos podría significar una gran cantidad de ingresos económicos para las empresas y los agricultores.

3.3 Ambientales

El concentrado proteico de las hojas de yuca al representar una alternativa para la alimentación animal y humana puede ayudar a combatir la sobreproducción de cultivos utilizados para producir alimentos balanceados como son trigo y maíz, contribuyendo a diversificar los cultivos destinados a esta actividad y mejorando el impacto negativo en el medio ambiente por los grandes monocultivos. Las hojas de yuca pueden considerarse como un desperdicio de la industria que

exige control y recursos, por lo tanto, el utilizarla para nueva línea de procesamiento puede ayudar a mitigar el efecto de su descomposición en el suelo y el ambiente.

4 RECURSOS Y PRESUPUESTO

Para la ejecución del proyecto planteado se estima necesitar los recursos mencionados en la tabla 14.

Tabla 14. *Recursos utilizados para desarrollar el proyecto.*

RECURSOS	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Costos de materia prima				
Hojas de yuca	5 kg	Kg	2,5	12,5
Subtotal				12,5
Costos de materiales				
Hielo	3	fundas	1	3
Hielera	1	envase	15	15
Instrumental de laboratorio	2	matraces	10	20
Subtotal				38
Costos de movilización				
Transporte	30	viaje	2	60
Alimentación	50	almuerzo	3	150
Subtotal				210
Otros gastos				
Impresiones	640	hojas	0.10	64
Copias	100	hojas	0.05	5
Anillado	8	documentos	10	80

Subtotal				149
Costos de análisis fisicoquímicos				
Proteína en base seca	16	análisis	15	240
Subtotal				240
Costos de análisis nutricional al mejor tratamiento				
Proximal completo	2	análisis	45	90
Presencia de grupos funcionales cianogénicos	1	análisis	60	60
Perfil de aminoácidos	1	análisis	230	230
Subtotal				480
TOTAL				1129,5

Fuente: (Mendoza & Rosero., 2025).

5 CONCLUSIONES

- En el análisis proximal de la harina de hojas de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) la proteína resalta como uno de los componentes más relevantes, con un valor de 24,77 %, lo que posiciona a esta harina como una fuente proteica vegetal prometedora. Además, el análisis mostró los siguientes resultados: humedad 6,79 %; materia seca 93,21 %; proteína 24,77 %; extracto etéreo 4,14 %; fibra cruda 15,02 %; cenizas 8,36 %; materia orgánica 91,64 %; y, carbohidratos 40,92 %. Estos hallazgos refuerzan la necesidad de valorar materias primas no convencionales en la búsqueda de soluciones sostenibles frente a la creciente demanda mundial de proteínas de origen vegetal.
- Se identificó la presencia de glucósidos cianogénicos en la materia foliar con un valor de 53,48 mg/kg, lo que indica la necesidad de aplicar procedimientos adecuados para eliminar o reducir

estos compuestos anti-nutricionales antes de su incorporación en la dieta humana. La exposición a altas temperaturas durante el proceso de secado estimula la acción de la enzima linamarasa, encargada de la degradación de la linamarina, uno de los compuestos derivados del cianuro con mayor presencia en el cultivo. Aunque este nivel de glucósidos cianogénicos puede ser tóxico para los seres humanos, es posible su utilización en la alimentación animal, especialmente en animales rumiantes que tienen la capacidad de detoxificar estos compuestos de manera natural.

- Se determinó que las condiciones óptimas para obtener un mayor rendimiento proteico fueron $X_T = 40^\circ\text{C}$ y $X_{pH} = 4,5$. Bajo estos parámetros, el proceso de extracción alcalina seguido de precipitación isoeléctrica permitió obtener un concentrado proteico de calidad, con un contenido de proteína del 36,82 %, superando en más de 10 % el valor registrado en la harina de hojas de yuca. Los resultados confirman la eficiencia del método aplicado para la valorización de subproductos vegetales como fuente alternativa de proteína.
- El concentrado proteico reflejó en su composición el 36,82 % de proteína, por lo tanto, cumple los parámetros establecidos por normas internacionales para definir el producto como un concentrado y no como aislado de proteínas. En adición se obtuvieron los siguientes resultados: humedad 5,7 %; extracto etéreo 0,98 %; fibra 4,89 %; cenizas 2,21 % y carbohidratos 97,79 %. Este estudio no solamente resalta la viabilidad de las hojas de yuca como una fuente alternativa de proteínas vegetales, sino también la necesidad de desarrollar procedimientos tecnológicos que permitan su aprovechamiento seguro y eficiente en la industria alimentaria.
- Los aminoácidos que contienen las proteínas de hojas de yuca alcanzaron un total de 29,59 % lo cual, valida sus propiedades nutrimentales para su posible aplicación en la alimentación animal y humana, con aporte de ciertos aminoácidos esenciales como: histamina 0,54 %; valina 1,89 %; lisina 1,06 %; metionina 0,91 %; fenilalanina 1,86 %; treonina 1,22 % y ausencia de cisteína, lo que lo coloca como el aminoácido limitante conjunto con la lisina y metionina que presentaron bajos porcentajes. La presencia de aminoácidos no esenciales como: el ácido glutámico 5,06 %; arginina 3,09 % y serina 2,94 %. Estos datos sugieren que, aunque la calidad proteica es media, puede aprovecharse en dietas para deportistas, siempre que se complemente con otras fuentes ricas en los aminoácidos deficitarios (metionina y lisina), como los productos cárnicos.

6 RECOMENDACIONES

- Se recomienda estandarizar el proceso de obtención del concentrado proteico a partir de hojas de *Manihot esculenta Crantz* bajo condiciones controladas de extracción alcalina ($X_T = 40\text{ }^\circ\text{C}$) y precipitación isoeléctrica ($X_{pH} = 4,5$), parámetros que permitieron alcanzar una concentración proteica máxima del 36,82 %. La optimización de estas variables debe considerarse como punto crítico de control en futuras aplicaciones industriales.
- Para garantizar la inocuidad del concentrado proteico, se sugiere implementar tratamientos previos de desintoxicación de la materia prima foliar, como el escaldado térmico y secado controlado, con el objetivo de reducir la concentración de glucósidos cianogénicos por debajo de los límites establecidos para su consumo. Se propone realizar estudios de escalamiento industrial del proceso a nivel piloto, considerando análisis técnico-económico, eficiencia energética, tiempos de residencia y diseño de equipos adecuados para la separación y recuperación de biomoléculas con alto valor agregado.
- Se recomienda profundizar en la caracterización estructural y funcional del concentrado obtenido, especialmente mediante la determinación del perfil completo de aminoácidos, propiedades reológicas y bioactividad, con el fin de evaluar su aplicación en matrices alimentarias, suplementos proteicos o formulaciones nutraceuticas. Con base en los datos obtenidos, se aconseja diseñar protocolos de calidad para el control del contenido de humedad, fibra y proteína en la harina de hojas de yuca, lo cual permitirá estandarizar la materia prima en futuras investigaciones y procesos de transformación agroindustrial.
- Se plantea la incorporación de modelos estadísticos más robustos y la inclusión de variables adicionales (tiempo de extracción, concentración de NaOH, velocidad de centrifugación) en el diseño experimental, lo cual permitiría un mayor grado de predicción y mejora en la reproducibilidad del proceso.
- Se recomienda promover políticas públicas e incentivos para el aprovechamiento de residuos agrícolas con potencial nutricional, como las hojas de yuca, articulando esfuerzos entre universidades, empresas agroindustriales y gobiernos locales para el desarrollo de productos funcionales y sostenibles.

7 BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, E. (2017). *Manual del cultivo de Yuca (Manihot esculenta Crantz)*. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA).
<https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/f01-10918.pdf>
- Albarracín, S., Baldeón, M., Sangronis, E., Cucufate, A., & Reyes, F. (2016). *L-Glutamato: un aminoácido clave para las funciones sensoriales y metabólicas*. ARCHIVOS LATINOAMERICANOS DE NUTRICIÓN. 66 (2).
<https://ve.scielo.org/pdf/alan/v66n2/art02.pdf>
- Anchundia, M. Á., Perez, E., & Torres, F. (2019). *Composición química, perfil de aminoácidos y contenido de vitaminas de harinas de batata tratadas térmicamente*. 46(2), 137–143.
<http://dx.doi.org/10.4067/s0717-75182019000200137>
- Ayala, A. (2018). *Investigación Bibliográfica: Definición, Tipos, Técnicas*.
https://ucrindex.ucr.ac.cr/wp-content/uploads/docs/panama_mar2010_redaccion_p3.pdf
- Ayele, H. H., Latif, S., & Müller, J. (2021). Influence of Temperature and Screw Pressing on the Quality of Cassava Leaf Fractions. *Agriculture*, 12(1), 42.
<https://doi.org/10.3390/agriculture12010042>
- Ayele, H. H., Latif, S., & Müller, J. (2022). Pretreatment of the Leaves of Ethiopian Cassava (*Manihot esculenta Crantz*) Varieties: Effect of Blanching on the Quality of Dried Cassava Leaves. *Applied Sciences*, 12(21), 11231. <https://doi.org/10.3390/app122111231>
- Beecham, P., Sukhna, R., Zalguero-Rubio, Z., Menéndez-Álvarez, E., & Rodríguez-Alfonso, D. (2023). La yuca (*Manihot esculenta Crantz*), alimento base de pobladores en Guyana. *Revista de Investigaciones de la Universidad Le Cordon Bleu*, 10(1), 05–15.
<https://doi.org/10.36955/RIULCB.2023v10n1.001>
- Blanquiceth, Y., Pérez Salgado, K., Tavera-Quiroz, M. J., & Salcedo Mendoza, J. G. (2025). Caracterización de harinas derivadas de la parte aérea de dos variedades de yuca y su potencial aprovechamiento en alimentación animal. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 26(1). https://doi.org/10.21930/rcta.vol26_num1_art:3608
- Bonino, J., Cagnassi, L., Giudicci, A., Ibarra, J., Oriolani, P., Vidal, A., Molina, M., Flore, A., López, D., Montellano, N., Galante, M., Spelzini, D., Boeris, V. (2016). *Caracterización fisicoquímica de aislados de proteínas vegetales*. 14 (14).

<https://repositorio.uca.edu.ar/bitstream/123456789/5739/1/caracterizacion-aisladosproteinas-vegetales.pdf>

- Borku, A. W. (2025). Cassava (*Manihot esculenta Crantz*): Its nutritional composition insights for future research and development in Ethiopia. *Discover Sustainability*, 6(1), 404.
<https://doi.org/10.1007/s43621-025-00996-2>
- Buitrago, J. (1990). *La yuca en la alimentación animal*. Centro Integral de Agricultura Tropical (CIAT). <https://cgspace.cgiar.org/server/api/core/bitstreams/75967463-9964-428d-9c74-1402160b7516/content>
- Canales, N., & Trujillo, M. (2021). *La red de valor de la yuca y su potencial en la bioeconomía*. Stockholm Enviroment Institute. <https://www.sei.org/wp-content/uploads/2021/05/workingpaperycubioeconomia-canalestrujillo-mayo21.pdf>
- Cárdenas, M. (2016). *Obtención de aislados proteicos de chíá (Salvia hispánica L.) y evaluación in vitro de su digestibilidad gastrointestinal, actividad antiinflamatoria y antioxidante*. Universidad Técnica de Ambato.
<https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/9dacb490-11ad-4be6-8999-0334d3a988bd/content>
- Castellanos, R., Altamirano, S. B., & Moretti, R. H. (1994). Nutritional characteristics of Cassava (*Manihot esculenta Crantz*) leaf protein concentrates obtained by ultrafiltration and acidic thermocoagulation. *Plant Foods for Human Nutrition*, 45(4), 357–363.
<https://doi.org/10.1007/BF01088085>
- CFR. (2025). *21 CFR 184.1979c: Whey protein concentrate*. Food and drug Administration, Department of Health and Human Services. [://www.ecfr.gov/current/title-21/chapter-I/subchapter-B/part](https://www.ecfr.gov/current/title-21/chapter-I/subchapter-B/part)
- Chandran, A., Kashyap, P & Thakur, M. (2024). *Effect of extraction methods on functional properties of plant proteins: A review*. *eFood* 5 (3). 10.1002/efd2.151
- Chen, M., Lu, J., Liu, F., Nsor, J., Xu, F., Goff, H., Ma, J. & Zhong, F. (2019). *Study on the emulsifying stability and interfacial adsorption of pea proteins*. *Food Hydrocolloids*. 88. 10.1016/j.foodhyd.2018.09.003
- CODEX. (1995). NORMA DEL CODEX PARA LA HARINA DE TRIGO.
https://www.fao.org/input/download/standards/50/CXS_152s.pdf

- CODEX. (2025). NORMA GENERAL PARA LOS CONTAMINANTES Y LAS TOXINAS PRESENTES EN LOS ALIMENTOS Y PIENSOS. www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/es/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B193-1995%252FCXS_193s
- CODEX. (2025). Métodos Oficiales del Codex Alimentarius para Análisis Proximal y Constituyentes Nutricionales para Alimentos y Bebidas. CCMAS. <https://www.nutricion.edu.uy/wp-content/uploads/2022/08/CCMAS-2021-Metodosconstituyentes-nutricionales.pdf>
- Coila, G. S. (2020). *Aporte de aminoácidos esenciales en mezclas alimenticias de origen vegetal por métodos computacionales* [Trabajo de Investigación, Universidad Peruana Unión]. <https://core.ac.uk/download/pdf/478795135.pdf>
- Espitia, A., Pérez, S., Támara, R., Araújo, H., García, J., Rosero, E., Regino, S., Luna, L., García, J., Martínez, R., & De la Ossa, V. (2022). *Manual de manejo de yuca industrial en el Caribe colombiano*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://editorial.agrosavia.co/index.php/publicaciones/catalog/view/305/286/1761-1>
- FAO. (2013). *Ahorrar para crecer: La yuca, guía de la intensificación sostenible de su producción*.
- FAO, FIDA, OPS, PMA, & UNICEF. (2022). *América Latina y el Caribe. Panorama regional de la seguridad alimentaria y nutricional*. FAO. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/b54c7a49-5ac3-4f1f-8baa-94dcd6ad2b60/content>
- FAO, FIDA, WHO, WFP, & UNICEF. (2024). *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2024*. FAO; IFAD; WHO; WFP; UNICEF; <https://doi.org/10.4060/cd1254es>
- Forkum, A., Wung, A., Kelese, M., Ndum, C., Lontum, A., Kamga, E., Nsaikila, M. & Okwen, P. (2025). Safety of cassava and cassava-based products: a systematic review. *Front. Sustain. Food Syst.* 9. 10.3389/fsufs.2025.1497609

- Fundación CRISFE. (2022). *Reporte de Nutrición 2022: La Desnutrición crónica infantil en el Ecuador*. <https://consejoconsultivodci.com.ec/wp-content/uploads/2023/08/CRISFEfinal-WEB.pdf>
- Gabriel, J., Castro, C., Valverde, A., & Indacochea, B. (2017). *Diseños experimentales: Teoría y práctica para experimentos agropecuarios*. Grupo COMPAS. <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/2064/1/Dise%C3%B1o%20Experimentales.pdf>
- Giraldo, A. (2006). *Estudio de la obtención de harina de hojas de yuca (Manihot esculenta Crantz) para consumo humano* [Universidad del Cauca]. <https://cgspace.cgiar.org/server/api/core/bitstreams/8ef406ec-05e2-46a3-920d-90afd971c38b/content>
- Giraldo, A., Velasco, R. J., & Villada, H. S. (2008). Digestibilidad Aparente de una Harina Proveniente de Hojas de Yuca (*Manihot esculenta Crantz*). *Información tecnológica*, 19(1). <https://doi.org/10.4067/S0718-07642008000100003>
- Gómez, N. (2022). *Nuevos ingredientes alimentarios para el desarrollo e innovación de alimentos dentro de una producción sostenible*. Universidad Miguel Hernández de Elche. <https://dspace.umh.es/bitstream/11000/28909/1/TFM%20%20G%c3%b3mez%20Moreno%2c%20Noelia.pdf>
- Gualotuña, A., & Quindil, M. (2024). *Obtención de un aislado proteico de la harina de dos variedades de haba (vicia faba): Haba sultana y haba peruana mediante las fases de extracción alcalina y precipitación isoeléctrica*. [Universidad Técnica de Cotopaxi]. <https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/e09dcbec-63ad-4156-a7f5-880f5e86a28b/content>
- Guerra, D. & Pozo, P. (2018). *Análisis proximal y perfil de aminoácidos del aislado proteico del chocho andino ecuatoriano (Fabaceae: Lupinus mutabilis)*. *infoANALÍTICA*. 6 (1). 10.26807/ia.v6i1.53
- Guevara, G. P., Verdesoto, A. E., & Castro Molina, N. E. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *RECIMUNDO*, 4(3), 163–173. [https://doi.org/10.26820/recimundo/4.\(3\).julio.2020.163173](https://doi.org/10.26820/recimundo/4.(3).julio.2020.163173)
- Gutierrez, K. (2011). *Síntesis de L-Prolina-KCL y caracterización de sus propiedades ópticas no*

lineales. Universidad de Sonora.

<http://www.repositorioinstitucional.uson.mx/handle/20.500.12984/7604?mode=full>

Herrera, M., Solís, T., Godoy, V., & Benitez, M. (2019). Meal of cassava (*Manihot esculenta Crantz*) leaves in diets for naked neck broilers (Gen Nana) Harina de hojas de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) en dieta para pollos cuello desnudo (Gen Nana). *Cuban Journal of Agricultural Science*, 53(1). <http://scielo.sld.cu/pdf/cjas/v53n1/2079-3480-cjas-53-01-59.pdf>

Hinostroza, F., Mendoza García, M., Navarrete Párraga, M., & Muñoz Conforme, X. (2014). *Cultivo de yuca en el Ecuador*. INIAP.

<https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5214/1/INIAPEEPbd436.pdf>

Idris, S., Shamsudin, R., Mohd Nor, M. Z., Mokhtar, M. N., & Abd Gani, S. S. (2023).

Hydrocyanic Acid, Protein Concentration, and Phytochemical Compounds of Pulut and White Varieties in Young and Matured Cassava (*Manihot esculenta Crantz*). *Pertanika Journal of Science and Technology*, 32(1), 67–77. <https://doi.org/10.47836/pjst.32.1.04>

Idris, S., Shamsudin, R., Nor, M. Z. M., Mokhtar, M. N., & Abdul Gani, S. S. (2020).

Physicochemical composition of different parts of cassava (*Manihot esculenta Crantz*) plant. *Food Research*, 4(S1), 78–84. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.4\(S1\).S33](https://doi.org/10.26656/fr.2017.4(S1).S33) INEN. (1980). *INEN 523: Harinas de origen vegetal determinación de grasa*.

https://www.academia.edu/9247401/Grasa_en_harina_soxhlet INEN.

(2015). *INEN 616: HARINA DE TRIGO. REQUISITOS*.

https://moodle.unach.edu.ec/pluginfile.php/4587423/mod_resource/content/1/nte-inen-616-4.pdf

INEN. (2018). *INEN 519: Harinas de origen vegetal. Determinación de la proteína*

<https://es.scribd.com/document/259194225/INEN-519>

Inga, K. (2020). *Determinación del perfil lipídico de la yuca en sus diferentes cortes y su caracterización térmica* [Universidad del Azuay].

<https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/9671/1/15302.pdf>

Jekel, C., Hafkta, R., Venter G. & Venter, M. (2018). *Lack-of-fit Tests to Indicate Material Model Improvement or Experimental Data Noise Reduction*. 2018 AIAA Non-Deterministic Approaches Conference. 10.2514/6.2018-1664

- Juárez, J., González, L., Núñez, D., Teniente, G., Medina, H. & Bernardino, A. (2022). *Parámetros de obtención de un aislado proteínico a partir de la semilla de anacahuita y evaluación de sus propiedades antioxidantes y antihipertensivas*. *Acta Universitaria*. 32. 10.15174/au.2022.3160
- Kutzli, I., Weiss, J., & Gibis, M. (2021). Glycation of Plant Proteins Via Maillard Reaction: Reaction Chemistry, Technofunctional Properties, and Potential Food Application. *Foods*, 10(2), 376. <https://doi.org/10.3390/foods10020376>
- Ly, N., Ngoan, L., Verstegen, M. & Hendriks, W. (2012). *Pig performance increases with the addition of dl-methionine and l-lysine to ensiled cassava leaf protein diets*. *Tropical Animal Health and Production*. 44 (1). 165-172. 10.1007/s11250-011-9904-3
- Mercado, J., Elías, C. & Pascual, G. (2015). *OBTENCIÓN DE UN AISLADO PROTEICO DE TORTA DE SACHA INCHI (Plukenetia volubilis L.) Y EVALUACIÓN DE SUS PROPIEDADES TECNO-FUNCIONALES*. *Anales Científicos*. 76 (1). 10.21704/ac.v76i1.777
- Monroy, I., Castañeda, A., Contreras, E., & Jaimez, J. (2024). *Proteínas vegetales: La clave para la alimentación basada en plantas*. 6(12), 8–11. <https://doi.org/10.29057/prepa1.v6i12.11788>
- Morgan, N. K., & Choct, M. (2016). Cassava: Nutrient composition and nutritive value in poultry diets. *Animal Nutrition*, 2(4), 253–261. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2016.08.010>
- Muñoz, X., Hinojosa, F., & Mendoza, M. (2017). *La yuca en el Ecuador: Su origen y diversidad genética* (INIAP). https://www.uagraria.edu.ec/publicaciones/revistas_cientificas/16/058-2017.pdf
- Ndubuisi, H., & Chidiebere, A. (2018). *Cyanide in Cassava: A Review*. *International Journal of Genomics and Data Mining*. 3 (1). 10.29011/2577-0616.000118
- Ngudi, D., Kuo, Y. & Lambien, F. (2003). *Amino acid profiles and protein quality of cooked cassava leaves or 'saka-saka'*. *Journal of the Science of Food and Agriculture* . 83 (6). 529-534. 10.1002/jsfa.1373
- Ospina, M., Pizarro, M., Tran, T., Ricci, J., Belalcazar, J., Luna, J., Lodoño, L., Salazar, S., Ceballos, H., Duofor, D. & Becerra, L. (2021). *Cyanogenic, carotenoids and protein composition in leaves and roots across seven diverse population found in the world cassava germplasm collection at CIAT, Colombia*. *International Journal of Food Science*

- & Technology. 56 (3). 1343-1353. 10.1111/ijfs.14888
- Palma, R. (2022). *Análisis crítico del coeficiente de determinación (R²), como indicador de la calidad de modelos lineales y no lineales*. Matemática. 20 (2).
<http://www.revistas.espol.edu.ec/index.php/matematica/article/view/1037>
- Pereira, L., Itavo, L., Mateus, R., Leal, E., Abreu, U., Nogueira, E., Ferreira, M., & Carvalho, C. (2017). *Aerial parts of cassava as partial replacement for feed concentrates in the diet of lambs raised in semi-confinement*. Semina: Ciências Agrárias. 38 (2). 10.5433/1679-0359.2017v38n2p943
- Pérez, I., Zuniga, A. & Guarner, V. (2016). *Beneficial Effects of the Amino Acid Glycine*. Mini-Reviews in Medicinal Chemistry. 17 (1). 15-32. 10.2174/1389557516666160609081602
- Pillco, C., Guzmán, D., & Cuéllar, B. (2021). *COMPOSICIÓN FÍSICO QUÍMICA Y ANÁLISIS PROXIMAL DEL FRUTO DE SOFAIQUE “Geoffroea decorticans (Hook. et Arn.)” PROCEDENTE DE LA REGIÓN ICA-PERÚ*. Revista de la Sociedad Química del Perú. 87 (1). 10.37761/rsqp.v87i1.319
- Quesada, D. & Gómez, G. (2019). *¿Proteínas de origen vegetal o de origen animal?: Una mirada y su impacto sobre la salud y el medio ambiente*. Departamento de Bioquímica. 2 (1). 79-86.
<https://revistanutricionclinicametabolismo.org/index.php/nutricionclinicametabolismo/article/view/rncm.v2n1.063/187>
- Ramírez, S., Miranda, B., & Rodríguez Claudia. (2021). *Purificación de las proteínas*. 45, 35–47.
- Reinmöller, M., Schereiner, M., Laabs, M., Scharm, C., Yao, Z., Guhl, S., Neuroth, M., Meyer, B. & Gräbner, M. (2023). *Formation and transformation of mineral phases in biomass ashes and evaluation of the feedstocks for application in high-temperature processes*. Renewable Energy. 210. 627-639. 10.1016/j.renene.2023.04.072
- Rivadeneira, E., Rodríguez, J. F., & Monserrat, L. (2017). *Toxicidad de la yuca Manihot esculenta Crantz*. Académica Española. https://www.uv.mx/qfb/files/2020/10/2017-L-Toxicidad-de-la-yuca_Eduardo-Rivadeneira-Dominguez.pdf
- Rodríguez, A., Salmerón, R. & García, C. (2022). *The coefficient of determination in the ridge regression*. Communications in Statistics - Simulation and Computation. 51 (1). 201-219. 10.1080/03610918.2019.1649421
- Romero, S., Fernández, D., & Costas, M. (2018). *Estabilidad termodinámica de proteínas*.

- Educación Química. 29 (3). 10.22201/fq.18708404e.2018.3.64699
- Rubio, M. T. M., Prieto, D. A. R., Noguera, A. M. F., Fernández, S. J. V., Aiello-Mazzarri, C., & de Jesús Ferrer Ocando, A. (2024). Leaf protein recovery from cassava leaves pretreated with pressurization and depressurization with ammonia (PDA) technology. En *The Cassava Crop: Cultiv., Potential Uses, and Food Secur.* (pp. 217–285). Nova Science Publishers, Inc.; Scopus. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85199830119&partnerID=40&md5=87e34556607260202f0f00b5a7e216b9>
- Salles, M., Bonilha, S., Feltran, J., Valle, T. & Kanthack, R. (2016). *CHARACTERIZATION OF CASSAVA (MANIHOT SCULENTA CRANTZ) AERIAL PARTS FOR RUMINANT FEEDING*. ARS VETERINARIA. 32 (1). 42-54.
<https://arsveterinaria.org.br/index.php/ars/article/view/1030/1077sa>
- Santamaría, M., & Lübeck, M. (2020). Production of leaf protein concentrates in green biorefineries as alternative feed for monogastric animals. *Animal Feed Science and Technology*, 268, 114605. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114605>
- Serpa, A., Hincapié Llano, G., & Álvarez López, C. (2014). Determinación del punto isoeléctrico de las proteínas presentes en cuatro fuentes foliares: Yuca (*Manihot esculenta Crantz*) variedades verónica y tai, jatropha (*Jatropha curcas L.*) y gmelina (*Gmelina arborea*). *Prospectiva*, 12(1), 30. <https://doi.org/10.15665/rp.v12i1.148>
- Slavin, J. (2013). *Fiber and Prebiotics: Mechanisms and Health Benefits*. *Nutrients*. 5(4). 1417-1435. 10.3390/nu5041417
- Sobral, P., Wagner, J. & Añón, M. (2015). *Suero de Soja y sus proteínas aisladas. Estudio de propiedades térmicas, superficiales y crioprotección*. Universidad Nacional de la Plata. 266. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/47001>
- Soriano, C. (2019). “*CARACTERIZACION FISICOQUIMICA Y DETERMINACION DEL PERFIL DE AMINOACIDOS ESENCIALES DEL KICHAU QUINUA (Chenopodium Quinoa Willd) PROCEDENTE DEL DISTRITO DE ACOBAMBA*”. UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCABELICA. 61.
<https://apirepositorio.unh.edu.pe/server/api/core/bitstreams/31191e29-3593-4ff2-88c7bea32dfd5537/content>

- Suarez, L. M., Salcedo, J. G., & Zapata, J. E. (2022). Actividad biológica de hidrolizados de hoja de yuca variedad venezolana obtenidos con diferentes enzimas microbianas. *Información tecnológica*, 33(2), 77–88. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642022000200077>
- Tapia, I., Taco, D., & Taco, V. (2016). Aislamiento de proteínas de quinua ecuatoriana (*Chenopodium quinoa Willd*) variedad INIAP Tunkahuan con remoción de compuestos fenólicos, para uso potencial en la nutrición y salud humanas. 41(1), 71–80.
- Torres, E., Aleaga-Álvarez, Y., Hermosilla-Espinosa, R., & Ramos-Escalona, M. (2022). Determinación de cianuro en harina y almidón de yuca (*Manihot esculenta*) de la variedad censa 64-7329. 34(3), 462–476.
- Vioque, J., Sánchez-Vioque, R., & Pedroche, J. (2001). Obtención y aplicaciones de concentrados y aislados protéicos. *Instituto de la Grasa*, 52(2), 127–131.
- Zea, J. P., Zea Pizarro, W. J., Vaccaro Macías, V. I., & Avalos Moreno, E. (2017). Los Aminoácidos en el cuerpo humano. 1(5), 379–391. <https://doi.org/10.26820/recimundo/1.5.2017.379-391>