

UNIVERSIDAD TÉCNICA NACIONAL  
Sede de Atenas

Carrera de Ingeniería en Tecnología de Alimentos

EVALUACIÓN EXPLORATORIA DEL APROVECHAMIENTO DE LAS HOJAS  
DE YUCA (*Manihot esculenta* Crantz) PARA LA OBTENCIÓN DE PROTEÍNA  
VEGETAL

Trabajo final de graduación para optar por el grado de  
LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

ANA CRISTINA ARAYA MONTENEGRO

YESLIN MAGDALENA CUBILLO SOLIS

RAÚL GONZÁLEZ RODRÍGUEZ

ESTRELLA FABIOLA MESÉN NAVARRO

ARLYN MONTERO CERDAS

Atenas, Costa Rica

2023

## DECLARACIÓN JURADA

Yo, Ana Cristina Araya Montenegro, portadora de la cédula de identidad número 1-1529-0210; Yeslin Magdalena Cubillo Solís, portadora de la cédula de identidad número 7-0272-0183; Raúl González Rodríguez, portador de la cédula de identidad número 2-0787-0621; Estrella Fabiola Mesén Navarro, portadora de la cédula de identidad número 3-0498-0954; y Arlyn Montero Cerdas, portadora de la cédula de identidad número 7-0266-0594, estudiantes de la Universidad Técnica Nacional, UTN, en la carrera de Ingeniería en Tecnología de Alimentos, concedore (s) de las sanciones legales con que la Ley Penal de la República de Costa Rica castiga el falso testimonio y el delito de perjurio que pueda ocasionarse ante el (la) Director (a) de Carrera y quienes constituyen el Tribunal Examinador de este trabajo de investigación, juramos solemnemente que este trabajo de investigación es una obra original, el cual respeta las leyes, y que ha sido elaborado siguiendo las disposiciones exigidas por la Universidad Técnica Nacional, UTN, así como con los derechos de autor.

En fe de lo anterior, firmamos en la ciudad de Atenas, a los 23 días del mes de noviembre del 2023.

*Ana C.*

\_\_\_\_\_  
Ana Cristina Araya Montenegro  
1-1529-0210

*Raúl*

\_\_\_\_\_  
Raúl González Rodríguez  
2-0787-0621

*Yeslin C.s*

\_\_\_\_\_  
Yeslin Magdalena Cubillo Solís  
7-0272-0183

*Estrella*

\_\_\_\_\_  
Estrella Fabiola Mesén Navarro  
3-0498-0954

*Arlyn*

\_\_\_\_\_  
Arlyn Montero Cerdas  
7-0266-0594

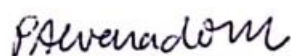
## HOJA DE APROBACIÓN

Este Trabajo Final de Graduación fue aprobado por el Tribunal Evaluador como requisito parcial para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería en Tecnología de Alimentos.



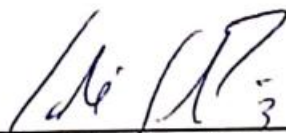
---

Ana María Bárcenas Parra  
Directora de Carrera



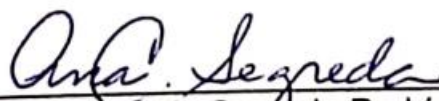
---

Priscilla Alvarado Marengo  
Tutora del TFG



---

Carlos Esteban Solera Ramírez  
Lector TFG



---

Ana Cécilia Segreda Rodríguez  
Lectora TFG

## DEDICATORIA

Le dedico este trabajo a mis padres, quienes siempre estuvieron presentes como una fuente de apoyo, ánimo, valor y esfuerzo.

Ana Cristina Araya Montenegro

Dedico mi tesis a Dios, por haberme permitido el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación académica. A mi familia, por ser un pilar importante en mi vida; principalmente a mi madre y abuela, por siempre motivarme a continuar con mis metas. También a mis gatos, Candy y Bruno, mis perros, Puppy, Dukesa, y Doki, por acompañarme en muchas noches de estudio y ser un apoyo emocional para mí. A mi pareja actual, por impulsarme a mejorar cada día y por compartir momentos significativos conmigo. Por último, a mi amiga, Fabiola Mesén, porque sin el equipo que hemos sido durante nuestra etapa universitaria, no hubiéramos logrado esta meta.

Yeslin Magdalena Cubillo Solís

Primeramente, dedicar el trabajo a Dios, quien ha sido mi fortaleza y guía a lo largo de este camino académico. Quiero agradecer a mis queridos padres y familiares, cuyo amor, sacrificio y apoyo ha sido invaluable en mi vida. También agradecer a la Universidad Técnica Nacional que me ha brindado los conocimientos, desarrollado mis habilidades y me ha hecho crecer como persona. Sin su compromiso con la educación este logro no habría sido posible. A ustedes, mi eterna gratitud.

Raúl González Rodríguez

Llena de alegría, esperanza y de amor, dedico mi trabajo final primeramente a Dios por permitirme culminar con éxito mi tan anhelada carrera, darme salud y fuerzas en todo momento. Agradezco a mi familia, quienes me han dado su amor completo y su perenne apoyo. A mis padres, por ser mi fuente de inspiración y motivación, por instruirme la importancia de la perseverancia. A mi hermano, Alejandro Mesén, por sus consejos y compañía en cada paso que he dado a lo largo de mi vida: has sido un apoyo incondicional. Y sin dejar atrás a una persona muy especial que me ha acompañado a lo largo de toda la carrera, mi amiga Yeslin Cubillo, gracias por todos estos años compartidos; por los aprendizajes, por todas aquellas desveladas, por las horas de viajes luchando por nuestro futuro, quiero decirte hoy que valió la pena. Por último, pero no menos importante, quiero agradecer a todas aquellas personas que participaron como voluntarios en la investigación. Sin su colaboración, este trabajo no hubiera sido posible. A todos ustedes, gracias por ser parte de este trabajo y por su nobleza y soporte total.

Estrella Fabiola Mesén Navarro

Primero que todo, agradecerle y dedicarle este trabajo a Dios por darme la fuerza, entendimiento y oportunidad para poder culminar con esta fase de aprendizaje tan importante para mi crecimiento académico y profesional. Dedico con mucho amor este tan valioso trabajo, y lo que este significa, a mi madre Mayela, que siempre ha luchado y se ha sacrificado para que pueda sacar mis estudios y convertirme en la profesional que soy hoy en día gracias a ella. Se lo dedico a mis hermanas Elizabeth, Lisbeth y Eilyn, que han

sido mi apoyo, admiración y confidentes en todos estos largos años de estudio. Del mismo modo, dedico esta investigación a mi abuela María, pues a pesar de que partió de este mundo a medio recorrido de este proceso, sé que debe estar muy orgullosa de este triunfo. Y a mi abuelo, Rodrigo, que sigue de mi mano acompañándome cada día. A ellos, porque han sido pilares fundamentales para darme las fuerzas y el aliento para seguir adelante. Por último, por alcanzar esta meta a pesar del cansancio, pérdidas y obstáculos que se presentaron en el camino, se lo dedico a la persona más luchadora y fuerte que puedo conocer: yo.

Arlyn Montero Cerdas

## AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer primeramente a Dios por darnos la vida, guiar nuestros pasos y darnos la oportunidad de culminar este gran proceso de aprendizaje.

A nuestra asesora, la tutora Lic. Priscilla Alvarado Marengo, por su orientación experta y paciencia a lo largo de este proceso de investigación. Sus valiosos comentarios y sugerencias fueron fundamentales para la finalización de este trabajo.

A nuestros familiares, deseamos expresar nuestra gratitud, especialmente a nuestros padres, por su apoyo inquebrantable y amor incondicional.

A nuestros amigos y compañeros de clase, gracias por ser nuestra red de apoyo en momentos de estrés y duda.

A la universidad que nos ha exigido tanto, pero al mismo tiempo nos ha permitido obtener nuestro tan ansiado título.

Agradecemos a cada directivo por su trabajo y por su gestión, sin lo cual no estaría las bases ni condiciones para aprender conocimientos.

Por último, queremos reconocer a todas las personas que, de una u otra manera, han sido parte de este viaje. Este logro no habría sido posible sin su contribución. Estamos eternamente agradecidos.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>DECLARACIÓN JURADA.....</b>	<b>ii</b>
HOJA DE APROBACIÓN.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	vi
RESUMEN.....	xiii
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>14</b>
ÁREA DE ESTUDIO.....	15
DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA .....	16
ANTECEDENTES .....	22
OBJETIVOS.....	26
<i>Objetivo general.....</i>	<i>26</i>
<i>Objetivos específicos.....</i>	<i>26</i>
<b>II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>28</b>
GENERALIDADES DE LA PLANTA DE YUCA.....	29
CONTEXTO DE LA YUCA EN COSTA RICA.....	29
PROCESO DE CULTIVO, COSECHA Y POSTCOSECHA.....	31
<i>Prácticas para el manejo del cultivo de la yuca .....</i>	<i>31</i>
<i>Cosecha .....</i>	<i>34</i>
<i>Postcosecha.....</i>	<i>35</i>
SITUACIÓN ACTUAL DE LA GENERACIÓN Y MANEJO DE SUBPRODUCTOS DE LA YUCA .....	35
<i>Tendencias de consumo de yuca .....</i>	<i>35</i>
<i>Aprovechamiento de la raíz.....</i>	<i>36</i>
<i>Aprovechamiento del follaje en Costa Rica .....</i>	<i>37</i>
CARACTERÍSTICAS DEL FOLLAJE .....	38
<i>Características morfológicas.....</i>	<i>38</i>
<i>Composición química.....</i>	<i>40</i>
<i>Glucósidos cianogénicos.....</i>	<i>41</i>
Legislación para contenido de ácido cianhídrico en yuca y productos derivados .....	42
<i>Calidad nutricional de las proteínas.....</i>	<i>44</i>
MÉTODOS DE PROCESAMIENTO PARA REDUCIR PRESENCIA DE HCN.....	45
MÉTODOS DE ANÁLISIS DE PROTEÍNAS, HUMEDAD Y HCN .....	47
<i>Proteínas.....</i>	<i>47</i>
<i>Humedad.....</i>	<i>53</i>
<i>Contenido de HCN .....</i>	<i>54</i>
<b>III. MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>57</b>
ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN .....	58

<i>Tipo de investigación</i> .....	59
SUJETOS Y FUENTES DE INFORMACIÓN .....	59
PREGUNTA GENERADORA.....	59
VARIABLES .....	60
POBLACIÓN Y MUESTRA.....	64
DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA.....	64
<i>Entrevista personal</i> .....	64
<i>Análisis de plaguicidas</i> .....	65
<i>Registro y análisis de datos</i> .....	65
<i>Diseño experimental de los ensayos a realizar en planta piloto</i> .....	65
<i>Diagrama de flujo y descripción del proceso realizado</i> .....	66
<i>Diseño experimental para el muestreo</i> .....	68
<i>Metodología de análisis</i> .....	69
Medición de rendimientos de proceso.....	69
<i>Análisis de grasa cruda por extracto etéreo</i> .....	73
<i>Análisis de humedad</i> .....	73
<i>Análisis de ceniza</i> .....	74
<i>Análisis de carbohidratos totales</i> .....	74
<i>Análisis comparativo del perfil de aminoácidos con proteínas de referencia</i> .....	75
<b>IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>76</b>
SITUACIÓN ACTUAL DE LA GENERACIÓN Y MANEJO DE RESIDUOS DE FOLLAJE DE YUCA ( <i>MANIHOT ESCULENTA</i> CRANTZ) EN LA REGIÓN HUETAR ATLÁNTICA.....	77
CONDICIONES DE PROCESAMIENTO PARA OBTENCIÓN DE HARINA DE HOJAS DE YUCA CON NIVELES ACEPTABLES DE HCN.....	83
<i>Pruebas preliminares de contenido de humedad y proteína de las hojas frescas para definir la variedad a utilizar</i> .....	84
<i>Condiciones de proceso y temperaturas de secado definidas para los tres tratamientos por realizar a las hojas frescas</i> .....	85
<i>Rendimientos de proceso</i> .....	87
EFECTO DEL MÉTODO DE PROCESAMIENTO Y LA VARIEDAD EN EL CONTENIDO DE HCN DE LAS HOJAS DE YUCA DESHIDRATADAS.....	90
CALIDAD NUTRICIONAL DE LAS PROTEÍNAS DE LA HARINA OBTENIDA A PARTIR DE LAS HOJAS DE YUCA .....	98
<b>V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>105</b>
CONCLUSIONES.....	106
RECOMENDACIONES.....	108
<b>VI. REFERENCIAS .....</b>	<b>110</b>
<b>VII. APÉNDICES.....</b>	<b>126</b>
<b>VIII. ANEXOS .....</b>	<b>135</b>

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1</b> .....	30
<b>Tabla 2</b> .....	32
<b>Tabla 3</b> .....	33
<b>Tabla 4</b> .....	40
<b>Tabla 5</b> .....	43
<b>Tabla 6</b> .....	53
<b>Tabla 7</b> .....	61
<b>Tabla 8</b> .....	83
<b>Tabla 9</b> .....	85
<b>Tabla 10</b> .....	87
<b>Tabla 11</b> .....	88
<b>Tabla 12</b> .....	92
<b>Tabla 13</b> .....	97
<b>Tabla 14</b> .....	99
<b>Tabla 15</b> .....	103

## Índice de Figuras.

<b>FIGURA 1.....</b>	<b>39</b>
<b>FIGURA 2.....</b>	<b>42</b>
<b>FIGURA 3.....</b>	<b>47</b>
<b>FIGURA 6.....</b>	<b>72</b>
<b>FIGURA 7.....</b>	<b>78</b>
<b>FIGURA 8.....</b>	<b>79</b>
<b>FIGURA 9.....</b>	<b>86</b>
<b>FIGURA 10 .....</b>	<b>91</b>
<b>FIGURA 11 .....</b>	<b>96</b>

## Índice de Apéndices

<b>APÉNDICE A.....</b>	<b>127</b>
<b>APÉNDICE B.....</b>	<b>131</b>
<b>APÉNDICE C.....</b>	<b>132</b>

## Índice de Anexos

<b>ANEXO 1</b> .....	<b>136</b>
<b>ANEXO 2</b> .....	<b>138</b>
<b>ANEXO 3</b> .....	<b>147</b>
<b>ANEXO 4</b> .....	<b>149</b>
<b>ANEXO 5</b> .....	<b>153</b>

## RESUMEN

En esta investigación, se estudió de forma exploratoria el aprovechamiento de las hojas de yuca (*Manihot esculenta* Crantz), con el fin de obtener proteína vegetal para consumo humano. Se utilizó follaje de yuca variedad Valencia, que es cultivada en la región Huetar Atlántica de Costa Rica por un 72,2 % de las personas entrevistadas, con una edad fisiológica entre los 7 y 9 meses. Para eliminar la presencia de glucósidos cianogénicos, las hojas se sometieron a procesos de lavado, picado y secado por circulación continua de aire caliente a tres diferentes temperaturas: 45, 62 y 75 °C. Los resultados obtenidos indicaron que las hojas frescas no tienen presencia de residuos de pesticidas y que el rendimiento final del proceso fue de un 9,8 %. En cuanto a su composición química, la harina obtenida al secar las hojas a 75 °C reportó una humedad final de 14,5 %, un 40,2% de fibra insoluble, un 4,87 % de cenizas (minerales) y un 14,01 % de proteína en base seca, lo cual convierte al subproducto en una fuente importante de proteína vegetal. Los resultados de análisis de ácido cianhídrico (HCN) y de perfil de aminoácidos mostraron inconsistencias debido, principalmente, a que los métodos utilizados no están estandarizados ni validados para la matriz de hoja de yuca deshidratada. En cuanto al HCN, el resultado de la tercera repetición indicó cantidades no detectables de este compuesto tóxico. A pesar de que no se pudo determinar la cantidad de cada aminoácido presente, cualitativamente se detectó la presencia de todos los aminoácidos esenciales, comparándose en este sentido con la proteína del huevo y la soya. Si bien los resultados no son concluyentes, este estudio preliminar es valioso, ya que permitió comprobar el alto contenido de proteína de las hojas de yuca, así como el interés mostrado en el aprovechamiento del follaje, que actualmente es un subproducto no valorizado. Por tanto, se recomienda continuar realizando más investigación al respecto para poder demostrar las posibilidades que el follaje de la yuca ofrece como matriz alimentaria para consumo humano.

# I. Introducción

Dado que el estilo de vida y consumo de las últimas décadas ha llevado al agotamiento acelerado de los recursos y que, para el año 2050, se espera que la población mundial alcance una cifra cercana a los 10 mil millones de habitantes, se ha estimado que la demanda de alimentos crecerá a un ritmo acelerado, y que uno de los nutrientes que la industria alimentaria tendrá problemas para suplir, si se mantienen las condiciones actuales, es la proteína de origen animal, cuya demanda, según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO por sus siglas en inglés), se duplicará en un 50 % (Promotora del Comercio Exterior de Costa Rica [PROCOMER], 2019).

Por tanto, esta propuesta consiste en realizar un estudio preliminar exploratorio para evaluar la factibilidad técnica y nutricional de la obtención de proteína vegetal a partir del follaje de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz).

Se espera, con esto, sentar las bases para posteriormente continuar investigando la factibilidad económica y aplicaciones industriales de la proteína obtenida en distintas matrices alimentarias.

### **Área de estudio**

El presente trabajo se desarrolla en el área de tecnología de alimentos, en el eje de aprovechamiento de subproductos de la agroindustria, y se enfoca en la búsqueda de fuentes de proteína vegetal como alternativa para las proteínas de origen animal.

Específicamente, se plantea el aprovechamiento del follaje (hojas) de la

planta de yuca (*Manihot esculenta* Crantz), el cual, pese a tener un contenido apreciable de proteína, no se destina a consumo humano.

### **Delimitación del problema**

En septiembre del año 2015, los líderes mundiales agrupados en la Organización de las Naciones Unidas [ONU], definieron 17 objetivos para mejorar la calidad de vida de las personas de todas las regiones del mundo, enfocados específicamente en erradicar la pobreza, proteger al planeta y asegurar la prosperidad para todos (ONU, 2019).

Estos objetivos se conocen como los Objetivos de Desarrollo Sostenible [ODS], siendo el segundo de ellos el relacionado con el “hambre cero”, y cobra importancia debido a que, aunque diversos informes de organismos internacionales mencionan que se tenía varias décadas de observar a nivel global una disminución de la prevalencia de la desnutrición, el número de personas hambrientas aumentó en 46 millones en 2020 y en 150 millones a partir del inicio de la pandemia (ONU, 2022).

Según estimaciones de la FAO, el Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola [FIDA], la Organización Mundial de la Salud [OMS], el Programa Mundial de Alimentos [PMA] y el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia [UNICEF por sus siglas en inglés] (2020), hay cerca de 690 millones de personas en el mundo que padecen hambre, es decir, un 8,9 % de la población mundial. Por otro lado, según datos del Banco Mundial, como se citó en Hernández y Cruz (2020), en el año 2019 la población mundial se estimó en 7 673 millones de personas, y a esta

cantidad hay que agregar los 2 000 millones que, según la ONU (2019), se sumarán para el año 2050; si se aplica el mismo porcentaje actual de personas que padecen hambre, la cifra rondará casi los 900 millones de personas.

En medio de este panorama, cabe cuestionarse: ¿La industria agroalimentaria será capaz de suplir de manera sostenible los alimentos que demandará la creciente población?

Entre los nutrientes más importantes en la dieta y que dicho sea de paso suelen ser en algunas regiones los de más difícil acceso debido a su alto costo, están las proteínas. Se sabe que su ingesta adecuada resulta crucial para el óptimo funcionamiento del organismo y que, históricamente, se han preferido las proteínas de origen animal. Aunque las de origen vegetal se suelen percibir como una fuente de proteína incompleta al contener una menor o nula cantidad de alguno de los aminoácidos esenciales, es posible obtener proteínas de alta calidad mediante la combinación de distintas fuentes vegetales (Quesada y Gómez, 2019).

La tendencia de aumentar el consumo de proteína animal de vacuno o cerdo ha generado un impacto medioambiental enorme. Kakaes y Luong (2021) mencionan que, la cría de ganado requiere enormes cantidades de tierra y cultivos y que actualmente genera casi 20 % de las emisiones globales de gases de efecto invernadero. Por su parte, Pérez (2020) menciona que, motivados por la conciencia ambiental, el bienestar animal y la salud, cada vez más consumidores prefieren alimentos de origen vegetal y análogos de la carne y que están eligiendo dietas especiales basadas en sus valores, no sólo motivados por la conciencia ambiental,

sino también por el bienestar animal y la salud.

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz), cuyo cultivo, industrialización y consumo fue recientemente declarado de interés público por el Gobierno de la República (Presidencia de la República de Costa Rica, 2021), es una raíz cultivada por más de tres mil pequeños y medianos productores. Esta raíz se siembra en áreas rurales con bajos índices de desarrollo, por lo que este cultivo tiene gran importancia en la mejora de la calidad de vida de estas poblaciones y en la seguridad alimentaria.

Distintos autores mencionan que la raíz de yuca tiene un bajo contenido de proteína; sin embargo, hay estudios que demuestran que sus hojas frescas tienen un alto valor nutricional, pues contienen entre 12 y 38 % de proteína, además de fibra, minerales como calcio, fósforo, hierro, y vitaminas como vitamina A, ácido ascórbico, riboflavina y niacina (Latif y Müller, 2015; Aguilar et al., 2017; Abrafi, 2021).

Algunos estudios indican que se puede obtener entre 1,7 y 4,6 toneladas de hojas de yuca por hectárea sembrada (Díaz y López, 2021; Abrafi, 2021). Estas hojas, actualmente, no se aprovechan como fuente de alimentación humana, sino que se destinan a la alimentación animal o simplemente se reintegran al suelo de las parcelas luego de la cosecha.

Considerando lo anteriormente expuesto, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Es viable técnica y nutricionalmente aprovechar las hojas de yuca para obtener una harina que sea fuente de proteína vegetal para consumo

humano?

## **Justificación**

La industria de alimentos ha sido señalada por su alto impacto ambiental, asociado a etapas como transporte, daño a los suelos y la atmósfera, consumo excesivo de recurso hídrico y energía, generación de desperdicios, entre otros. Novelli (2018) menciona que muy asociado a la salud, el componente sustentable es un requisito cada vez más ponderado por los consumidores a la hora de elegir alimentos, quienes prefieren conocer su procedencia, que tengan poco procesamiento y sean amigables con el ambiente.

Como ya se mencionó, las proteínas son de los nutrientes más importantes de la dieta y, tradicionalmente, son las de origen animal las que se han considerado más saludables y completas; sin embargo, tal y como lo demuestran estudios de Innova Market Insights (2023), las plantas ya se encuentran entre las alternativas a la carne más consumidas. Según este estudio, el 29 % de los consumidores señaló que cuando sustituyen directamente la carne por una alternativa de origen vegetal, las verduras son su primera opción, seguidas por el 21 % que opta por las legumbres.

Si bien las leguminosas son la fuente de proteína vegetal por excelencia, existen en Costa Rica otros productos que tienen contenidos proteicos que pueden ser de valor industrial para formar parte de mezclas vegetales que permitan obtener una proteína completa de alta calidad; uno de estos productos es la yuca (*Manihot esculenta* Crantz).

Varios autores mencionan que la raíz de la yuca (que es la parte explotada para consumo humano) tiene un bajo contenido de proteína, alrededor de 3,67 % (López et al., 2019). Estos resultados pueden explicar por qué la yuca no es atractiva para su uso como fuente de proteína. Por otra parte, se reconoce que el contenido proteico de las hojas frescas es alto, entre 12 y 38 % (Latif y Müller, 2015; Gómez et al., 2016; Aguilar et al., 2017; Abrafi, 2021).

El consumo de hojas de yuca en América Latina es escaso o nulo como consecuencia de los altos niveles de compuestos cianogénicos, conocidos también como ácido cianhídrico (HCN), cianuro o cianoglucósidos. Sin embargo, aunque su consumo se sigue considerando como marginal o reservado a una escala ínfima (Díaz y López, 2021), hay algunos antecedentes que han explorado su uso para alimentación humana y su consumo forma parte de la dieta de diversos países de América del Sur, Asia y África (Latif y Müller, 2015; Abrafi, 2021). Incluso en Costa Rica, según indica Calvo de Finca Las Orquídeas, “en algunos poblados del Caribe, los cogollos [o retoños tiernos] se suelen comer con huevo” (Comunicación personal, 14 de mayo de 2022).

Con el título Costa Rica desperdicia una tonelada de alimentos al día, Molina (2021) llama alarmantemente la atención y menciona que este desperdicio se da a lo largo de toda la cadena productiva, desde la finca a la mesa. Según esta publicación, la estimación realizada por la FAO asciende a 365 609 toneladas desperdiciadas al año.

En el año 2014, se conformó la Red Costarricense para la disminución de

pérdidas y desperdicio de alimentos, con los objetivos de establecer las estrategias para disminuir esta problemática en Costa Rica, a partir de tres grandes campos de acción: investigación y monitoreo, comunicación y sensibilización, e implementación de políticas públicas (Jiménez, 2018), la cual ha trabajado en la elaboración de una guía para la medición de estos, que permita comparar el nivel de cumplimiento en cuanto a su reducción. Si bien la cantidad de hojas de yuca desechadas no se encuentra documentada, porque actualmente esta parte de la planta no se destina al consumo humano, su potencial uso en alimentos permitirá contribuir a generar valor agregado para este subproducto.

De tal modo, esta investigación exploratoria es importante, porque permitirá conocer la situación actual de manejo y disposición final que tienen las hojas en las fincas productoras de yuca y, a partir de ahí, valorar alternativas de procesamiento que permitan aprovechar los nutrientes que estas contienen.

Además, al plantear métodos de procesamiento que permitan reducir el contenido de HCN a niveles aptos para consumo humano, se estará contribuyendo al desarrollo potencial de la agroindustria de la yuca, lo cual beneficiará a muchos pequeños productores de zonas rurales, que podrán mejorar sus ingresos al agregar valor a un residuo que ya genera su actividad actual.

Otro de los beneficios que esta investigación puede aportar está relacionado con el ambiente y la producción sustentable, ya que, al proponer una fuente de proteína vegetal alternativa para eventuales aplicaciones en matrices alimentarias, se puede contribuir a mitigar el impacto ambiental que genera la producción de

materias primas proteicas de origen animal.

Así, con los ejes de investigación de la carrera de Ingeniería en Tecnología de Alimentos de la UTN, se considera que hacer un estudio exploratorio para evaluar el potencial de aprovechamiento de las hojas de yuca para la obtención de proteína vegetal permitirá, por medio de investigación de campo y la aplicación de procesos tecnológicos, comprender su potencial para uso en alimentos.

### **Antecedentes**

En esta sección, se presenta la reseña de varias investigaciones relacionadas con el aprovechamiento de las hojas de yuca. Se han realizado estudios más enfocados en utilización de las hojas para consumo animal, pero, debido a su contenido de proteína, hay algunos antecedentes, que datan de la primera década del siglo XXI, incluso finales del siglo pasado, que han explorado su uso para alimentación humana.

Unos de los autores que más han estudiado y caracterizado las hojas de yuca son Giraldo et al. (2006), cuyas publicaciones siguen siendo un referente para estudios posteriores realizados en varios países.

Considerando la restricción que puede representar el alto contenido de compuestos cianogénicos de las hojas, Giraldo et al. (2006) determinaron el proceso de elaboración de harina más adecuado para reducirlos a niveles aceptables. Posteriormente, Giraldo et al. (2008) estudiaron la digestibilidad aparente de una harina proveniente de hojas de yuca, con resultados

prometedores.

Estos autores mencionan que, para una adecuada formulación del componente proteico (aminoácidos) en dietas destinadas a animales monogástricos y a seres humanos, es necesario conocer la calidad nutricional de las fuentes de proteína. Su estudio concluyó que el uso de harina de hoja de yuca para alimentación es recomendable en niveles de inclusión máximo del 10 %.

En su estudio sobre aspectos de salud relacionados con el consumo de yuca como alimento básico, Abrafi (2021) menciona que se ha demostrado que métodos de procesamiento tales como cocinar (hervir), cocer al vapor, asar, hornear y otros procesos como pelar, remojar, rallar, fermentar y secar al sol efectivamente reducen el contenido de cianuro de la raíz a niveles seguros.

En concordancia con el estudio anterior, desde hace varios años, de acuerdo con Giraldo et al. (2008), se reafirma que las altas temperaturas y el deshidratado rápido son excelentes para disminuir la concentración de ácido cianhídrico tanto en la raíz como en el follaje.

La reducción del contenido de los compuestos cianogénicos también se ha evidenciado en el procesamiento tecnificado para la obtención de almidón. Tal es el caso de un estudio realizado por Castro et al. (2021) en donde se logró reducir el 86 % del HCN, con lo cual se obtuvo un producto apto para el consumo humano. Esto se evidenció pues la presencia del cianuro en las especies analizadas se encontraba por debajo de la dosis letal.

Aun cuando la yuca es una raíz ampliamente consumida por más de mil

millones de personas alrededor del mundo, Martínez et al. (2018) mencionan que tiene partes que solo han sido aprovechadas para el consumo animal, como lo es la hoja o follaje y que esta puede ser muy beneficiosa para el ser humano. Además, ellos desarrollaron un estudio para utilizarlas en preparaciones culinarias y se demostró que los productos fueron bien acogidos por el público.

Una muestra de que con el procesamiento adecuado la hoja de yuca puede aportar proteína y otros nutrientes es la gran variedad de recetas a base de hojas de yuca que son un componente importante de la dieta en países como Mozambique, Sierra Leona, Senegal y Liberia. Actualmente, existen diferentes técnicas de procesamiento para eliminarlos y su efectividad depende de las etapas de procesamiento, de la secuencia utilizada y también del tiempo, por ejemplo, machacar o triturar, seguido de exposición al calor o agua hirviendo, que son técnicas efectivas para la eliminación de estos compuestos tóxicos, pues provocan la ruptura de los compartimentos celulares, permitiendo el contacto directo entre la linamarina y la enzima linamarasa que cataliza su descomposición hidrolítica (Díaz y López, 2021).

Por otra parte, se ha demostrado que la aplicación de altas temperaturas a las hojas de yuca reduce significativamente el contenido de vitaminas del complejo B y la vitamina C presente en estas, por lo cual Bradbury y Denton (2014) buscaron alternativas para reducir el contenido de compuestos cianogénicos de las hojas que no involucran temperaturas de ebullición, y en su estudio concluyeron que, con la aplicación de métodos suaves, tales como machacar, dejar reposar de 2 - 5 horas y realizar luego al menos 3 lavados con agua, se lograba reducirlos.

Es importante mencionar que, en países como Tailandia, se producen comprimidos de hojas de yuca y retoños tiernos de yuca, como fuente de proteína (Zumaeta y González, 2014).

Otro aspecto importante por considerar es la posible presencia de plaguicidas en el follaje. Si bien en el informe del año 2022 sobre análisis de residuos de plaguicidas en vegetales frescos en Costa Rica las muestras de yuca evaluadas dieron como resultado una cantidad no detectable de residuos de pesticidas (Servicio Fitosanitario del Estado [SFE], 2023), no se conocen datos de su presencia en las hojas, lo cual hace que sea un tema de interés adicional.

Por último, es importante mencionar que una investigación reciente realizada por Díaz y López (2021) recalca que, pese al alto valor nutricional de las hojas de yuca, su uso para la alimentación humana todavía no despegaba en países de América Latina debido, entre otras razones, a que no se han establecido científicamente procedimientos para reducir a niveles seguros su alto contenido de glucósidos cianogénicos. A su vez, se desconocen sus bondades nutricionales y su potencial como una alternativa y complemento nutricional para aumentar la ingesta de proteína.

Pese a las distintas investigaciones realizadas con el fin de demostrar el potencial de las hojas de yuca como una fuente de alimento nutritivo para el ser humano, en Costa Rica este tema ha sido poco documentado, lo cual refuerza la importancia de establecer de manera exploratoria si en el país es viable técnica y nutricionalmente aprovechar este subproducto.

Por medio de investigación de campo en algunas fincas productoras, será interesante conocer la disponibilidad de los agricultores para valorizar las hojas, así como realizar ensayos experimentales, con el fin de posteriormente plantear alternativas para su procesamiento y uso como fuente proteica de materia prima en matrices alimentarias para consumo humano.

## **Objetivos**

### ***Objetivo general***

Evaluar de manera exploratoria la viabilidad técnica y nutricional de la obtención de harina como fuente de proteína vegetal a partir de hojas de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en Costa Rica para posibles aplicaciones en alimentos de consumo humano.

### ***Objetivos específicos***

1. Establecer la situación actual de la generación y manejo de residuos de follaje de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en la región Huetar Atlántica, con el fin de valorar su disponibilidad para uso en alimentos de consumo humano, mediante visitas de campo y consulta a productores.
2. Valorar posibles condiciones de procesamiento para obtención de harina como fuente de proteína con niveles aceptables de HCN, a partir de hojas de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz), mediante ensayos en planta piloto.
3. Estudiar el efecto del método de procesamiento y la variedad genética de la hoja utilizada en el contenido de proteína, humedad y HCN de las harinas obtenidas a partir de las hojas de yuca (*Manihot esculenta* Crantz), mediante

análisis de laboratorio.

4. Determinar la calidad nutricional de las proteínas de la harina obtenida a partir de las hojas de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) mediante la comparación de su perfil de aminoácidos con el huevo y la soja.

## **II. Marco teórico**

Esta sección contiene información relevante para contextualizar el estudio realizado.

### **Generalidades de la planta de yuca**

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) es una planta cuyo origen genético se ha adjudicado desde hace muchos años a regiones de la Cuenca Amazónica del Noreste de Brasil; forma parte de la familia Euphorbiaceae, constituida por 7 200 especies y, aunque se han descrito alrededor de 98 especies del género *Manihot*, solo la especie *esculenta* tiene relevancia económica y es cultivada a nivel comercial (Blanco et al, 2017).

Un 62 % del volumen de yuca en el mundo se produce en África, un 29 % en Asia y un 9 % en América Latina. Actualmente, se siembra en zonas tropicales alrededor del mundo, en países como Zaire, Nigeria (mayor productor de África), República Democrática del Congo, Tanzania, Mozambique, Tailandia (líder de producción de yuca industrial), Indonesia, India y países de Centro y Suramérica, en donde es considerada una valiosa fuente de alimentos calóricos y de ingresos para muchas comunidades agrícolas, así como un cultivo prioritario para el desarrollo de lo que hoy se conoce como bioeconomía (Canales y Trujillo, 2021).

### **Contexto de la yuca en Costa Rica**

La actividad agrícola en el país es de gran importancia para el desarrollo económico y social, sobre todo en territorios rurales donde las actividades económicas están vinculadas especialmente a la exportación de recursos

renovables.

En Costa Rica, la yuca se clasifica como un cultivo anual, y según la Encuesta Nacional Agropecuaria realizada por el Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], en el año 2019 se sembraron casi 9 mil hectáreas; además, el país cuenta con 9 506 fincas productoras de yuca, de las cuales un 50,1 % se encuentran en provincias como Alajuela y Limón, que juntas representan el 82,2 % de la extensión sembrada a nivel nacional. A pesar de contar con tantas fincas, solo 110 se dedican exclusivamente a la exportación; las demás se dedican a vender localmente tanto directa como indirectamente (Román, 2018; INEC, 2020).

Como se aprecia en la Tabla 1, a nivel de exportación, Costa Rica es el mayor exportador de yuca de la región centroamericana, con un 97 % del total:

**Tabla 1**

*Exportaciones de yuca en Centroamérica (en \$), 2010-2014*

Pais	2010	2011	2012	2013	2014
Costa Rica	51 007 000	64 402 000	60 573 000	65 283 000	70 375 000
Honduras	892 000	985 000	449 000	281 000	1 204 000
Nicaragua	604 000	1 409 000	1 008 000	1 338 000	988 000
Panamá	89 000	76 000	107 000	94 000	111 000
Guatemala	96 000	58 000	72 000	17 000	21 000
El Salvador	13 000	1 000	1 000	2 000	2 000
Total	52 701 000	66 931 000	62 210 000	67 015 000	72 701 000

Fuente: Tomado del Análisis de la cadena logística de la yuca en Costa Rica, por Román (2018).

En el caso de la yuca, en Costa Rica no existen mayores encadenamientos

productivos vinculados a oportunidades que la producción de este cultivo representa. Por otra parte, se ha mencionado que el país debe mejorar en infraestructura en torno de la logística que conlleva este cultivo (Román, 2018).

A pesar de que la yuca no es originaria de Costa Rica, este cultivo cuenta con una excelente adaptación debido a las condiciones climáticas, pues la temperatura óptima para este cultivo oscila entre los 20 - 30 °C, con precipitaciones anuales de 500 - 3.000 mm. En cuanto a la producción por regiones, predomina la Huetar Norte con 9 853 hectáreas, donde los cantones de San Carlos y Los Chiles son los principales productores de esta zona; la segunda es la región Huetar Caribe con 2 079 hectáreas, sembradas principalmente en cantones como Guácimo y Pococí (Bonilla y Mena, 2021; INEC, 2020).

Con respecto a las variedades de yuca sembradas en el país, las más comunes son la Valencia y la Señorita; en terrenos o áreas más pequeñas se pueden encontrar otras variedades como son la Mangí o las de pulpa amarilla. Es importante recalcar que cada una cuenta con distintas características y es el agricultor quien decide cuál le funciona mejor (Bonilla y Mena, 2021).

## **Proceso de cultivo, cosecha y postcosecha**

### ***Prácticas para el manejo del cultivo de la yuca***

Uno de los aspectos más importantes para cualquier cultivo es la condición de los suelos. En el caso específico de la yuca, su producción se puede realizar casi en cualquier tipo de suelo; sin embargo, no se recomienda que estos sean muy pesados o arcillosos, ni que tengan presencia de muchas piedras u otro tipo

de obstáculos, ya que esto no permite un adecuado desarrollo de las raíces tuberosas (Aguilar et al., 2017).

En Costa Rica, existen diferentes prácticas para el manejo del cultivo de la yuca. En la tabla 2, se resumen de manera general algunas de las más importantes.

**Tabla 2**

*Principales prácticas de manejo del cultivo de la yuca*

<b>Práctica de manejo</b>	<b>Descripción</b>
Preparación del suelo	Los suelos deben ser drenados y profundos, que permitan el desarrollo de las raíces tuberosas. Se recomienda facilitar la aireación, afinar el suelo y conformar las camas con una distancia de 1.2 a 1.5 metros y con una altura de 0.20 a 0.30 metros.
Siembra	Su tipo va a depender del tipo de características edafoclimáticas (suelo, precipitación y pendiente). Algunos de estos son: siembra en lomillo para prevenir anegamiento y pudrición de las raíces, siembra en plano, en regiones con baja precipitación, siembra en surcos, siembra en camas.
Posición de la estaca o semilla	Horizontal: en siembras de surcos de forma mecanizada, donde la semilla queda cubierta por el suelo y las raíces se forman en el extremo opuesto a las yemas. Vertical: la semilla se coloca perpendicular al suelo, para que el sistema radical se forme en el extremo inferior y se expanda. Inclinada: se introduce la semilla en un ángulo de 45° dejando cubierta de dos a tres yemas fuera del suelo, reduciendo el porcentaje de yucas quebradas en la cosecha.
Distancia de siembra	Se establecen por las características del suelo, clima, fertilidad y variedad. Las densidades de siembra varían entre 10000-15000 plantas por hectárea con distancias entre 0.7 a 1 metro entre plantas y 1 metro entre surcos, y de 2500 a 3500 plantas por hectárea, con distancias de 2 metros entre planta y 2 metros entre hileras.
Fertilización	La yuca provoca una fuerte extracción de nutrientes del suelo, por lo cual considera un cultivo esterilizador que ocasiona desbalances nutricionales y disminución en los rendimientos de sembrados consecutivos. Para contrarrestar esta situación, se recomienda rotar los cultivos y suministrar nutrientes necesarios para la planta.
Manejo de malezas	Su control se tiene que hacer después de la preparación del suelo, aplicando herbicidas preemergentes y de contacto previo (ametrina + pendimetalina) y paraquat. Posterior a la brotación se puede ejecutar un control manual con deshierbe en los lomillos, un control mecánico con moto guadaña y otro químico (fluazifod).
Manejo de plagas	La yuca es un cultivo sensible a las plagas. En Costa Rica, los principales insectos que la perjudican son los gusanos cachones, seguido de los trips y ácaros, aunque también hay otros insectos dañinos. Además, se afecta por algunos hongos y virus, siendo esencial la buena selección y desinfección de la semilla.

Fuente: Elaboración propia con base en información tomada de Prácticas efectivas para la reducción de impactos por eventos climáticos en el cultivo de la yuca Costa

Rica (Vargas et al., 2017).

Es importante conocer sobre algunas de las plagas que pueden afectar las hojas de la yuca durante el proceso de crecimiento de la planta. En la tabla 3, se presentan algunas de las más conocidas, así como recomendaciones de manejo para evitarlas.

**Tabla 3**

*Algunas plagas y enfermedades que afectan a las hojas del cultivo de la yuca y su manejo para evitarlas*

Plaga / Enfermedad	Descripción	Manejo
Mancha parda de la hoja ( <i>Cercospora henningsii</i> )	Provoca manchas café rojizo con bordes rodeados de color amarillo y se presenta más en las hojas de la parte baja de la planta.	Se recomienda reducir los excesos de humedad y aplicar fungicidas a base de óxido de cobre y oxiclóruo de cobre suspendidos en aceite mineral.
Mancha blanca de la hoja ( <i>Phaeoramularia manihotis</i> )	Causa la calda de las hojas (defoliación), lesiones pequeñas, circulares o angulares de color blanco o marrón con amarillo.	
Pudrición bacteriana causada por ( <i>Xanthomonas manihotis</i> )	Se aprecia por pequeñas manchas angulares de apariencia acuosa en el envés que luego cubre toda la hoja hasta que se marchita.	Siembra de variedades resistentes, tratar las estacas sumergiéndolas en fungicidas cúpricos, buenos drenajes y control de malezas.
Jobotos o gallina ciega ( <i>Phyllophaga sp.</i> )	Son larvas de color blanco y cabeza café cuyo ataque durante los primeros tres meses causa marchitez de las hojas.	Se pueden utilizar varios parasitoides y hongos entomopatógenos.
Gusano cachudo ( <i>Erinnyis ello</i> )	Larvas de lepidóptero que, pueden ser color amarillo, verde o negro y se alimentan de las hojas y tallos, pudiendo causar defoliación de la planta entera.	Se pueden utilizar insectos depredadores ( <i>Chrysopa sp.</i> ), chinches y algunas especies de arañas. También desherrar y mover el terreno, ya que los estados inmaduros de este insecto mueren al exponerse a la radiación solar.
Mosca blanca ( <i>Trialeurodes variabilis</i> ; <i>Aleurotrachelus socialis</i> )	Se pueden encontrar en los cogollos de la planta o en la zona intermedia, absorben los nutrientes y provocan deformación y amarillamiento de hojas jóvenes.	Se deben eliminar hospederos de la plaga y se puede usar un control biológico (hongos entomopatógenos).
Zompopas ( <i>Atta sp.</i> y <i>Acromyrmex sp.</i> )	La yuca es un hospedero de esta plaga, que causa defoliación. Actúa en las primeras etapas del cultivo, lo cual daña los ápices de crecimiento y las hojas, luego de lo que impide no se dé el proceso fotosintético de forma efectiva de la planta.	Manejo biológico con algunos hongos. Se puede colocar granos de arroz como cebos o bien un control químico, a base de una mezcla de borato de sodio, extracto de jugo de naranja y puntilla de arroz.

Fuente: Tomado de Prácticas efectivas para la reducción de impactos por eventos climáticos en el cultivo de la yuca Costa Rica (Vargas et al., 2017) y del Manual del cultivo de yuca *Manihot esculenta* Crantz (Aguilar et al., 2017).

El Servicio Fitosanitario del Estado [SFE] del Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG] de Costa Rica, en el año 2021 recalca que el uso de los plaguicidas involucra un riesgo para los consumidores, ya que tienen la facilidad de acumular residuos en vegetales frescos, lo cual produce efectos desfavorables en la salud pública. Por tanto, es primordial controlar los límites máximos de residuos (LMR) y garantizar el cumplimiento de la normativa nacional. En el último estudio realizado durante el año 2022, se detectó que la yuca cumple con los LMR adoptados en el país, lo que evidencia buenas prácticas en el uso y manejo de agroquímicos (SFE, 2023). Sin embargo, es importante mencionar que no hay información sobre residuos de plaguicidas en las hojas de yuca.

### **Cosecha**

Se entiende por cosecha cuando el cultivo está llegando a su etapa final según su productividad, contenido de materia seca y calidad culinaria de las raíces, lo cual es definido por el agricultor. Una de las señales que advierten de la madurez de la yuca es el resquebrajamiento del suelo que se puede observar alrededor de la planta. La yuca puede llegar a alcanzar su madurez entre 7 y 10 meses; más allá de ese tiempo, las raíces cosechadas se consideran duras y con menos valor comercial. Por el contrario, si la cosecha se hace antes del tiempo adecuado el resultado será una yuca con alto contenido en látex, lo que la hace no apta para consumo humano. En ambos casos, la cosecha obtenida no cumpliría las características de calidad para su debido procesamiento (Aguilar et al., 2017).

La cosecha se puede realizar de forma manual o mecanizada. La primera se utiliza en producciones pequeñas con un promedio de 600 m<sup>2</sup>, y la segunda es

más rentable utilizarla en terrenos de más de 30 ha. La cosecha mecanizada es compleja, ya que la yuca no crece de una manera uniforme y se extiende de distintas maneras por debajo de la tierra (Hernández et al., 2018).

### ***Postcosecha***

En esta etapa, se debe tener mucho cuidado, pues se pueden producir daños que afectan directamente la calidad de las raíces de yuca. Uno de los principales problemas que se pueden presentar es el ennegrecimiento fisiológico, que inicia en corto tiempo pasada la cosecha. Esta coloración se debe al intercambio de oxígeno por los daños ocasionados a las raíces al momento de ser cosechadas. Representa una gran limitante a la hora de su comercialización como yuca fresca. Además, daños mecánicos, fisiológicos, patógenos y por temperatura se pueden dar luego de realizada la cosecha de esta raíz (Fernández y Cerrato, 2017).

## **Situación actual de la generación y manejo de subproductos de la yuca**

### ***Tendencias de consumo de yuca***

La yuca se utiliza principalmente para el consumo humano directo e indirecto, para la alimentación animal en forma de harina y pellets y también en la industria de plásticos, pieles, entre otros. Se puede utilizar a su vez como insumo para extraer almidón, elaboración de queso, tortas, cremas, espesantes y helados, entre otros subproductos alimenticios. En el sector de los medicamentos, el almidón es utilizado como vehículo o excipiente de pastillas, grageas y jarabes (Román, 2018).

El consumo de la yuca es muy importante en la comida tradicional. Por lo general, su preparación consta de los siguientes pasos: pelar, lavar su pulpa y hervir en agua entre 10 a 40 minutos (Inga, 2020).

Dentro del mercado costarricense, la yuca se considera como el cuarto producto de la lista de bienes básicos y forma parte de las raíces más consumidas. A nivel de exportación, se destina a 21 países diferentes, ya sea de forma fresca y/o congelada (Presidencia de la República de Costa Rica, 2021).

Por otro lado, un estudio realizado por el panel de expertos de la Asociación de la Especialidad Alimentaria [SFA por sus siglas en inglés], asociación del sector alimentario conformada por profesionales del área, busca señalar tendencias únicas cada año que darán forma a cómo se desarrollan alimentos y cómo se consumen. A través de un estudio reciente, la SFA identificó las tendencias del sector para el año 2019, entre las que destacan alimentos a base de plantas como las harinas a partir de tubérculos. El estudio menciona que la yuca por naturaleza es libre de gluten y rica en carbohidratos, por lo cual se puede utilizar para elaboración de harina, productos horneados y tortillas; de igual forma, sus hojas son ricas en proteínas y lisina. Por tanto, se espera un aumento en presentaciones como snacks de hojas de yuca (PROCOMER, 2019).

### ***Aprovechamiento de la raíz***

La yuca se comercializa fresca (parafinada o no) y congelada. En los últimos años, se ha venido trabajando en la transformación de la yuca en harina, ya que funciona como un sustituto parcial de la harina de trigo y de otros cereales. Su vida

útil sin parafinar es corta y cerca del 40 % de la producción normalmente no cumple con los parámetros para ser comercializada. La elaboración de harina permite la diversificación para los distintos consumidores y disminuir las pérdidas en la postcosecha (Aguilar et al, 2017).

Otra alternativa es para alimentación animal, debido a que es una materia prima rica en almidón, la cual funciona como un sustituto del maíz amarillo, reduciendo la dependencia de este grano importado. Romero de Armas et al. (2017) mencionan que los países en vías de desarrollo deben reorientar su negocio hacia el uso de fuentes alternativas para disminuir la utilización de granos y cereales, que incrementan entre 65 y 70 % los costos de producción, lo cual hace insostenible su adquisición.

De acuerdo con Del Río y Grande (2021), el aprovechamiento de los residuos agroindustriales de la yuca es una alternativa que sirve para mitigar la contaminación ambiental. Los residuos del procesamiento del almidón se utilizan como biosorbentes en la remoción de metales en aguas residuales y para la elaboración de productos biodegradables con valor agregado en la industria tales como: biofertilizantes, nanofibras y biorrefinerías.

### ***Aprovechamiento del follaje en Costa Rica***

El follaje de la yuca es considerado un subproducto de la cosecha de la raíz, el cual, a pesar de su alto valor nutricional, no ha sido industrializado para consumo humano. Sus usos más conocidos son la utilización como semilla y para complementar la alimentación de algunos animales de granja, tales como gallinas,

cabras y cerdos (O. Calvo, comunicación personal, 14 de mayo de 2022).

## **Características del follaje**

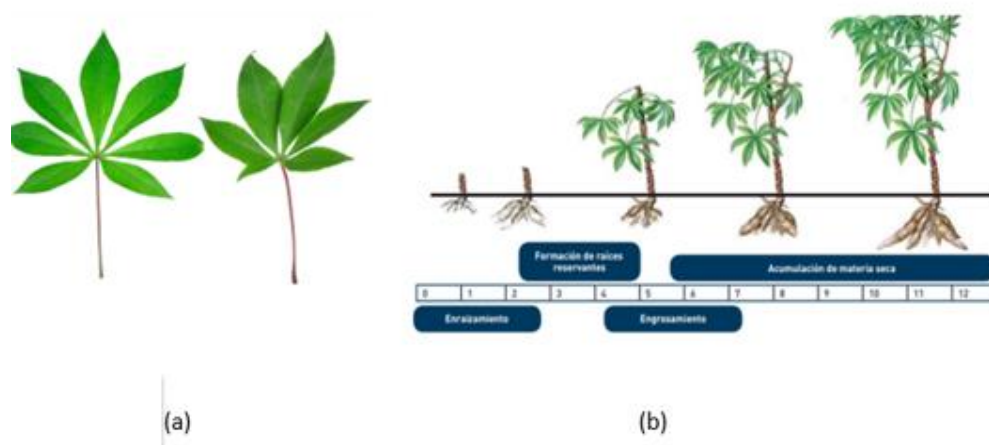
### ***Características morfológicas***

Las hojas son simples y están compuestas por la lámina foliar y el peciolo, su forma es palmeada y con un número impar de lóbulos, que oscila generalmente entre tres y nueve (Eche et al., 2018).

Durante los tres primeros meses, la producción de hojas tiene prioridad sobre las raíces, destinando un mayor contenido de carbohidratos y proteínas hacia estas, lo que va acompañado de un mejor aprovechamiento del agua. Cerca de los cinco meses, el follaje alcanza su máximo crecimiento y comparte nutrientes con las raíces para aumentar el almacenamiento de almidón. A los nueve meses ya no se muestran diferencias significativas entre el número de hojas y el crecimiento de las demás partes de la planta, que irán en aumento proporcional hasta su cosecha (Santos et al., 2019). La figura 1 muestra la morfología típica de una hoja de yuca y las etapas de crecimiento de la planta:

## Figura 1

*Morfología típica de hojas de yuca (a) y etapas de crecimiento de la planta (b)*



Fuente: Imágenes tomadas de (a) Freepik (2023); (b) Aguilar et al. (2017).

Existen factores que pueden afectar la brotación, el tamaño y la producción de las hojas, por lo cual se debe considerar las características del suelo donde se desea sembrar, evitando suelos con acidez entre 4.0 y 4.5 de pH (Hernández et al., 2021). El cultivo tiene adaptabilidad en temperaturas entre los 16 - 38 ° C, con mayores rendimientos entre los 25 - 29 ° C, evitando temperaturas menores a los 16 ° C, debido a que el crecimiento de la planta se reduce o detiene. Además, se deben tener de 10 a 12 horas de exposición a la luz solar para favorecerla (Ministerio de Agricultura y Riego, 2020).

### **Composición química**

La composición química de las hojas de yuca es una de las principales razones por las cuales se considera que tiene potencial para uso en alimentación humana. La tabla 4 muestra una comparación del contenido de proteína y otros nutrientes en distintas partes de la hoja utilizadas en una harina.

**Tabla 4**

*Comparación de la composición química (% base seca) de la harina de hojas de yuca*

Nutrientes	Hojas(%)	Hojas + peciolo (%)
Proteína	22.70	21.60
Cenizas	10.90	9.80
Grasa	6.30	6.30
Fibra	11.00	11.60
Humedad base	7.80	9.00

Fuente: Información tomada de Tarazona (2018).

Como se puede observar en la tabla 4, las hojas de yuca solas son las que tienen un mayor contenido de proteína, así como un mayor contenido de cenizas que se reducen al incluir los peciolo.

Se ha reportado una diferenciación de contenido proteico en las hojas dependiendo de su edad fisiológica al momento de ser recolectadas. Por ejemplo, a los 3 meses, las hojas sin procesar tienen un porcentaje de proteína de 25,02 %; mientras que, a los 5 meses, el contenido de proteína en la hoja fresca aumentó a 27,70 % (Giraldo et al., 2006).

### ***Glucósidos cianogénicos***

Los glucósidos cianogénicos se identifican como toxinas vegetales. Son cianhidrinas, que están unidas a un azúcar y al ser hidrolizadas enzimáticamente se libera cianuro de hidrógeno (proceso conocido como cianogénesis) y otros metabolitos secundarios como función de defensa ante una variedad de patógenos (Jaramillo et al., 2016; Anaya et al., 2018).

La toxicidad asociada a compuestos cianogénicos se da por la inhibición de la citocromoxidasa, lo que causa bloqueo en la respiración celular. Posteriormente, el ácido cianhídrico reacciona con iones de hierro de la hemoglobina, formando cianohemoglobina, que imposibilita el transporte de oxígeno en la sangre. También existe posibilidad de que el compuesto reaccione con el ion de cobre presente en la citocromoxidasa, la cual es la última enzima de la cadena que transporta electrones impidiendo la producción de ATP y, de igual forma, impidiendo la respiración celular (Anaya et al., 2018).

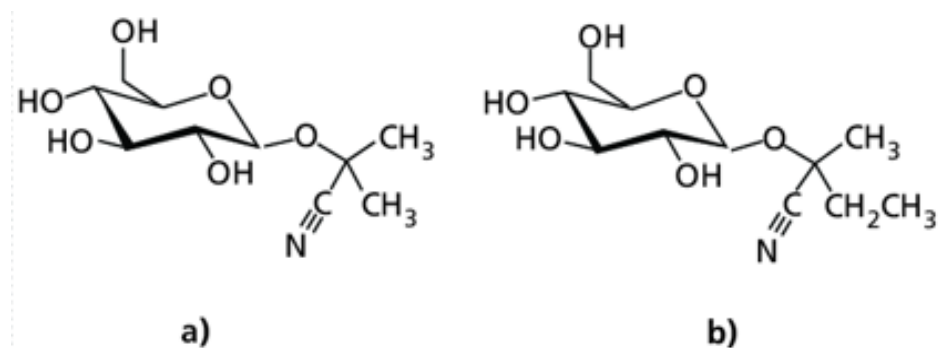
La dosis letal es de 0,5 - 3,5 mg/kg de peso corporal, debido a la posibilidad de intoxicación con altas cantidades de cianuro que se absorbe rápidamente en humanos y porque puede alcanzar niveles máximos en sangre en cuestión de minutos. Esta intoxicación puede causar náuseas, fiebre, dolor de cabeza, insomnio, sed, letargo, nerviosismo, dolores articulares y musculares y caída de presión arterial (Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición [AESAN], 2020).

En la planta de la yuca, el ácido cianhídrico se encuentra en distintas

concentraciones de acuerdo con sus partes, por lo que de mayor a menor concentración se tiene la raíz, la cáscara, cascarilla y la pulpa. Asimismo, la concentración en las hojas depende de su edad, por lo que está en mayor cantidad en las hojas tiernas y en menor cantidad en las hojas adultas, situación que es similar en la cáscara. Como ya se mencionó, la toxicidad de la yuca se atribuye a la presencia del glucósido linamarina (figura 2), el cual puede ser hidrolizado desencadenando la liberación de cianuro, y, aunque el compuesto es removido en su mayor parte cuando se procesa, debido a condiciones inadecuadas, existe la posibilidad de que se encuentre latente (Luna et al., 2017).

## Figura 2

*Glucósidos cianogénicos de la yuca (a) Linamarina, (b) Lotaustralina*



Fuente: Imágenes tomadas de Brito y Cereda (2016).

## Legislación para contenido de ácido cianhídrico en yuca y productos derivados

A nivel internacional, el *Codex Alimentarius* regula la presencia de HCN, en su “Código de prácticas para reducir el ácido cianhídrico (HCN) en la yuca (mandioca) y los productos de yuca (CAC/RCP 73-2013)”. Este documento

pretende proporcionar a las autoridades y productores de todos los países las orientaciones necesarias para que los productos a base de yuca para consumo humano sean inocuos y de calidad (Comisión del Codex Alimentarius [CAC], 2013).

El *Codex Alimentarius* cuenta también con la “Norma general para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos, CXS 193-1995, enmend. 2019” (CAC, 2019). Esta norma regula específicamente, tal y como se muestra en la Tabla 5, el nivel máximo de HCN en harina de yuca para consumo humano, al mismo tiempo que remite al código de prácticas recomendadas CAC/RCP 73-2013:

**Tabla 5**

*Nivel máximo de HCN en productos obtenidos a partir de yuca*

Nombre del producto básico	Nivel máximo /NM), mg/kg	Notas, observaciones
Gari	2	El NM se expresa como ácido cianhídrico libre. La norma correspondiente del Codex para productos es CXS 151-1989
Harina de yuca	10	El NM se expresa como ácido cianhídrico libre. La norma correspondiente del Codex para productos es CXS 151-1989

Fuente: Tomado de Comisión del *Codex Alimentarius* [CAC] (2019).

Aunque no se cuenta con una normativa para harina obtenida a partir de hojas de yuca, el *Codex Alimentarius* tiene una norma para la harina de yuca elaborada a partir de la raíz de *Manihot esculenta* Crantz. Esta es la “Norma para la harina de yuca comestible, CXS 176-1989, enmend. 2019”, en la cual se especifican características y factores de inocuidad y calidad, residuos de

plaguicidas y presencia de contaminantes, refiriendo para este último punto a la norma CAC 193-1995 antes mencionada (CAC, 2019).

### ***Calidad nutricional de las proteínas***

De acuerdo con Quesada y Gómez (2019), las proteínas son las “macromoléculas orgánicas más abundantes en las células vivas, y en el ser humano. Se desempeñan como componentes estructurales, enzimas, hormonas, mensajeros, transportadores y componentes del sistema inmune, entre otras”. (p.80)

Estas, a su vez, se encuentran compuestas por un conjunto de 20 aminoácidos, donde nueve de ellos deben ser consumidos por medio de la alimentación, pues no son sintetizados por el organismo humano, de tal modo que se consideran esenciales. Estos son la histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptófano y valina (Zea et al., 2017).

Para determinar la calidad nutricional de la proteína de las hojas de yuca, es necesario conocer la disponibilidad y digestibilidad de los aminoácidos presentes. Por su parte, la disponibilidad es un determinante en cuanto al contenido de aminoácidos en un alimento, las proporciones en las cuales se encuentran presentes, principalmente de los aminoácidos esenciales, en las cantidades necesarias para satisfacer las funciones fisiológicas del humano y la capacidad de recambio en los diferentes tejidos para ser utilizados (Gutiérrez et al., 2020).

Por su parte, la digestibilidad es la relación analizada entre el nitrógeno

consumido por medio de las proteínas respecto al absorbido, donde 100 % es cuando la totalidad del nitrógeno consumido ha sido absorbido por el organismo. Dos métodos utilizados para determinar la calidad de las proteínas por medio de la digestibilidad son el Puntaje Corregido por Digestibilidad de la Proteína (PDCAAS por sus siglas en inglés), que asume que la digestibilidad de los aminoácidos es la misma en todo el intestino, y el Puntaje Digestible de los Aminoácidos Esenciales (DIAAS por sus siglas en inglés), determinado en la zona de mayor absorción del intestino, el cual es el íleon (Quesada y Gómez, 2019).

Por ejemplo, la digestibilidad aparente de la proteína presente en las hojas de yuca en humanos es de un 76,79 % en dietas con inclusión de 10 % de harina de hojas de yuca, y de un 66,61 % en dietas con inclusión de un 20 %, esto en comparación a un 86,49 % de una dieta control (Giraldo et al., 2006).

### **Métodos de procesamiento para reducir presencia de HCN**

Las hojas de yuca pueden utilizarse en la preparación de sopas o guisos, ya sea en trozos pequeños o grandes. Aunque la principal desventaja de las hojas de yuca es su contenido de ácido cianhídrico, estos niveles pueden ser disminuidos con un proceso eficiente en la elaboración de harina y otras preparaciones. Para eliminar parcial o totalmente su contenido se pueden utilizar diferentes métodos tales como la deshidratación artificial, la cocción en agua (escaldado), o el secado solar (Albán, 2020).

El secado involucra una transferencia de calor y de masa; el calor es transferido al material que se desea secar y proporciona la energía calórica latente

que se requiere para vaporizar la humedad. Seguidamente, el agua se convierte en vapor que va a la corriente de aire, lo cual da como consecuencia la eliminación parcial o total de agua presente en los materiales (Caldas, 2019). Estos procesos se llevan a cabo de manera simultánea e influyen el uno sobre el otro. Así, la deshidratación logra remover la humedad de un material, con el objetivo primario de reducir la actividad microbiana y el deterioro (Santamaría et al., 2022).

La yuca fresca, por tener una humedad entre 60 y 65 %, puede tener grandes pérdidas poscosecha, debido a la deficiencia de mecanismos tecnológicos que se emplean en su conservación. Este principio puede ser aplicado también a las hojas de yuca, por lo que su transformación en harina mediante la aplicación de métodos de secado puede ser valiosa para evitar dichas pérdidas (Fernández et al., 2015).

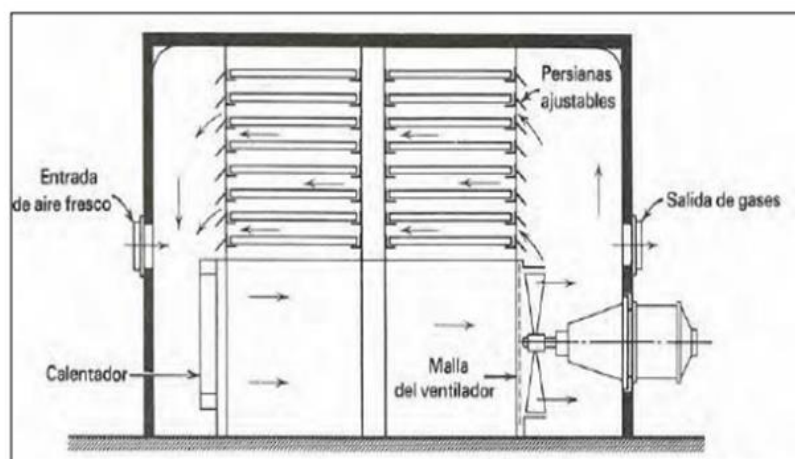
Esta operación unitaria se puede realizar mediante métodos naturales o artificiales. El secado solar natural es una técnica ampliamente utilizada de conservación de los alimentos en muchos países. Este sistema sigue siendo muy empleado por pequeños productores agrícolas en diversas zonas de Costa Rica, debido en gran medida al alto costo de los métodos mecánicos, a la falta de infraestructura y a las condiciones climáticas que permiten su uso a un costo muy reducido (Araya et al., 2019, p.16).

El secado artificial se puede realizar utilizando un secador de bandejas, el cual es un equipo totalmente cerrado y aislado en el cual los sólidos que pueden encontrarse en forma de pasta o trozos se colocan en bandejas cuadradas o

rectangulares de cualquier material que sea compatible con las condiciones de corrosión y temperatura prevalecientes (Ruiz, 2016). La figura 3 ilustra este tipo de secadores.

### Figura 3

#### *Secador de bandejas*



Fuente: Tomado de Diseño de un secador de bandejas para la deshidratación de plátano en la parroquia Veracruz del cantón Pastaza, por Ruiz (2016).

Otro procedimiento que se puede utilizar es el escaldado, tratamiento térmico corto que involucra la exposición de los tejidos vegetales a alguna forma de calor. Generalmente, las temperaturas a las que se someten los productos van desde los 70 hasta los 100 ° C y los tiempos de aplicación no superan los 10 minutos (Tigreros et al., 2021).

### **Métodos de análisis de proteínas, humedad y HCN**

#### ***Proteínas***

El contenido de proteína en los alimentos se puede determinar por diversos

métodos. El método Kjeldahl es actualmente la metodología oficial reconocida por la Asociación Oficial de Químicos Analíticos [AOAC, por sus siglas en inglés], y consiste en una digestión ácida, la cual requiere un tiempo significativo que puede tardar hasta 10 horas. Esta digestión es realizada a una temperatura de 420 °C. Es importante mencionar que este método es complejo y requiere tiempo, dinero, además de contar con una serie de puntos críticos que pueden llegar a ser fuentes de error en el análisis realizado (Churión et al., 2016).

La digestión se realiza con ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) entre 350 y 380 ° C, e inicia con el pesado de la muestra en el tubo de digestor, al que se añaden pastillas catalizadoras. Se agrega sulfato de potasio ( $K_2SO_4$ ), para aumentar el punto de ebullición del  $H_2SO_4$  y catalizadores con el fin de acrecentar la velocidad y la eficiencia del procedimiento (PanReac Applichem, 2018). El color de la muestra se aclara cuando la digestión se considera concluida, o sea cuando la solución presenta un color verde claro (Medina y Martínez, 2018).

Para la destilación, se adiciona agua destilada e hidróxido de sodio (NaOH) a la muestra que se encuentra en un tubo de ensayo. Luego de 5 min, el producto generado se coloca en un erlenmeyer y se adiciona ácido bórico ( $H_3BO_3$ ) al 2% (Medina y Martínez, 2018).

Una vez destilado, se procede a bajar el erlenmeyer de la plataforma con la solución por valorar y se titula con  $H_2SO_4$  al 0,1N hasta que la solución presente un color azul cristalino. (Medina y Martínez, 2018). Por último, se valora con ácido clorhídrico (HCL) al 0,1 N hasta obtener un color violeta.

El cálculo de contenido de proteína se realiza con la siguiente fórmula:

$$\%N = \frac{[\text{volumen de HCl utilizado} - \text{Volumen blanco}] \times F \times N}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

Cabe destacar que F es el factor de la solución y N la normalidad de la solución de HCl. El resultado obtenido se multiplica por un factor preestablecido para obtener el contenido de proteína en porcentaje masa/masa.

Con respecto a la determinación de aminoácidos en alimentos, el primer paso es descomponer las proteínas en cadenas más sencillas, lo cual se realiza por diferentes métodos que buscan romper los enlaces disulfuro. Entre estos, se encuentran métodos físicos, químicos y biológicos. La hidrólisis física consiste en una combinación de tiempos, temperaturas y presiones para solubilizar las proteínas. Por su parte, la hidrólisis química utiliza sustancias ácidas y básicas para la extracción de las proteínas; y, la hidrólisis enzimática, que es la biológica, utiliza bacterias y hongos capaces de producir enzimas necesarias para hidrolizar las proteínas (Oviedo, 2022).

Uno de los procesos de hidrólisis más utilizados es la química, propiamente la ácida, donde la materia en análisis se somete a exposición de sustancias ácidas como el ácido clorhídrico o el ácido sulfhídrico en grandes cantidades para propiciar la descomposición de las proteínas en péptidos y aminoácidos libres a altas temperaturas entre 121 y 138 ° C y a altas presiones (220 - 319 mPa), para posteriormente neutralizar la solución a un pH entre 6,0 - 7,0 concentrándola hasta obtener una pasta o compuesto seco según sea lo deseado (Mudarra, 2022).

La hidrólisis ácida se utiliza con mayor frecuencia debido a su bajo costo y facilidad de uso. Sin embargo, este no es el método por medio del cual se obtienen los mejores resultados, debido a que disminuye considerablemente el contenido nutricional del producto, lo cual causa la destrucción de aminoácidos esenciales, principalmente los aromáticos como el triptófano, aunque también la metionina, la cistina y la cisteína, además de la conversión de aminoácidos a su forma ácida, como el caso de la glutamina en ácido glutámico (Mudarra, 2022).

Por su parte, la hidrólisis alcalina se caracteriza por ser una saponificación de enlaces de ésteres intramoleculares que generan las uniones de los xilanos de la hemicelulosa y la lignina, las cuales son las que dan la rigidez y dureza a las paredes celulares vegetales, que se deben tomar en consideración para poder tener un buen rendimiento del método (Ávalos y Benites, 2022). Esto se lleva a cabo mediante el precalentamiento de la muestra, la adición del reactivo que generalmente es NaOH 2M, y temperatura a un tiempo constante de una hora, donde la variable de la temperatura tiene impacto directo sobre el rendimiento de la solubilización de las proteínas y la recuperación de péptidos y su tamaño, siendo las temperaturas cercanas a 120 ° C las consideradas que más degradación de péptidos realizan (Rojo et al., 2023).

Para realizar la hidrólisis enzimática, el sustrato a descomponer se debe diluir con una mezcla de fosfatos conocida como tampón fosfato a un pH 8 en proporción al 10 %, para luego mezclarse con las enzimas, principalmente proteasas, a una temperatura de 60 ° C durante 24 h, y a su vez se va a detener la reacción al sumergir el reactor de vidrio encamisado en agua de hielo para así

obtener el hidrolizado de proteínas. Este se filtra a vacío con papel filtro y se congela, luego se liofiliza y se puede mantener en refrigeración para estudios posteriores (Martínez, 2023).

En la hidrólisis enzimática, se debe considerar que las proteasas van a tener diferentes mecanismos de acción según sean endopeptidasas o exopeptidasas. Sin embargo, en ambos casos se obtiene la liberación de péptidos con propiedades tecno funcionales y bioactivas de tamaño, secuencia y actividad biológica específica, tomando en consideración condiciones de proceso como relación enzima-sustrato, velocidad de agitación, concentración de oxígeno, adicionales a los previamente mencionados (Espinoza y Castillo, 2022). Seguidamente del proceso de hidrólisis, se debe aplicar el de dilución, con el fin de que el soluto se encuentre diferenciado y uniforme para su luego cuantificarlo.

Para el proceso de análisis final de la muestra, se cuenta con dos técnicas que juntas aumentan su selectividad y eficiencia: la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC por sus siglas en inglés) acoplada a espectrometría de masas (MS por sus siglas en inglés) en tándem. La primera es una técnica de separación que consta de dos fases; la móvil, que es donde los componentes de la muestra se encuentran disueltos en un disolvente adecuado que, aplicando altas presiones, se ve forzado a atravesar la columna cromatográfica. Dentro de dicha columna, se encuentra la fase estacionaria, donde el material interno logra retener de forma selectiva los componentes de ésta, lo que resulta en la salida de los componentes separados de la columna en función de los tiempos de retención del cromatograma, que tiene la capacidad de identificar cualitativa y cuantitativamente

las especies separadas (Servicios Técnicos de Investigación, 2022).

Dicha técnica es sumamente específica y, acoplada a la espectrometría de masas –que permite la detección, identificación y cuantificación tanto de compuestos orgánicos como organometálicos– tiene una alta confiabilidad. La MS está basada en la ionización de las moléculas, su separación y el registro de los iones producidos mediante su relación masa/carga ( $m/z$ ) al vacío. Al producirse una señal eléctrica reconocida por el detector, queda registrada una representación gráfica de la abundancia de los iones detectados conocida como composición elemental y su caracterización estructural, para lo cual es necesario contar con patrones de referencia (Castroviejo, 2020).

Para evaluar la calidad proteica, se utiliza el método de puntuación de los aminoácidos corregido por la digestibilidad de la proteína (PDCAAS). Este se calcula con la puntualidad del aminoácido limitante en un gramo de la proteína, la cual es el objeto del estudio y el valor de la proteína con la cual se hace referencia para el análisis. Este aminoácido limitante se multiplica por la digestibilidad de la proteína para así determinar hasta qué punto esta logra satisfacer la demanda de aminoácidos. Es importante destacar que este método se viene utilizando desde hace más de 20 años y su valor práctico se ha comprobado a pesar de que cuenta con ciertas limitaciones. (FAO y Fundación Iberoamericana de Nutrición [FINUT], 2017).

El patrón de referencia de aminoácidos fue propuesto por la FAO, la OMS y la Universidad de las Naciones Unidas [UNU] en el 2007 (FAO y FINUT, 2017). En

la tabla 6, se puede observar el patrón de aminoácidos de referencia y el de las hojas de yuca; se evidencia que esta última tiene una buena calidad de proteína, lo cual representa un valor inferior al patrón únicamente respecto a la metionina + cisteína.

**Tabla 6**

*Patrones de aminoácidos de referencia y el aportado por harina de hojas de yuca*

Aminoácido esencial	Patrón de aminoácidos para adulto (a)	Patrón de aminoácidos aportado por harina de hojas de yuca (b)
	(mg/g proteína)	(mg/g proteína)
Histidina	15	25
Isoleucina	30	41
Leucina	59	100
Lisina	45	71
Metionina + Cisteína	22	14
Fenilalanina + Tirosina	38	38
Treonina	23	47
Triptófano	6	11
Valina	39	62

Fuente: Tomado de (a) FAO y FINUT (2017) y (b) Giraldo (2008).

### ***Humedad***

El contenido de humedad se refiere a la magnitud que identifica la cantidad de agua que contiene una muestra sólida con respecto a su peso total, por lo que al pasar por un proceso de secado se puede expresar en términos de masa seca (base seca) o masa húmeda (base húmeda); es importante tener en claro la base del análisis para no incurrir en errores de interpretación (Instituto Nacional de Metrología Colombiana [INM], 2021).

La técnica por excelencia para la cuantificación de contenido de humedad es la determinación gravimétrica. Esta consiste en el calentamiento de la muestra en una estufa y luego medir la pérdida en peso según la volatilización del agua. La AOAC la reconoce como método oficial para la determinación de humedad en alimentos sólidos y harinas, bajo el método oficial estandarizado AOAC 925.14 y el método alternativo 925.09. Este método requiere entre 1 - 5 h dependiendo de la composición de la matriz y temperatura empleada, lo cual es una de sus principales desventajas (Instituto de Salud Pública de Chile [ISP], 2021).















### ***Contenido de HCN***

Existen diversos métodos para determinar el contenido de glucósidos cianogénicos, generalmente expresados como HCN. Uno de los más utilizados es el método cualitativo, que se basa en la reacción de Guignard, que utiliza ácido pícrico ( $C_6H_2(NO_2)_3OH$ ) y carbonato de sodio ( $Na_2CO_3$ ) o bicarbonato de sodio ( $NaHCO_3$ ). Se obtiene un anión de picrato, el cual reaccionará de forma bastante particular en presencia de formas de iones de cianuro ( $CN^-$ ), lo que produce un cambio de color durante esta reacción, que es registrado fácilmente y correlacionado con la concentración del analito al determinarse la presencia de iones cuando se forma un complejo de color rojizo (Anaya et al., 2018).

El complejo coloreado formado se captura utilizando un papel de filtro y, tal como se muestra en la figura 4, se compara con una carta de colores estandarizada con una escala, la cual se relaciona con el contenido de ácido cianhídrico (HCN) (ppm). A mayor intensidad de color rojo, mayor contenido de HCN en la muestra.

#### Figura 4

*Carta y escala de colores para la determinación cualitativa de HCN utilizando la reacción de Guignard*

<b>Color Generado</b>														
<b>Concentración en PPM</b>	0	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1	2	3	5	10	20	30	50

Fuente: Tomado de Anaya et al. (2018).

En cuanto a métodos cuantitativos, se puede usar la cromatografía HPLC. Esta técnica es utilizada para separar componentes de una mezcla basándose en distintos tipos de interacciones químicas entre las sustancias analizadas y la columna cromatográfica. El tiempo que tarda en ser eluidos los distintos componentes de una mezcla dentro de la columna se llama tiempo de retención y se considera una propiedad identificativa de un compuesto en una determinada fase móvil y estacionaria. Al utilizar presión se incrementa la velocidad lineal de los compuestos que se van a encontrar dentro de la columna, reduciendo así su difusión dentro de la columna y mejorando la resolución de la cromatografía. Los compuestos más utilizados son agua, metanol y acetonitrilo (Anaya et al., 2018).

Por último, la determinación también se puede hacer por espectrometría ultravioleta-visible (UV-Vis). Este método consiste en la extracción y cuantificación del ácido cianhídrico utilizando la hidrólisis ácida de la muestra. Tanto al extracto como a los patrones de la curva de calibración se les añade solución de cloramina

T y piridina-ácido barbitúrico para generar color, y posteriormente se realiza la cuantificación en el espectrofotómetro UV-Vis (Bradbury et al., 1994). Estos autores lo desarrollaron para la determinación de matrices de yuca y sus derivados y el método, con algunas modificaciones, está siendo implementado en el Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria [INTA] de Costa Rica.

### **III. Marco metodológico**

En este apartado, se detalla la metodología implementada para el desarrollo de cada uno de los objetivos propuestos.

### **Enfoque de la investigación**

Se utilizó una combinación de las dos corrientes de abordaje de una investigación, a saber, cualitativa y cuantitativa, por lo que el enfoque del presente trabajo es de tipo mixto. Este enfoque es el indicado “cuando una fuente de datos puede ser insuficiente para responder el problema de investigación, o cuando los resultados necesitan ser explicados y los hallazgos exploratorios precisan ser generalizados” (Lorenzini, 2017, párr.6).

El enfoque cualitativo se utilizó para explorar a profundidad el estado actual de la generación y manejo de residuos de follaje de yuca en la región Huetar Atlántica y valorar así su disponibilidad para uso en alimentos de consumo humano, esto mediante visitas de campo y consulta a productores, con los cuales se mantuvieron conversaciones para comprender el contexto, así como mediante la aplicación posterior de una encuesta para recolectar información relevante.

Por otro lado, el enfoque cuantitativo se incluyó en la recolección de datos de los ensayos experimentales y de análisis de laboratorio, los cuales permitieron caracterizar las harinas obtenidas a partir de las hojas de yuca y poder así proponer próximos pasos para el aprovechamiento de estas.

### ***Tipo de investigación***

El tipo de diseño de la investigación planteada es experimental-exploratorio. Según Hernández et al. (2014), la investigación se podría enmarcar específicamente como preexperimental, que generalmente es muy útil cuando se da un acercamiento preliminar a un tema poco estudiado. Además, se recomienda cuando se pretende identificar antecedentes generales, ubicar aspectos relevantes o relaciones potenciales entre variables que servirán de base para profundizar en futuras investigaciones (Universidad Latinoamericana, 2017).

### **Sujetos y fuentes de información**

El objeto de estudio de esta investigación preliminar es la hoja de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz), materia prima que podría convertirse en una eventual fuente alternativa de proteína vegetal para consumo humano.

La investigación utilizó fuentes de información primarias y secundarias, entre las cuales se pueden mencionar revisión de artículos científicos, tesis de grado y postgrado, libros y manuales técnicos, entre otros. Además, se realizaron entrevistas a productores de yuca de la región Huetar Atlántica.

### **Pregunta generadora**

¿Es viable técnica y nutricionalmente aprovechar las hojas de yuca, para obtener una harina que sea fuente de proteína vegetal para consumo humano?

## **Variables**

En la tabla 7, se presenta el detalle de la definición y operacionalización de las variables que se estudiaron en esta investigación.

**Tabla 7***Definición y operacionalización de variables*

Objetivo específico	Variable (s)	Definición conceptual	Definición operacional	Definición instrumental
Establecer la situación actual de la generación y manejo de residuos de follaje de yuca ( <i>Manihot esculenta</i> Crantz) en la región Hueta Atlántica, para valorar su disponibilidad para uso en alimentos de consumo humano, mediante visitas de campo y consulta a productores.	Edad fisiológica en que se pueden cosechar las hojas. Cantidad estimada (kg/año) de subproducto del follaje generado por hectárea sembrada. Disponibilidad del productor para valorizar las hojas. Buenas prácticas recomendadas para el manejo del subproducto. Residuos de pesticidas.	Características y condiciones que se deben conocer para poder establecer el potencial de uso de las hojas de yuca para su valorización como materia prima. Permitirán establecer la viabilidad técnica de la materia prima.	Entrevistas y visitas de campo para conocer las condiciones y visualizar el potencial de uso de las hojas. Barrido de plaguicidas (Laboratorio SUPLILAB, prestación de servicios).	Encuesta mediante formulario digital. Entrevista personal Registro y análisis de datos. Sugerencia de procedimiento operativo estándar para el manejo del subproducto
Valorar posibles condiciones de procesamiento para obtención de harina como fuente de proteína con niveles aceptables de HCN, a partir de hojas de la yuca ( <i>Manihot esculenta</i> Crantz), mediante ensayos experimentales en planta piloto.	Condiciones de temperatura, picado y secado.	Temperatura: magnitud con la cual se medirá el calor presente en el proceso de secado y que va a permitir reducir el contenido de HCN en las hojas. Picado: se refiere al rebanado en trozos pequeños, en este caso de las hojas de yuca. Secado: operación unitaria para remover humedad de un producto.	Ensayos experimentales para definir el diagrama de flujo que permita alcanzar el nivel aceptable de HCN. Incluye parámetros de tiempo y temperatura.	Diseño experimental de los ensayos a realizar en la planta piloto. Elaboración del diagrama de flujo. Documentación de resultados. Equipos de procesamiento: picadora, horno, balanzas, selladora, cuarto de refrigeración

Tabla 7. Continuación

Objetivo específico	Variable (s)	Definición conceptual	Definición operacional	Definición instrumental
Estudiar el efecto del método de procesamiento y la variedad genética de la hoja utilizada en el contenido de proteína, humedad y HCN de las harinas obtenidas a partir de las hojas de yuca ( <i>Manihot esculenta</i> Crantz), mediante análisis de laboratorio.	En las hojas frescas: Contenido de HCN (mg/kg) Contenido de humedad (%) Contenido de proteína (%) En la harina (hojas deshidratadas): Contenido de HCN (mg/kg) Análisis proximal (%).	Contenido de HCN: Cantidad de HCN (mg/kg) presente en la muestra. Composición química de las hojas frescas y la harina: contenido de macronutrientes, expresado en porcentaje m/m	Análisis de humedad y proteína a hojas frescas de dos variedades (UTN-Laboratorio San Martín). Análisis proximal y de HCN a la harina de la variedad con mayor contenido de proteína (Laboratorios externos: INTA - colaboración institucional-, CITA - prestación de servicios-). Carbohidratos totales: Por diferencia 100-(%Humedad + %Ceniza + %Proteína + %Grasa) Ceniza: 923.03 AOAC, P-SA-MQ-004 Grasa cruda: P-SA-MQ-005. Humedad: P-SA-MQ-002. Proteína (Nx6,25): 920.152 AOAC modificado, P-SA-MQ-003. Fibra soluble: 993.19 AOAC. Fibra insoluble: 991.42 AOAC. HCN: INTA-MAG, adaptado de Bradbury <i>et al.</i> 1994	Registro de condiciones de proceso y análisis de resultados de laboratorio (bitácora de ensayos). Registros y bitácora de resultados. Estufa al vacío, Kjendahl, Soxhlet, Mufla, UV-Vis
Determinar la calidad nutricional de las proteínas de la harina obtenida a partir de las hojas de yuca ( <i>Manihot esculenta</i> Crantz) mediante la comparación de su perfil de aminoácidos con el huevo y la soya.	Perfil de aminoácidos y contenido de proteína total. Recomendaciones de posibles mezclas de harinas para generar un producto con proteína de alto valor biológico.	La calidad proteica se valora no solo con el contenido de proteína, sino con la calificación o escore de aminoácidos corregido por digestibilidad proteica. Sirve para calcular y comparar el perfil de aminoácidos de una proteína en estudio con las necesidades del niño mayor a un año que representan los requerimientos más exigentes de los diferentes grupos etarios	Análisis de perfil de aminoácidos (Laboratorio del CENIBIOT -prestación de servicios-)	Resultados de análisis de laboratorio. Análisis comparativo con otras proteínas de alto valor biológico (con base en referencias). HPLC-MS para el perfil de aminoácidos



## **Población y muestra**

Las hojas de yuca fueron suministradas por dos productores de la Región Huetar Atlántica, identificados en adelante como Productor 1 y Productor 2. Los productores específicos, la variedad de yuca por utilizar, así como los procedimientos de recolección y envío de las mismas se definieron con las entrevistas, encuestas y visitas de campo.

## **Descripción de la metodología**

Para iniciar esta investigación, se realizó un sondeo mediante llamadas telefónicas a productores de yuca de la zona Huetar Atlántica para conocer el interés de estos en colaborar con el proyecto.

### ***Entrevista personal***

Una vez que se identificaron algunos productores interesados en participar en la investigación, se programó la visita de campo en la que se realizó una entrevista personal para conocer más a detalle la producción de yuca, la disponibilidad de poder usar sus hojas, así como conocer la cantidad de hectáreas sembradas en la zona, la cantidad de subproducto que es desechado como parte de la cosecha de la yuca, en este caso las hojas de yuca, y el uso que le dan a éstas en caso de estarlas aprovechando para otra actividad.

Esta primera visita permitió entender que las hojas de yuca de esta zona podrían ser usadas como materia prima para el proyecto. También esta permitió

coordinar aspectos tales como la recolección de las hojas y su envío hasta la Sede Atenas de la UTN.

### **Análisis de plaguicidas**

El análisis se realizó mediante prestación de servicios del Laboratorio Suplilab, ubicado en Zapote, San José, el cual tiene implementado el método de análisis de “Residuos de pesticidas en alimentos por extracción con acetonitrilo y fraccionamiento con sulfato de magnesio, AOAC 2007.01” utilizando la metodología de cromatografía de gases/espectrometría de masas (GC/MS) (AOAC, 2007).

### ***Registro y análisis de datos***

Durante todo el estudio, se implementó el uso de una bitácora para recopilar todos los datos recolectados experimentales, observaciones y actividades que se realizaron.

En la bitácora se incluyeron datos específicos, evidencias fotográficas, procedimientos, temperaturas, medidas y todo aquello que sea necesario para la realización de un manual operativo estándar del método seleccionado como óptimo.

### ***Diseño experimental de los ensayos a realizar en planta piloto***

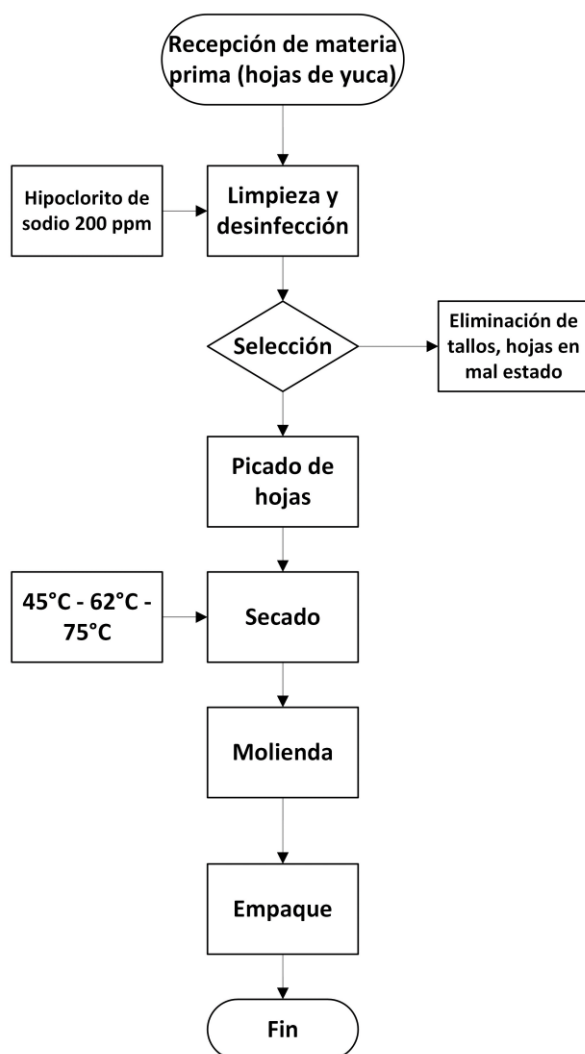
Se realizaron tres ensayos piloto para la obtención de harina a partir de las hojas de yuca en la sede de la Universidad Técnica Nacional, ubicada en Balsa de Atenas, para poder definir la metodología que permitió obtener la harina con un contenido de HCN óptimo para el consumo humano.

### **Diagrama de flujo y descripción del proceso realizado**

Se plantearon varias alternativas para las operaciones de picado, secado y molienda. Las mismas se detallan en el apéndice A. Con base en los resultados obtenidos, se definió el diagrama de flujo definitivo que se muestra en la figura la figura 5.

### **Figura 5**

*Diagrama de flujo de la elaboración de harina de hojas de yuca*



*Fuente: Elaboración propia (2023).*

A continuación, se describen las distintas etapas incluidas en el diagrama de flujo de la figura 5.

#### Recepción de materia prima:

En esta etapa, se llevó a cabo una inspección visual de las hojas de yuca, se desecharon las que no se consideraron en un estado óptimo para continuar con el proceso (marchitas, con moho, peciolos y tallos grandes), y se determinó el peso de estas para establecer los parámetros de rendimiento necesarios para el proceso.

#### Lavado y desinfección:

Las hojas se lavaron manualmente con agua potable, posteriormente se desinfectaron con una solución de hipoclorito de sodio ( $\text{NaHClO}$ ) a 20 ppm.

#### Picado de hojas:

El picado se realizó manualmente con el uso de un cuchillo.

#### Secado:

Se utilizó un secador de bandejas marca Weston, modelo 74-1001-W PRO-1000, de acero inoxidable ubicado en la Planta Docente de la UTN; el secado se realizó por circulación continua de aire caliente a tres diferentes temperaturas: 45, 62 y 75 °C. Para obtener valores de humedad final entre 5 - 9 %, los procesos se llevaron a cabo por tiempos distintos en función de la temperatura: para el secado a temperatura de 45°C se requirió un tiempo promedio de 210 min, para la temperatura de 62 °C un tiempo de 180 min y para la temperatura de 75 °C un tiempo de 130 min. Para la determinación de la humedad final con el fin de detener

el secado, se utilizó una termobalanza (analizador de humedad) HC103 (230V), de la marca Mettler Toledo, disponible en la Planta Docente.

#### Molienda:

La reducción de tamaño del material seco se realizó con un procesador de alimentos de uso doméstico, marca Oster.

#### Empaque:

Las hojas de yuca deshidratadas se empacaron en bolsas laminadas de alta barrera a la humedad conformadas por un coextruido de polietileno de alta densidad, polietileno de baja densidad y EVOH (etilen-vinil alcohol). Para el sellado se utilizó la selladora FS-300 de impulso manual, de la marca SF de la Planta Docente de la UTN.

#### ***Diseño experimental para el muestreo***

Se tomaron muestras de 5 kg de hojas de variedad Valencia y variedad Señorita, cada variedad procedente de una finca productora distinta. A estas se les realizó análisis de humedad y proteína.

Los procesos de secado se realizaron por duplicado, procesando en cada repetición 1,2 kg de hojas frescas.

Posteriormente, se seleccionó la variedad con mayor contenido de proteína en la hoja fresca para realizar los análisis de HCN y proximal.

## **Metodología de análisis**

**Medición de rendimientos de proceso.** Para el control de rendimientos de proceso se utilizó la balanza granataria marca Ocony, modelo Romana Electrónica Ocony SS de la Planta Docente de la UTN. Se realizaron mediciones de masa de las hojas en las diferentes etapas, a saber: (1) hojas enteras sin procesar, (2) hojas después de la selección (eliminación de hojas marchitas y peciolo), lavado, desinfección y picado, (3) hojas deshidratadas, (4) hojas molidas (harina). Para el cálculo de los rendimientos se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento, R (\%)} = \frac{\text{Masa final de cada etapa}}{\text{Masa inicial de cada etapa}} \times 100$$

**Análisis de humedad de las hojas frescas.** El análisis se realizó por triplicado, en el laboratorio de Ciencias Básicas de la UTN. Se utilizaron muestras de hojas de yuca variedad Valencia y variedad Señorita, y el análisis se realizó con el método gravimétrico oficial por estufa marca Gallenkamp modelo HOTBOX OVEN SIZE ONE, AOAC 2000 925.10 (K. Campos, Laboratorio de Ciencias Básicas, UTN, comunicación personal, setiembre 2023). Se pesó cada cápsula de metal codificada y previamente desecada, luego se pesaron 4,0000g +/-0,0500g de muestra de hojas de yuca fresca en una balanza analítica marca Adam, modelo PW254. Posteriormente, las muestras se introdujeron en la estufa a 105 °C durante 4 h. Pasado dicho tiempo, se dejaron enfriar en un desecador para volver a pesarse en la balanza analítica y determinar la humedad por diferencia (masa final menos masa inicial), utilizando la fórmula mostrada a continuación. El detalle completo del cálculo

se encuentra en la tabla A16 (Apéndice A).

$$\text{Humedad (\%)} = \left( \frac{M-m}{M} \right) \times 100$$

Donde:

M: masa inicial muestra fresca

m: masa final muestra seca

**Análisis de HCN a las hojas deshidratadas obtenidas por los tres métodos de secado.** El análisis de HCN se realizó mediante colaboración institucional del Laboratorio de Nutrición Animal del INTA, ubicado en Ochomogo, Cartago, que tiene implementado el método para el análisis en la raíz de yuca.

La determinación cuantitativa se realizó por espectrometría UV-Vis, de acuerdo con el método descrito por Bradbury et al. (1994) con modificaciones, utilizando como reactivos ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) 0,1 M, ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 4 M, hidróxido de sodio (NaOH) 3,6 M, buffer de fosfato, pH 6,60, cloramina T y piridina-ácido barbitúrico. A continuación, se presenta un resumen de las principales etapas del análisis realizado.

Todas las muestras se prepararon por duplicado; también se prepararon disoluciones con concentración conocida de HCN para la curva patrón.

Para extraer el ácido cianhídrico, se pesaron 30 g de muestra, a la cual se le adicionaron 60 mL de ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) 0,1 M, se agitó por dos minutos para facilitar el contacto de la muestra con la disolución añadida y luego se centrifugó a 4500 rpm por 10 minutos. Posterior a esto, se filtró el líquido sobrante a través de

un papel filtro Whatman 54. La muestra ya extraída se llevó a un balón aforado con 100,00 mL de  $\text{H}_2\text{PO}_4$  0,1 M, del cual se tomaron 2,00 mL que se llevaron a centrifugar. Se adicionaron 2,00 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  4 M y se colocaron en baño maría a una temperatura de  $100^\circ\text{C}$  por 50 minutos. Posteriormente, los tubos que contenían la muestra se dejaron enfriar a temperatura ambiente. Una vez enfriados, se agregaron 5,00 mL de NaOH al 3,6 M y se agitaron manualmente para luego dejarlos reposar durante 5 a 10 minutos.

Para la cuantificación del HCN se tomó 1,00 mL de cada muestra a la cual se le adicionaron 7 mL de buffer de fosfatos y 0,4 mL de solución de cloramina T. De la muestra de control se tomó igualmente 1,00 mL y se le adicionaron 1,00 mL del patrón, el cual tiene un concentrado de 0,5 ppm.

Las muestras se colocaron en hielo o refrigeración por 5 minutos, se agregaron 1,6 mL de solución de piridina-ácido barbitúrico y se llevó a baño maría por  $50^\circ\text{C}$  durante 30 minutos. Se leyó la absorbancia por el espectrofotómetro UV-VIS a 583 nm. El mismo día de la cuantificación, se realizaron las muestras para la curva patrón. La figura 5 muestra las distintas diluciones una vez que se generó el complejo coloreado rosado con la cloramina T. Se prepararon muestras patrón con las siguientes concentraciones de HCN: 0,10-0,25-0,50-0,75-1,0-1,2 y 1,5 mg/L.

**Figura 4**

*Patrones de HCN para elaborar la curva de calibración*



Fuente: Fotografía propia tomada en INTA (2023)

**Análisis de contenido de proteína en hojas frescas.** Se analizó el contenido de las hojas frescas mediante prestación de servicios en el Laboratorio San Martín, de acuerdo con el procedimiento AOAC y al procedimiento FAO (así indicado en el informe de resultados, ver Anexo 1).

**Análisis proximal de la harina obtenida por secado a 75 °C.** Estos análisis se realizaron mediante prestación de servicios en el Laboratorio de Química del Centro Nacional en Ciencia y Tecnología de Alimentos [CITA] de la Universidad de Costa Rica. A continuación, el detalle de los análisis realizados.

**Análisis de proteína.** Se analizó la proteína mediante el método 920.152 AOAC modificado, P-SA-MQ-003 (nitrógeno total por método Kjeldahl, utilizando equipo Foss Tecator, acreditado por el ECA). Para este análisis, se tomaron 0,7 – 2,2 g de muestra molida, a la que se le agregaron 3 gotas de antiespumante. La digestión de la muestra se realizó a 420 °C durante 1,5 h. El porcentaje de nitrógeno

obtenido se convirtió a proteína cruda, multiplicando por un factor de 6,25 (CITA, 2021a).

*Análisis de grasa cruda por extracto etéreo.* El análisis se realizó por extracción de grasa de 2,0 g de material seco en un equipo de extracción Soxhlet, utilizando cartuchos con papel Whatman N.º 4, agregando éter de petróleo en tal cantidad que se rebase dos veces la trampa, lo cual permite que el éter de petróleo llegue al balón. El extracto etéreo se recogió en un balón que fue secado previamente en la estufa de convección natural por un periodo de una hora a 100 ° C, luego enfriado en el desecador y medido en balanza analítica. El período de extracción fue de 8 horas a una velocidad de condensación mayor o igual a 2-3 gotas/segundo. La mayor parte del éter se evaporó en el evaporador rotatorio. Por último, el extracto se secó al dejarlo en la estufa de convección al menos 2 horas, a aproximadamente 100 ° C; luego se enfrió y se midió su masa, hasta alcanzar peso constante (CITA, 2022).

*Análisis de humedad.* Se colocó papel Whatman N.º 1 en la cápsula, que se llevó a peso constante (98-100 °C) por aproximadamente una hora. Una vez enfriada, se colocaron 2 g de muestra y se colocaron en la estufa a una temperatura de 95-100 °C durante 2 horas, al vacío (< 2 pulgadas de Hg). Transcurrido el tiempo, la cápsula se tapó y transfirió a un desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente. El cálculo se realizó de la siguiente manera:

$$\% \text{ humedad} = \left( \frac{MCM - MCMS}{MCM - MC} \right) \times 100$$

Donde:

MC = masa cápsula vacía

MCM= masa cápsula + muestra

MCMS= masa de cápsula + muestra seca.

Cuando se lleva a peso constante es la pesada menor, no necesariamente es la última pesada (CITA, 2021b).

*Análisis de ceniza.* El análisis se realizó siguiendo el procedimiento 923.03 AOAC, P-SA-MQ-004 (así indicado en el informe de resultados del CITA, ver en anexo 3).

*Análisis de carbohidratos totales.* El contenido de carbohidratos totales (CHO) se obtuvo por diferencia, aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{CHO (*)} = 100 - (\% \text{ humedad} + \% \text{ ceniza} + \% \text{ proteína} + \% \text{ grasa}).$$

(\*) El dato reportado incluye la fibra cruda.

***Análisis de fibra soluble.*** Este análisis se realizó con el método 993.19 AOAC (así indicado en el informe de resultados del CITA, ver en anexo 3).

***Análisis de fibra insoluble.*** El análisis se realizó con el método 991.42 AOAC (así indicado en el informe de resultados del CITA, ver en anexo 3).

**Perfil de aminoácidos de proteína de harina de hojas de yuca.** El análisis se realizó por prestación de servicios en el Laboratorio del CENIBIOT, con la técnica HPLC-MS, con los siguientes equipos: cromatógrafo líquido de alta resolución, Agilent 1200, espectrómetro de masas de triple cuadrupolo, Qtrap 4000 AB Sciex.

La determinación inició con una hidrólisis ácida, usando el método establecido en el CeNIBiot, luego el filtrado se colocó en viales de inyección, para ser analizadas mediante cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas en tándem. Se preparó una curva de calibración de cada compuesto y la cuantificación se realizó al interpolar la curva patrón para obtener la concentración de cada analito presente en la muestra. Los resultados de las muestras se promediaron y se calculó la desviación estándar de la medición (información suministrada en el informe de análisis de resultados, ver anexo 4).

*Análisis comparativo del perfil de aminoácidos con proteínas de referencia.*

Con base en los resultados obtenidos e información disponible en la literatura, se hizo un análisis comparativo de la similitud de los resultados del análisis del perfil de aminoácidos de la harina con el perfil de aminoácidos de la proteína del huevo y de la harina de soja, para poder recomendar posibles combinaciones con otras proteínas vegetales para formar proteínas de alto valor biológico.

## **IV. Análisis de resultados**

## **Situación actual de la generación y manejo de residuos de follaje de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en la región Huetar Atlántica**

Se realizó una encuesta mediante un formulario de Google, para conocer el interés que tenían los agricultores de la Región Huetar Atlántica en un eventual aprovechamiento de las hojas de yuca, así como para averiguar acerca de aspectos importantes de la generación y manejo de estas, y su disponibilidad para colaborar con el estudio. El cuestionario inició con una breve explicación del objeto y enfoque del estudio, para que las personas productoras entendieran el interés del uso de las hojas de yuca que se generan en sus plantaciones, e incluyó las siguientes preguntas:

- ¿Qué variedad de yuca siembra en su finca o parcela?
- ¿Cuánto terreno dedica al cultivo de la yuca?
- ¿Qué usos les da a las hojas (follaje) que genera su plantación?
- ¿En qué punto del proceso de crecimiento de la yuca elimina las hojas de las plantas?
- ¿Le interesaría tener una opción para dar valor agregado a las hojas que desecha en su plantación?
- ¿Estaría dispuesto a donar alguna cantidad de hojas para realizar estudios académicos?
- ¿Qué opina de nuestra propuesta de elaborar harina de hojas de yuca? Comparta sus comentarios.
- Por último, escriba su nombre y número de teléfono para poder contactarlo.

La encuesta fue llenada por 18 personas; el formulario con las respuestas

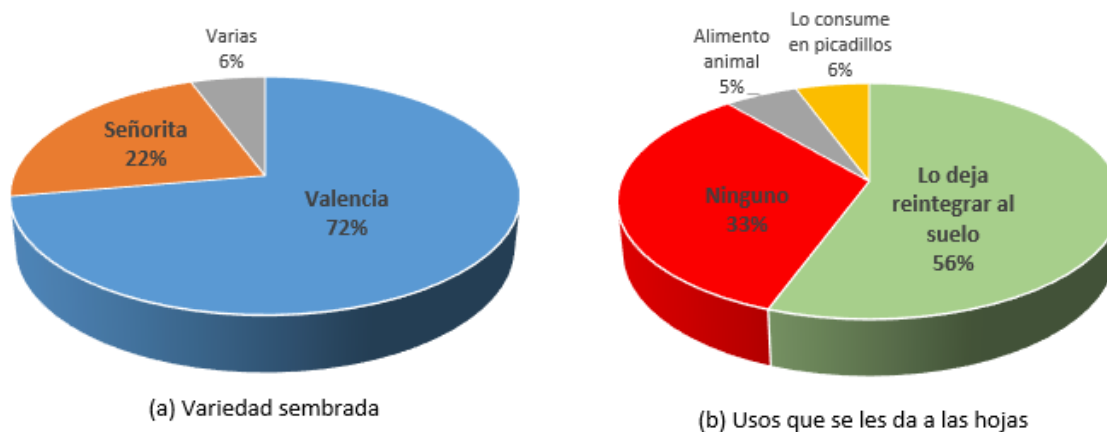
textuales completas se incluye en el apéndice C.

Como se puede apreciar en la figura 6, un 72,2 % de las personas productoras encuestadas indican sembrar variedad Valencia, seguido de un 22,2 % que siembra variedad Señorita. Según Aguilar et al. (2017), estas variedades son las más producidas en el país, aunque existen otras producidas en menor escala, y la yuca Valencia es la que presenta mayor demanda en el mercado nacional e internacional, siendo también cultivada en pequeñas áreas para la alimentación familiar.

Con respecto al uso que se les da a las hojas, Aguilar et al. (2017) mencionan que, por lo general, el follaje se destina principalmente para elaborar productos en alimentación animal, en especial de rumiantes; este uso solamente fue referido por un 5,6 % de las personas productoras. (Figura 7).

### Figura 5

*Variedades sembradas y usos que se le da a las hojas de yuca*



Fuente: Resultados de encuesta propia realizada a 18 personas productoras de la región Huetar Atlántica, Costa Rica.

En cuanto al momento en que las hojas son retiradas de la planta, un 83,3 % de los productores indica que estas se eliminan en el momento de la cosecha (sumando las respuestas “junto a la cosecha + al final antes de cosechar”). Los resultados se muestran en la figura 8. Esta información es valiosa para decidir más adelante el momento de recolección de las hojas.

### Figura 6

*Momento en que se separan las hojas de la planta de yuca*



Fuente: Resultados de encuesta propia realizada a 18 personas productoras de la región Huetar Atlántica, Costa Rica.

Una de las principales intenciones de esta investigación preliminar exploratoria era conocer si hay interés por parte de las personas productoras en tener acceso a opciones para el aprovechamiento de las hojas; un 89,9 % (16 personas) menciona tener interés, ya que les parece una oportunidad innovadora para aprovechar y tener una mayor utilidad en su plantación, lo cual valida la pertinencia del estudio realizado.

Por otra parte, se contactó a dos de los agricultores encuestados que

mostraron interés en colaborar y se programó una visita a campo con ambos, para una entrevista personal y conocer un poco más acerca del manejo de sus cultivos. Por tal motivo, a continuación se presenta un resumen de los aspectos más importantes de ambas entrevistas.

#### Entrevista 1 / visita de campo: Productor 1

Se llegó a la finca ubicada en Jiménez, Pococí, Limón, donde se explicó todo el proceso de la siembra, aplicación de fertilizantes, tiempo de crecimiento y cosecha de la yuca. La yuca con la que trabaja es la variedad Valencia, una yuca muy cultivada en la zona. El productor expresó gran interés en colaborar con la investigación, por lo que ofreció la cantidad de hojas que fuera necesaria para el desarrollo de los análisis y procedimientos pertinentes.

#### Entrevista 2 / visita de campo: Productor 2

En este caso en específico, el productor comentó que cuenta con cultivos de variedad Señorita, por lo que se programó una visita a campo para conocer la siembra de estos. Se llegó a la finca ubicada en Pocora, Guácimo, Limón y el entrevistado mostró el sistema de siembra de distintos lotes con distintas edades, para poder cosechar varias veces al año, la aplicación de fertilizantes, así como la preparación del suelo previo a la siembra. También, indicó que la siembra de todas las variedades de yuca se maneja con el mismo sistema, lo que va a variar es el tiempo de madurez de la planta y el tipo de yuca que se obtiene al final de la cosecha. El productor se mostró muy interesado en colaborar con el proyecto de investigación por lo que puso a disposición las muestras necesarias de hojas de

yuca de variedad Señorita para la realización de análisis y procedimientos pertinentes.

Para poder analizar la viabilidad técnica del aprovechamiento de las hojas de yuca, es muy importante considerar aspectos relacionados con la inocuidad de los alimentos. El principal enfoque del estudio fue en el peligro químico de presencia de plaguicidas, ya que los alimentos de origen vegetal están expuestos a la presencia de este tipo de productos, los cuales se utilizan para mejorar la productividad de los cultivos. Según el último informe de resultados obtenidos en los análisis realizados en vegetales frescos para verificar el cumplimiento de los límites máximos de residuos de plaguicidas, del SFE (2023), la yuca se encuentra entre los vegetales con los porcentajes más altos en cumplimiento de los límites máximos de residuos (LMR) y pocos residuos cuantificables, pero, dado que las hojas de yuca no se utilizan para consumo humano, se realizó, mediante prestación de servicios, un análisis de barrido de plaguicidas a una muestra de hojas de la variedad Valencia, el cual dio resultados negativos para la presencia de alrededor de 150 plaguicidas, entre ellos los que presentaron la mayor cantidad de no conformidades a los LMR, tales como Fipronil, Clorpirifós, Metamidofós, Clorotalonil y Cipermetrina (SFE, 2023). El resultado completo del análisis realizado se encuentra en el anexo 2.

Si bien sólo se analizó la muestra de uno de los dos productores seleccionados para el estudio, este manifestó que, en general, todos los productores de la zona siguen el mismo protocolo de fumigación y utilizan los mismos productos químicos, por lo que, considerando además los resultados del informe de SFE (2023), se puede inferir que la presencia de residuos no será un factor determinante

que atente contra la inocuidad de las hojas de yuca.

Se considera que para poder utilizar las hojas de yuca que se desechan al momento de la cosecha, es indispensable contar con especificaciones que garanticen su inocuidad y conservación hasta el momento del procesamiento. Las prácticas recomendadas se detallan en la tabla 8:

**Tabla 8***Buenas prácticas de manufactura recomendadas para la recolección y manejo de las hojas de yuca*

Etapa	Nº	Descripción de la BPM recomendada
Cultivo	1	Durante el tiempo de cultivo se debe cuidar que las plantas de yuca no sean invadidas por plagas que vayan a afectar la calidad de su producto, y en este caso la calidad de las hojas ya que son la materia prima para el producto en estudio.
	2	Seguir las buenas prácticas agrícolas para garantizar que la materia prima esté libre de residuos de plaguicidas.
Cosecha de las hojas	3	Utilizar herramientas previamente desinfectadas para la recolección de las hojas (tijeras, cuchillos)
	4	En la medida de lo posible cosechar solamente las hojas, sin tallo ni peciolo
	5	El recipiente donde se coloquen las hojas recolectadas debe ser previamente desinfectado <sup>(a)</sup> , además, debe tener orificios que permitan la respiración celular de las hojas, para que no se dañen por efecto de hongos.
Transporte	6	Las hojas se deben transportar a la planta donde se procesará, en el menor tiempo posible para conservar su calidad.
	7	Es recomendable que la planta procesadora se encuentre cerca del sitio de cosecha para que el tiempo de transporte sea el mínimo posible, ya que las temperaturas en esta región son altas, y la exposición prolongada de las hojas repercute en afectaciones de calidad y pérdida de materia prima.
Almacenamiento	8	Se debe acondicionar un espacio que evite la contaminación cruzada con otros productos o materias primas, para conservar y asegurar la calidad e inocuidad de la materia prima.
Procesamiento	9	Se debe realizar una selección para eliminar la presencia de hojas marchitas y materia extraña puedan estar presentes.
	10	Se debe realizar una etapa de lavado y desinfección <sup>(b)</sup> para eliminar la presencia de contaminantes que puedan comprometer la inocuidad de las hojas
	11	Antes de pasar a la etapa de picado, se le debe eliminar la humedad superficial que queda después del lavado y desinfección.

<sup>(a)</sup> Para desinfectar los recipientes se debe utilizar amonio cuaternario con una concentración de 200 ppm.

<sup>(b)</sup> La desinfección de las hojas se debe realizar utilizando una disolución de hipoclorito de sodio (cloro) a 50 ppm.

Fuente: Elaboración propia (2023).

### **Condiciones de procesamiento para obtención de harina de hojas de yuca con niveles aceptables de HCN**

De acuerdo con la visita de campo y a la disponibilidad de materia prima, se seleccionaron las variedades Valencia y Señorita, específicamente hojas de plantas

entre los 7 - 9 meses de edad fisiológica, periodo en que generalmente se cosecha la raíz (Aguilar et al., 2017), y que fue corroborado por un 83,3 % de los productores consultados (figura 8).

### ***Pruebas preliminares de contenido de humedad y proteína de las hojas frescas para definir la variedad a utilizar***

Para definir con cuál de las dos variedades trabajar, se decidió utilizar, como criterio principal de selección, la variedad con mayor contenido de proteína.

Según se aprecia en la tabla 9, los resultados obtenidos para las dos variedades analizadas (Valencia y Señorita) son mayores a los reportados por Latif y Muller (2015), quienes mencionan que, dependiendo de la variedad, el contenido de proteína (en base seca) de hojas de yuca se encuentra entre 17,1 – 38,1 %. Debido a que las hojas frescas de la variedad Valencia tienen un mayor contenido de proteína, y, como se mostró en los resultados de la encuesta realizada (figura 7), esta es la variedad que siembra el 72,2 % de los productores consultados, se seleccionó la variedad Valencia para continuar con el estudio.

Era importante conocer el contenido inicial de humedad de las hojas frescas para poder calcular el contenido de proteína en base seca (tabla 9), así como para considerar la cantidad de agua que se debe remover en el proceso de deshidratación de las hojas. En las tablas A16 y A17 se encuentra el detalle de los datos experimentales y cálculos respectivos.

**Tabla 9***Contenido de proteína y humedad en las hojas de yuca frescas*

Variedad	Contenido de proteína (% bh)(a)	Contenido de proteína (% bs)(b)	Contenido promedio de humedad, %
Valencia	12,7	41,3	69,27± 0,01
Señorita	10,2	31,1	67,15 ± 0,02

Fuente: Elaboración propia con base en (a) resultados de análisis del Laboratorio San Martín (ver en Anexo 1), (b) cálculo en base seca considerando resultados de análisis de humedad de la hoja fresca.

De tal modo, los resultados de humedad de las muestras estudiadas son ligeramente mayores a los valores reportados en la literatura (65, 6 %) para la variedad Valencia (Aguilar et al., 2017).

***Condiciones de proceso y temperaturas de secado definidas para los tres tratamientos por realizar a las hojas frescas***

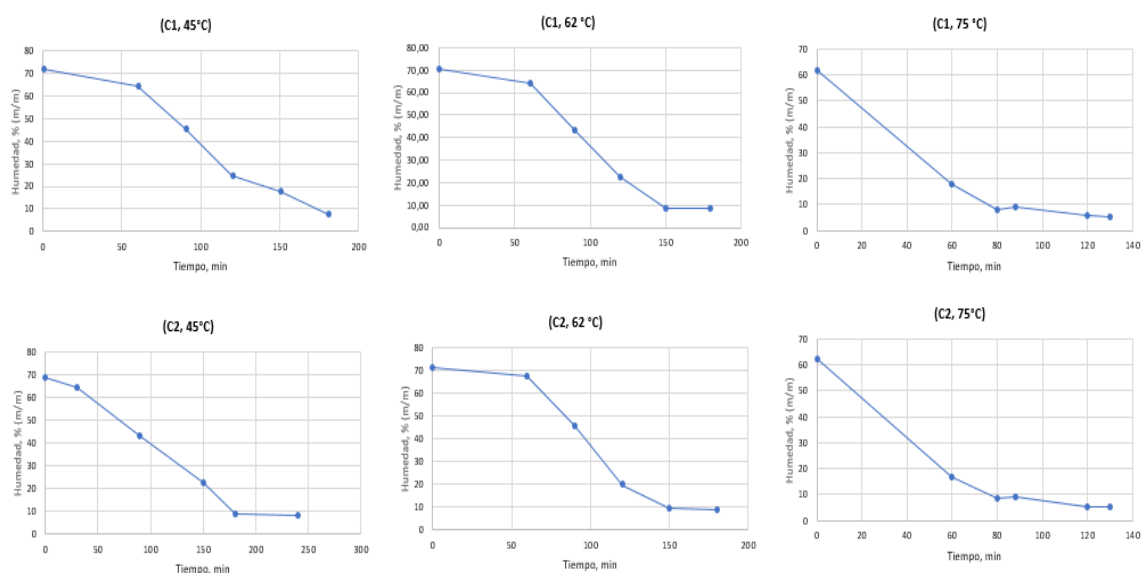
Mediante pruebas preliminares realizadas a ambas variedades de hojas de yuca y de acuerdo con lo recomendado por diversos autores (Giraldo 2008; Geisler, 2021), se definió aplicar el secado por circulación continua de aire caliente a tres temperaturas distintas: 45, 62 y 75 °C.

Para monitorear el contenido de humedad a lo largo del proceso de deshidratación de las hojas de yuca, se utilizó una balanza de humedad (termobalanza); si bien este método instrumental no es reconocido como oficial, es ampliamente utilizado para trabajos de rutina (Bianco et al., 2014), y, en este caso, permitió monitorear el avance en tiempo real del proceso de secado de una manera

rápida. El proceso se detuvo cuando la humedad estuvo entre 5 y 9 %, lo cual requirió un tiempo de proceso distinto dependiendo de la temperatura utilizada: 210 min (promedio) para el secado a 45 °C, 180 min para el secado a 62 °C y 130 min para el secado a 75 °C. La figura 9 muestra el comportamiento del secado para las distintas pruebas realizadas, en donde se evidencia la disminución de la humedad en el tiempo.

### Figura 7

*Curvas de secado para las hojas de los distintos tratamientos aplicados*



Fuente: Elaboración propia, 2023.

A su vez, la tabla 9 muestra el promedio de la humedad final de las hojas deshidratadas para los tres tratamientos aplicados. Si bien no existe legislación para una harina de hojas de yuca, es importante considerar que, según el Reglamento Técnico Centroamericano [RTCA] 67.01.15:07 (Reglatec, 2023), el contenido final de humedad que debe tener una harina de trigo para garantizar su estabilidad microbiológica es de un 15,5 %. La humedad final de todos los procesos de secado

realizados es menor a esta recomendada; estos valores dan seguridad para conservar las hojas deshidratadas durante los 6 meses programados para la duración del estudio, pero tienen una oportunidad de mejora, pues para alcanzar valores cercanos a 15 % se requerirá menos tiempo y energía asociada al proceso, lo cual puede repercutir en menos costos asociados a la obtención de la harina de hojas de yuca.

**Tabla 10**

*Contenido de humedad final de las distintas muestras procesadas*

Corrida	Tiempo de secado, min	Temperatura de secado, °C	Humedad final, %
1	180	45	7,69 ± 0,13
	180	62	8,56 ± 0,18
	130	75	5,35 ± 0,04
2	240	45	8,36 ± 0,15
	180	62	8,67 ± 0,11
	130	75	5,07 ± 0,24

Fuente: Elaboración propia, 2023.

### ***Rendimientos de proceso***

Para efectos de poder estimar la viabilidad técnica de utilizar las hojas de yuca como fuente de proteína vegetal, es importante hacer un análisis de los rendimientos involucrados en las distintas etapas del proceso. La tabla 11 muestra los resultados promedio para los rendimientos de las distintas etapas y procesos de secado aplicados. Los datos experimentales completos se encuentran en el apéndice B.

**Tabla 11**

*Resultados promedio de rendimiento de las distintas etapas de proceso de las hojas de yuca para los tres procesos de secado realizados*

Temperatura de secado (°C)	Rendimiento preparación de las hojas R1 (%)	Rendimiento secado R2 (%)	Rendimiento molienda R3 (%)	Rendimiento total R4 (%)
45	93,7%	10,9%	99,2%	10,1%
62	96,0%	10,5%	99,2%	10,0%
75	94,5%	9,9%	99,6%	9,3%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Con respecto al R1, esta etapa incluye la selección, lavado, desinfección y picado manual de las hojas. La merma obtenida se debe principalmente a la separación del peciolo o tallo de las hojas, así como a la separación de hojas dañadas y marchitas.

Sobre el rendimiento de secado, R2 (promedio de 10,4 %), debido a que las hojas de yuca tienen un contenido promedio de humedad de  $69,27 \pm 0,01$  % (tabla 10), era de esperar que se requiera un gran volumen de hojas frescas para obtener las hojas deshidratadas que se pueden convertir en fuente potencial de proteína alternativa; además, dado que el contenido final de humedad fue similar para todos los tratamientos (tabla 10), el rendimiento de secado promedio obtenido no depende de la temperatura de secado. Por otra parte, la etapa de molienda (R3) prácticamente no tiene merma, pues el proceso se realizó en seco y en un equipo que permite la recuperación casi total de las hojas deshidratadas.

El rendimiento total promedio (R4) es bajo (9,8 %), por lo que para una

eventual industrialización de las hojas de yuca se debe realizar un análisis costo/beneficio en función de la cantidad y calidad de proteína que se pueda obtener. Al respecto, Burgos et al. (2022) comentan que se puede obtener un mayor rendimiento si se utilizan los peciolo de las hojas, pero que esto reduce el porcentaje de proteína en la harina de hojas de yuca, por lo que se debería utilizar una mayor cantidad de biomasa (hojas) para obtener el mismo nivel de proteína que el obtenido a partir de solo las hojas, lo cual no es una alternativa viable.

Por otra parte, el contenido final de humedad está directamente relacionado con el rendimiento de la etapa de secado. Como ya se comentó, según el RTCA 67.01.15:07 (Reglatec, 2023), el contenido final de humedad de la harina de trigo debe ser máximo un 15,5 %, y los resultados obtenidos (tabla 11) muestran que la humedad final de las hojas deshidratadas estuvo en un rango mucho menor, entre 5 - 9 %, por lo que un ajuste en el proceso de secado, para obtener valores cercanos al 15 % de humedad final, podría mejorar el rendimiento del proceso. Es importante considerar, además, que el proceso de secado debe estandarizarse para garantizar el contenido final de humedad y esto debe hacerse validando las determinaciones de la termobalanza utilizada, ya sea mediante el análisis gravimétrico oficial, o por medio de algún método alternativo, como la medición de la actividad del agua ( $A_w$ ), que también es una medición instrumental de rápida respuesta que ha sido determinada como una buena aproximación para la medición del contenido de humedad final en procesos de secado de cacao (Vargas et al., 2022) y podría ser un modelo aplicable a la matriz de hojas de yuca.

Considerando que actualmente las hojas de yuca son un subproducto que se

desecha, es recomendable, una vez se estandarice el proceso de secado, realizar un estudio de viabilidad económica para valorar si es rentable su industrialización.

### **Efecto del método de procesamiento y la variedad en el contenido de HCN de las hojas de yuca deshidratadas**

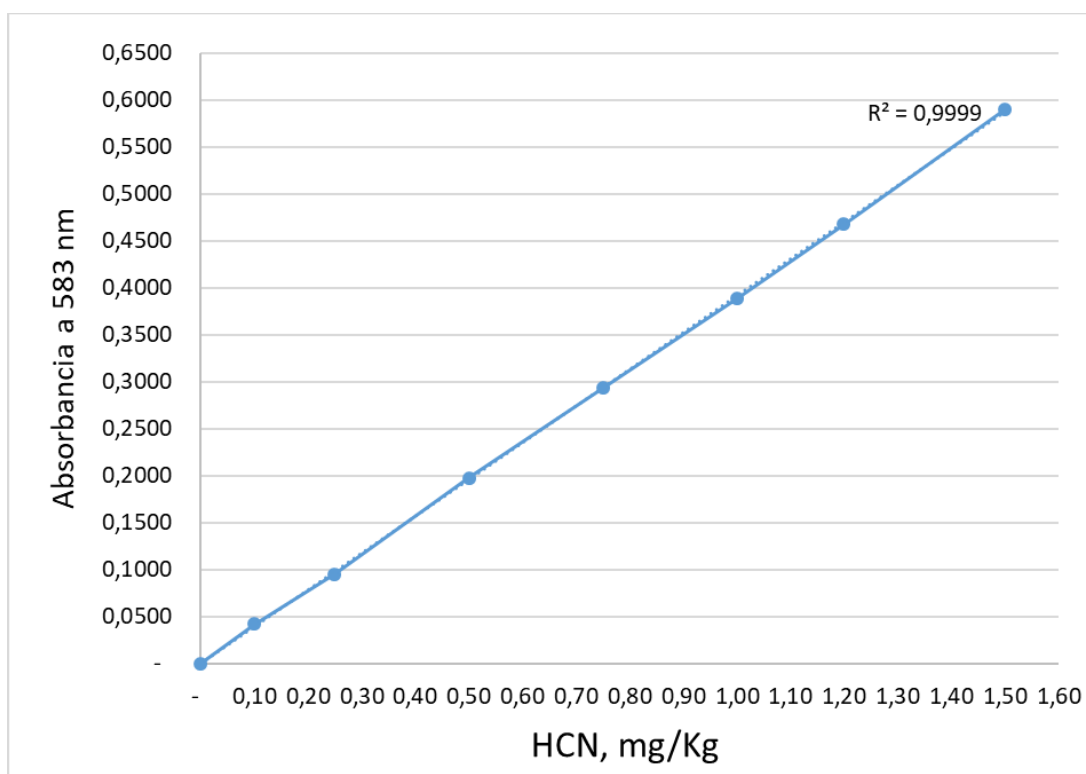
Pese al alto contenido de proteína reportado en la literatura y validado con los resultados obtenidos (tabla 9), para las muestras de hojas frescas de las variedades Señorita y Valencia (18,3 – 15,2 g/100 en base seca, respectivamente), las hojas de yuca no se han incluido en la alimentación humana por el miedo asociado con su toxicidad (Díaz y López, 2021); de ahí la importancia de conocer el contenido de HCN en las hojas deshidratadas. Este análisis se realizó como una colaboración interinstitucional del Laboratorio de Nutrición Animal del INTA.

Para la primera corrida de proceso realizada, a las hojas sometidas a secado por circulación continua de aire caliente a 45, 62 y 75 °C no se les pudo determinar el contenido de HCN debido a que el reactivo Trihidrato de Cloramina T, utilizado para la generación del color, tuvo un proceso de degradación, lo que no permitió obtener el complejo coloreado necesario para leer en el espectrómetro UV-VIS (Ricardo Noguera, INTA, comunicación personal, 18 de noviembre 2022).

Para la segunda ronda de análisis, se utilizó un reactivo nuevo suministrado por la UTN y se obtuvo la curva de calibración para el patrón de HCN que se muestra en la figura 10. A partir de esta curva y de los resultados de absorbancia obtenidos para cada muestra, se reportó el contenido de HCN que se aprecia en la tabla 13. El informe original enviado por el INTA se encuentra en el Anexo 5.

**Figura 8**

*Curva de calibración de los patrones de HCN para la segunda ronda de análisis de hojas de yuca deshidratada*



Fuente: Elaboración propia con base en datos suministrados por el INTA (Ver en el Anexo 5).

**Tabla 12**

*Resultados de contenido de HCN en las muestras de hoja de yuca deshidratada de la segunda ronda de análisis*

Descripción de la muestra	Identificación de la muestra	Absorbancia a 583 nm	HCN, mg/kg muestra seca	HCN, mg/kg muestra seca, promedio
V01-2F	Hojas frescas subvariedad Valencia	0,08116	24,54	23,20 ± 1,90
V01-3F		0,07420	21,86	
V01-45-1	Subvariedad Valencia secada a 45 °C	0,08211	54,6	
V01-45-2		0,05001	31,52	37,44 ± 15,10
V01-45-3		0,03563	26,2	
V01-62-1	Subvariedad Valencia secada a 62 °C	0,03755	28,21	
V01-62-2		0,05069	39,44	38,71 ± 10,15
V01-62-3		0,06460	48,47	
V01-75-1	Subvariedad Valencia secada a 75 °C	0,05937	117,76	
V01-75-2		0,06504	125,71	115,69 ± 11,20
V01-75-3		0,05204	103,59	

Fuente: Elaboración propia con base en reporte del INTA (Ver en el Anexo 5).

Los resultados mostrados en la tabla 12 revelan que ninguna de las muestras cumple con el contenido mínimo de HCN en harina de yuca, el cual, según el *Codex Alimentarius* (2019) debe ser de máximo 10 mg/kg. Sin embargo, estos resultados tienen algunas inconsistencias.

La primera inconsistencia que se deriva de los resultados obtenidos es que la muestra de hojas frescas reporta el menor contenido de HCN (23,20 mg/kg), lo cual contradice la información revisada en la literatura (Abrafi, 2021), en donde se indica que las hojas frescas tienen contenidos de entre 53 y 1300 mg/kg, siendo esta la razón por la cual no se consumen sin tratamiento.

Para reforzar lo anterior, se ha demostrado que métodos de procesamiento tales como cocinar (hervir), cocer al vapor, asar, hornear, pelar, remojar, rallar, picar, fermentar y secar al sol efectivamente reducen el contenido de cianuro de la raíz a niveles seguros (Abrafi, 2021; Castro et al., 2021; Díaz y López, 2021, Bradbury y Denton, 2014). Sin embargo, en esta investigación los resultados obtenidos en la segunda corrida muestran totalmente lo contrario, ya que el contenido es mayor en las hojas sometidas a la temperatura de secado más alta. Por lo tanto, considerando que el tratamiento realizado incluyó varios de los procesos reportados en la literatura como ideales para reducir la toxicidad de las hojas (lavado con agua, remojo y enjuague con cloro, picado manual, secado a temperaturas de 45, 62 y 75 °C, y molienda mecánica final), el resultado del análisis es totalmente opuesto a lo esperado.

Otra inconsistencia es el hecho de que a temperaturas de secado más altas se obtengan los mayores contenidos de HCN, lo cual es contrario a los resultados de estudios previamente realizados, en donde se afirma que las altas temperaturas y el deshidratado rápido son excelentes para disminuir la concentración de ácido cianhídrico (HCN), tanto en la raíz como en el follaje (Giraldo, 2008). Otro caso es el referido por Murgueitio-Adum et al. (2022) quienes comprobaron, a nivel estadístico, que el proceso de obtención de almidón a 60 °C durante un tiempo de secado de 3 h serían las condiciones adecuadas para reducir la concentración de HCN hasta 0,024 mg/kg.

Por último, si se observan los datos de contenido de HCN para cada una de las muestras (tabla 12), la variabilidad entre los resultados de la misma muestra es

alta; además, se tienen datos de contenido de HCN muy diferentes para muestras con absorbancia similar. Con relación a esto hay algunos factores que se deben considerar:

- Si bien el resultado individual del contenido de HCN de cada muestra puede depender de la variabilidad en la masa pesada para el análisis, que según el método utilizado es de 30 g, no es de esperar que una variación en la masa cause ese efecto tan marcado en los resultados.
- El método de análisis del INTA no está acreditado. Tampoco está estandarizado, ni validado para la matriz de hojas de yuca. Como mencionan Camaró-Sala et al. (2015), la validación permite confirmar, mediante ensayos y pruebas sucesivas, que los resultados corresponden a evidencias objetivas que confirmen el cumplimiento de requisitos para el uso específico previsto de los procedimientos analíticos. Todas las etapas del análisis son importantes, pero se considera de vital importancia validar principalmente la etapa de extracción, ya que de la misma depende que se obtenga una concentración cuantitativamente proporcional al contenido inicial de HCN en la muestra.
- Estrechamente relacionado con lo anterior, en este análisis en particular, hubo algunas dificultades con la preparación de las muestras que no permitieron seguir el método al pie de la letra. Específicamente, entre la extracción de las muestras con  $\text{H}_3\text{PO}_4$  0,1M y el primer aforo para continuar con el análisis transcurrieron más de 4 días, lo cual puede haber generado algunas interferencias en la lectura.

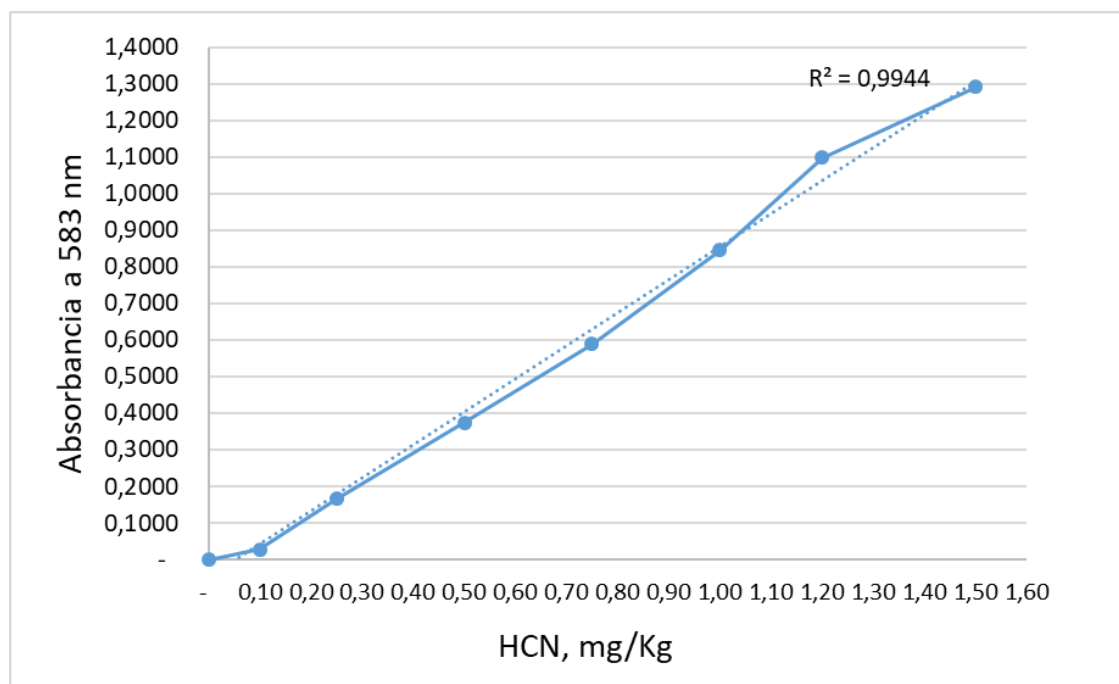
- Además, se debe sumar la posibilidad de que se haya incurrido en errores humanos debido a que no se tuvo una curva de aprendizaje apropiada para la realización del método.

Por lo anterior, se decidió descartar estos resultados y realizar una tercera ronda de análisis, repitiendo la determinación de HCN a un nuevo lote de hojas tratadas y deshidratadas en las mismas condiciones, de la misma variedad Valencia, con la misma edad fisiológica y del mismo productor. Si bien el método sigue estando no estandarizado, se corrigió la inconsistencia del tiempo de espera entre la extracción y la lectura en el UV-Vis.

En la figura 11, se presenta la curva de calibración para los patrones de esta tercera ronda. Si bien en esta ocasión el coeficiente de correlación es menor que en el análisis anterior, aún cumple con lo requerido para utilizar la curva para interpolar las concentraciones incógnitas.

**Figura 11**

*Curva de calibración de los patrones de HCN para la tercera de análisis de hojas deshidratada*



Fuente: Elaboración propia con base en datos suministrados por el INTA (Ver en el Anexo 5).

En la tabla 13, se incluyen los resultados obtenidos. Tal y como se muestra, en esta ocasión, prácticamente todos los resultados de presencia de HCN se reportaron como no detectables (ND). Considerando que la concentración de HCN del patrón más diluido es de 0,10 mg/kg (tabla 13), se puede inferir que las concentraciones en la muestra son menores y, por tanto, no se puede reportar un resultado cuantitativo.

**Tabla 13**

*Resultados de contenido de HCN en las muestras de hoja de yuca deshidratada de la tercera corrida*

Descripción de la muestra	Identificación de la muestra	Absorbancia a 583 nm	HCN, mg/kg muestra seca (*)
V01-2F	Hojas frescas subvariedad Valencia	-0,0118	No detectable
V01-3F		0,0224	No detectable
V01-45-1	Subvariedad Valencia secada a 45 °C	0,0567	No detectable
V01-45-2		-0,0026	No detectable
V01-45-3		0,0078	No detectable
V01-62-1	Subvariedad Valencia secada a 62 °C	0,0913	1,67
V01-62-2		0,0356	No detectable
V01-62-3		0,0199	No detectable
V01-75-1	Subvariedad Valencia secada a 75 °C	0,0071	No detectable
V01-75-2		0,0077	No detectable
V01-75-3		0,0008	No detectable

Fuente: Elaboración propia con base en datos suministrados por el INTA (Ver en el Anexo 5).

Aunque el único dato numérico reportado indica una concentración de HCN de 1,67 mg/kg (repetición 1 de la muestra de hojas de yuca deshidratada a 62 °C), y si bien este es menor al contenido máximo permitido, tampoco se puede llegar a ninguna conclusión estadísticamente válida. Sin embargo, en esta ocasión, el hecho de no evidenciarse presencia de HCN al menos es congruente con lo antes mencionado respecto al efecto de distintos tratamientos en la disminución de los glucósidos cianogénicos (Giraldo, 2008; Castro et al., 2021; Murgueitio-Adum et al., 2022).

A pesar de no haber podido obtener resultados estadísticamente representativos para las tres rondas de análisis realizadas, la revisión de literatura, los antecedentes consultados y los resultados de la tercera prueba permiten inferir que los procesos aplicados a las hojas de yuca fresca podrían ser efectivos para reducir el contenido de HCN a valores inferiores al nivel máximo permitido y, por tanto, se considera válido continuar estudiando las posibilidades que este subproducto ofrece.

### **Calidad nutricional de las proteínas de la harina obtenida a partir de las hojas de yuca**

Dado que no fue posible obtener datos estadísticamente representativos para seleccionar el tratamiento que diera como resultado el menor contenido de HCN en las hojas de yuca, se decidió realizar el análisis proximal a las hojas sometidas al tratamiento más drástico, que corresponde a las hojas sometidas al proceso de deshidratación a una temperatura de 75 °C. El resultado de este análisis se presenta en la tabla 14.

**Tabla 14**

*Resultado del análisis proximal realizado a las hojas de yuca variedad Valencia, deshidratadas a 75°C*

<b>Analito</b>	<b>Resultado, g/100 g (bh)<sup>a</sup></b>
<b>Carbohidratos totales</b>	<b>64,2 ± 7,2</b>
<b>Fibra soluble</b>	<b>Menor a 0,5</b>
<b>Fibra insoluble</b>	<b>40,2 ± 2,0</b>
<b>Ceniza</b>	<b>5,68 ± 0,21</b>
<b>Grasa cruda</b>	<b>3,45 ± 0,15</b>
<b>Humedad</b>	<b>14,6 ± 1,4</b>
<b>Proteína (Nx6,25)</b>	<b>12,05 ± 0,16</b>

Fuente: (a) bh = base húmeda. Elaboración propia con base en el informe SAQ-6642-2023 del CITA (Ver en el Anexo 3).

Como se puede apreciar en la tabla 14, el contenido de proteína de las hojas de yuca deshidratadas fue de 12,05 % (base húmeda). Al convertir este resultado a base seca, se obtiene un valor de 14,1 %, que se encuentra dentro de los valores reportados por Giraldo (2006) y Burgos et al. (2022), quienes reportaron que el contenido puede estar entre un 12 y un 26 %. Sumado a esto, Burgos et al. (2022) realizaron un estudio con 20 cultivares de yuca y mencionan que 100 g de harina de hojas de yuca con un contenido promedio de proteína de 12,23 % proporcionan entre un 27,79 y 78,88 % de los requerimientos proteicos diarios, confirmándose con esto el potencial de las hojas de yuca para ser considerado una fuente

alternativa de proteína.

En cuanto al contenido de fibra, los datos son diferentes a lo reportado por Aguilar et al. (2017) y Giraldo et al. (2006), quienes señalaron, para hojas con edad fisiológica de 5 meses, un contenido de fibra menor (11,0 % y 26,19 % respectivamente). El resultado obtenido puede deberse a que las hojas procesadas no fueron tamizadas, conservando por lo tanto algunas fracciones de los tallos y peciolo, que aportan un contenido de fibra mayor, además, de que la hoja estudiada tiene una edad fisiológica mayor (7-9 meses). Por otra parte, el alto contenido de fibra obtenido (40,2 %) puede haber dificultado la liberación y cuantificación de proteínas.

Respecto a las cenizas, su aporte es muy parecido al indicado por Suárez et al. (2022), donde los minerales como el calcio, hierro, zinc, potasio, fósforo, entre otros, representan un 4,87 % de la muestra y el reportado por el presente estudio fue 5,68 %, el cual es menor al indicado por Aguilar et al. (2017), quienes señalan un contenido de cenizas de 10,9 %. En todo caso, los resultados reflejan que la muestra tiene un contenido de micronutrientes apreciable.

Con respecto al contenido de humedad, los resultados mostrados en el análisis proximal son más altos que los obtenidos al finalizar el proceso de secado por medio de la termobalanza. Se identificaron dos posibles razones para esta diferencia: la primera, que las muestras deshidratadas, a pesar de estar empacadas en un material de alta barrera, se hayan humedecido durante los 6 meses de su almacenamiento previo al análisis proximal; la segunda que, al no haberse validado

la correlación entre el método rápido instrumental y el método oficial, los resultados del primero no sean representativos de la humedad al final del proceso de secado.

En cuanto al análisis de perfil de aminoácidos, este se realizó mediante prestación de servicio en el Laboratorio del Cenibiot.

Los resultados indican que el total de aminoácidos cuantificados por HPLC fue de 0,05 % del total de la muestra de hojas de yuca deshidratadas. La determinación cuantitativa arrojó resultados inconsistentes en cuanto al contenido de proteína y aminoácidos, ya que, en una matriz en la cual el contenido de proteína es del 12,05 % (según se reportó en la tabla 14), no es congruente que los aminoácidos cuantificados correspondan solamente al 0,05% de la muestra seca analizada

Para explicar estos resultados, se debe hacer énfasis en que las hojas de yuca no son una matriz común, por lo que el método analítico utilizado no está validado

La muestra de hoja de yuca deshidratada fue sometida a un tratamiento ácido para descomponer los enlaces peptídicos, esperándose que este proceso causara la liberación de aminoácidos para así posteriormente ser identificados y cuantificados mediante cromatografía HPLC acoplada a espectrometría de masas en tándem. Sin embargo, como se indicaba anteriormente, los resultados no son consecuentes.

Una de las razones por las que se pudo haber obtenido este resultado, se debe a que en la etapa de extracción ácida no se logró la hidrólisis completa de la

proteína, lo cual redujo por tanto la cantidad de aminoácidos libres que es el estado del analito que permite cuantificar el método, junto a la producción de la forma de ácido de estos. López et al. (2018) mencionan que para este tipo de matrices lo más conveniente es preparar la muestra haciendo una hidrólisis enzimática con peptidasas a pH entre 7 - 12, con lo cual se logra la solubilización de las proteínas y mejora su función.

Otra razón que pudo haber afectado el resultado es la estructura de la hoja y la relación entre proteínas y polisacáridos, conocida como matriz lignocelulósica, característica de las proteínas de origen vegetal, que impide que puedan ser hidrolizadas las proteínas que se encuentran protegidas junto a carbohidratos complejos (Martínez, 2023). En este caso, se puede requerir, previo a la aplicación de hidrólisis enzimática, de un tratamiento por microondas, para degradar la hemicelulosa compuesta principalmente por xilosa (Rojo, et al., 2023). Como se aprecia en la tabla 14, las hojas de yuca obtenidas tienen un 40,2 % de fibra insoluble, dentro de las cuales se considera la lignina y celulosa previamente comentadas.

Si se analiza cualitativamente el perfil de aminoácidos (tabla 15), se logra determinar que los nueve aminoácidos esenciales están presentes en las hojas deshidratadas de la variedad Valencia.

**Tabla 15***Aminoácidos identificados en hojas de yuca deshidratadas*

Aminoácidos identificados	
No esenciales	Esenciales
Glicina	Histidina
Glutamina	Lisina
Alanina	Treonina
Prolina	Metionina
Tirosina	Fenilalanina
Ácido aspártico	Leucina
Ácido glutámico	Isoleucina
Cisteína	Valina
Serina	Triptofano
Arginina	

Fuente: Elaboración propia con base en información recibida del Cenibiot (Ver en el Anexo 4).

Esto es consistente con la información recopilada por Suárez et al. (2022), quienes mencionan que la hoja de yuca es considerada uno de los recursos vegetales con mayor contenido de proteína de alta calidad biológica, ya que sus aminoácidos esenciales son similares a los del huevo de gallina, las hojas de espinaca, el grano de avena y el arroz.

Por su parte, la harina de soya se considera una fuente vegetal de proteína de alto consumo, que según lo reportado por Arjona et al. (2022), es deficiente en metionina, cisteína y triptófano, por lo cual la harina de hojas de yuca, basado en lo señalado en la bibliografía consultada y en el porcentaje de proteína obtenido, podría ser una opción que enriquezca a las demás opciones de harinas fuente de

proteína de origen vegetal para complementar su aporte de aminoácidos.

## **V. Conclusiones y recomendaciones**

## Conclusiones

De acuerdo con la visita de campo y a la encuesta realizada a personas productoras de la Región Huetar Atlántica, la mayoría (72 %) siembra yuca de la variedad Valencia, y más de un 80 % no le da ningún uso a las hojas, las cuales desecha en el momento de la cosecha de la raíz, por lo cual consideran que su aprovechamiento potencial es una oportunidad innovadora para agregar valor a su cultivo.

El rendimiento del proceso, considerando desde la cosecha de las hojas de yuca hasta la obtención de la harina, es bajo, de alrededor de un 10 %. En este influye de manera importante la humedad final de las hojas deshidratadas, por lo que se debe definir previamente el valor óptimo para garantizar la estabilidad del producto en el tiempo sin perjudicar el rendimiento.

A pesar de no haber podido obtener resultados estadísticamente representativos para las tres rondas de análisis realizadas, la revisión de literatura, los antecedentes consultados y los resultados de la tercera prueba permiten inferir que los procesos de secado con circulación continua de aire caliente a 45, 62 y 75 °C aplicados a las hojas de yuca fresca podrían ser efectivos para reducir el contenido de HCN a valores inferiores al nivel máximo permitido.

El análisis proximal de la harina de hojas de yuca deshidratadas a 75 °C reportó un contenido de humedad de 14,6%, el cual cumple con la reglamentación técnica para garantizar la estabilidad de la harina en el tiempo; sin embargo, difiere de la humedad final determinada durante la etapa de secado con el uso de la

balanza de humedad.

La harina de hojas de yuca variedad Valencia cuenta con un contenido apreciable de cenizas (5,68 %), las cuales se asocian a presencia de micronutrientes, y de fibra insoluble (40,2 %). Además, contiene una cantidad de proteína de 14,1 % (base seca), lo cual hace que sea una materia prima prometedora por su aporte proteico. Se encuentran presentes todos los aminoácidos esenciales; por ende, su utilización puede contribuir a aumentar el contenido de proteína de otras matrices alimentarias.

Sintetizando, la investigación exploratoria realizada permitió identificar aspectos relevantes del proceso para elaboración de harina de hojas de yuca, demostrando que es técnicamente posible reducir el contenido de HCN presente inicialmente en las hojas de yuca frescas y que, además, es nutricionalmente viable obtener un derivado con alto contenido de fibra, fuente de proteína y presencia de todos los aminoácidos esenciales. De tal modo, se considera válido continuar estudiando las posibilidades que este subproducto ofrece.

## **Recomendaciones**

Se recomienda realizar un estudio que correlacione la determinación de humedad por el método gravimétrico oficial con distintos métodos instrumentales, como termobalanza y medición de  $a_w$ , para validar el método por utilizar para la definición del punto final de la etapa de secado.

Debido a que el método de determinación de HCN no se encuentra implementado en el país para la matriz de hojas de yuca, se recomienda desarrollarlo en las instalaciones de la Universidad Técnica Nacional, de manera que se pueda adquirir experiencia en su aplicación y así obtener resultados confiables en futuras investigaciones.

A su vez, se recomienda al laboratorio Cenibiot la posibilidad de extracción de proteína por medio de hidrólisis enzimática para así recuperar un valor significativo de aminoácidos congruentes con el contenido de proteína de la matriz de hojas de yuca.

Es recomendable realizar un proceso de tamizado de la harina para estandarizar su granulometría, el cual, además, puede contribuir a reducir la cantidad de fibra presente en la muestra y, a su vez, permitir una mayor exposición de la proteína presente a las pruebas analíticas de determinación de aminoácidos.

Se recomienda valorar otros métodos de procesamiento de las hojas frescas y continuar desarrollando estudios para validar estadísticamente la reducción del contenido de HCN y el contenido final de proteína, así como evaluar la funcionalidad de la proteína de las hojas de yuca y poder recomendar su aplicación en distintas

matrices alimentarias.

Considerando que actualmente las hojas de yuca son un subproducto que se desecha y que tiene potencial nutricional, es recomendable hacer un estudio de viabilidad económica para valorar si es rentable su industrialización.

## **VI. Referencias**

- Abrafi, C (2021). Health issues related to the production and consumption of Cassava as a staple food. [Tesis de posgrado], Norwegian University of Life Sciences, Noruega. <https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/bitstream/handle/11250/2771129/NYAMEKYE2021.pdf?sequence=1>
- Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición [AESAN]. (2020). Ácido cianhídrico (HCN). Ministerio de Consumo.: [https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/seguridad\\_alimentaria/gestion\\_riesgos/HCN.pdf](https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/seguridad_alimentaria/gestion_riesgos/HCN.pdf)
- Aguilar, E et al. (2017). Manual del cultivo de yuca *Manihot esculenta* Crantz. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, INTA, Costa Rica. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10918.pdf>
- Albán, S (2020). Elaboración de crema deshidratada de hojas de yuca (*Manihot esculenta crantz*), en la parroquia ahuano, provincia de napo. [Tesis de grado, Universidad Estatal Amazónica]. Repositorio Dspace. <https://repositorio.uea.edu.ec/bitstream/123456789/863/1/T.AGROIN.B.UEA.2101.pdf>
- Anaya, J et al. (2018). Determinación de procedimientos para la eliminación de glucósidos cianogénicos en la hoja de chaya (*Cnidosculus aconitifolius*) de las variedades mansa y picuda para la formulación de chaya deshidratada y en polvo como una alternativa de materia prima en la producción de alimentos. [Tesis de licenciatura]. Universidad de El Salvador. <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/19238/1/Determinaci%C3%B3n%20de%20procedimientos%20para%20la%20eliminaci%C3%B3n%20de%20gluc%C3%B3sid%20cianog%C3%A9nicos%20enla%20hoja%20de%20Chaya%20%28Cnidosculus%20aconitifolius%29%20de%20las%20variedades...pdf>
- AOAC (2007) Residuos de pesticidas en alimentos por acetonitrilo, extracción y partición con sulfato de magnesio.

[https://nucleus.iaea.org/sites/fcris/Shared%20Documents/SOP/AOAC\\_2007\\_01.pdf](https://nucleus.iaea.org/sites/fcris/Shared%20Documents/SOP/AOAC_2007_01.pdf)

Araya, F et al. (2019). La energía solar como herramienta tecnológica para el secado de productos agrícolas de la región huetar norte de Costa Rica. Revista Ventana, pp.15-19.

<https://revistas.tec.ac.cr/index.php/ventana/article/view/5425/5168>

Arjona, M et al. (2022). Evaluación del contenido de aminoácidos de la harina de soya para alimentación avícola y porcina, de acuerdo con el país de origen. Revista de Investigaciones Agropecuarias, 4(2).

<http://portal.amelica.org/ameli/journal/222/2223233009/2223233009.pdf>

Ávalos, C y Benites, J (2022). Obtención de azúcares reductores a partir de la hidrólisis ácida de la harina de la cáscara de Manihot esculenta (yuca) variedad blanca. Universidad Nacional del Callao. [Tesis de grado]. Universidad Nacional Del Callao, Perú.

<http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/7459/TESIS%20AVALOS-BENITES.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Bianco, H et al. (2014, abril). Determinación de humedad en harina precocida de maíz blanco utilizando un horno de microondas doméstico. Revista del Instituto Nacional de Higiene Rafael Rangel, 45 (2).

[http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0798-04772014000200004](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-04772014000200004)

Blanco, R et al. (2017). Genética del cultivo de yuca (*Manihot esculenta* Crantz.). Universidad de Córdoba.

[https://www.researchgate.net/publication/320597222\\_GENETICA\\_DEL\\_CULTIVO\\_DE\\_YUCA\\_Manihot\\_esculenta\\_Crantz](https://www.researchgate.net/publication/320597222_GENETICA_DEL_CULTIVO_DE_YUCA_Manihot_esculenta_Crantz)

Bonilla, O y Mena, H (2021). Nombre de la tecnología Variedades. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. Costa Rica.

[http://www.platicar.go.cr/images/buscador/fichas-tecnicas/YUCA/01\\_VARIEDADES.pdf](http://www.platicar.go.cr/images/buscador/fichas-tecnicas/YUCA/01_VARIEDADES.pdf)

Bradbury, H et al. (1994). Comparison of methods of analysis of cyanogens in cassava. *Acta Horticulturae* 375, 87-96.

[https://www.researchgate.net/publication/284250145\\_Comparison\\_of\\_methods\\_of\\_analysis\\_of\\_cyanogens\\_in\\_cassava/link/5653cfd308ae4988a7afc2b4/download](https://www.researchgate.net/publication/284250145_Comparison_of_methods_of_analysis_of_cyanogens_in_cassava/link/5653cfd308ae4988a7afc2b4/download)

Bradbury, J y Denton, I (2014). Mild method for removal of cyanogens from cassava leaves with retention of vitamins and protein. *Food Chemistry*, 158, 417-420.

[https://www.academia.edu/22617867/Mild\\_method\\_for\\_removal\\_of\\_cyanogens\\_from\\_cassava\\_leaves\\_with\\_retention\\_of\\_vitamins\\_and\\_protein](https://www.academia.edu/22617867/Mild_method_for_removal_of_cyanogens_from_cassava_leaves_with_retention_of_vitamins_and_protein)

Brito, V y Cereda, M (2018). Ciencia y tecnología de bebidas alcohólicas. Waldemar Venturini-Filho.

[https://www.researchgate.net/publication/314827263\\_Tiquira\\_Ciencia\\_e\\_Tecnologia](https://www.researchgate.net/publication/314827263_Tiquira_Ciencia_e_Tecnologia)

Burgos, A et al. (2022). Estudio preliminar del valor nutricional de harina de hojas de mandioca. *Horticultura Argentina*, 41(106): 53 – 65.

<http://id.caicyt.gov.ar/ark:/s18519342/35vg2aije>

Caldas, A (2019). Difusividad efectiva durante el secado de rodajas de yuca (*Manihot esculenta*) a diferente temperatura y espesor y obtención de harina. [Tesis de grado], Universidad Nacional Agraria de la Selva, Perú.

[https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/1805/TS\\_CD\\_A\\_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/1805/TS_CD_A_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Camaró-Sala, M et al. (2015). Validación y verificación analítica de los métodos microbiológicos. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica* 33(7): e31–e36. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eimc.2013.11.010>

Canales, N y Trujillo, M (2021). La red de valor de la yuca y su potencial en la bioeconomía de Colombia. Documento de trabajo, SEI, Instituto del Ambiente

de Estocolmo. <https://www.sei.org/publications/la-red-de-valor-de-la-yuca-y-su-potencial-en-la-bioeconomia-de-colombia/>

Castro, Y et al. (2021). Efecto del procesamiento tradicional de la yuca (*Manihot esculenta*) y derivados sobre el contenido de glucósidos cianogénicos. INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación, 4(8), 157-170. <https://journalingeniar.org/index.php/ingeniar/article/view/49/70>

Castroviejo, M (2020). Cromatografía de gases/líquidos acoplada a espectrometría de masas de alta resolución (MS/AR). Universidad de Burgos. <https://www.ubu.es/parque-cientifico-tecnologico/servicios-cientifico-tecnicos/espectrometria/cromatografia-de-gasesliquidos-acoplado-espectrometria-de-masas-de-alta-resolucion-ms-ar>

Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos [CITA]. (2021b). Humedad. Método P-SA-MQ-002, emisión N.º 11, acreditado por Ente Costarricense de Acreditación, ECA. Costa Rica. 16 sep. 13 p. Copia no controlada.

Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos [CITA]. (2021a). Nitrógeno total por método Kjeldahl utilizando equipo Foss-Tecator. Método P-SA-MQ-003, emisión N.º 9, acreditado por Ente Costarricense de Acreditación, ECA. Costa Rica. 16 jun. 15 p. Copia no controlada.

Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos [CITA]. (2022). Grasa cruda por extracto etéreo. Método P-SA-MQ-005, emisión N.º 12, acreditado por Ente Costarricense de Acreditación, ECA. Costa Rica. 15 jul. 9. Copia no controlada.

Churión, C et al. (2016). Comparación entre el método kjeldahl tradicional y el método dumas automatizado (n cube) para la determinación de proteínas en distintas clases de alimentos. Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente, 28 (2), p.3. <https://www.redalyc.org/journal/4277/427749623006/427749623006.pdf>

Comisión del *Códex Alimentarius* [CAC]. (2013). Código de prácticas para reducir el

ácido cianhídrico (HCN) en la yuca (mandioca) y los productos de yuca. p.14.  
<https://docplayer.es/52285422-Codigo-de-practicas-para-reducir-el-acido-cianhidrico-hcn-en-la-yuca-mandioca-y-los-productos-de-yuca-cac-rcp.html>.

Comisión del *Códex Alimentarius* [CAC]. (2019). Norma general para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos, CXS 193-1995. Enmend. 2019. p.76. [https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B193-1995%252FCXS\\_193s.pdf](https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B193-1995%252FCXS_193s.pdf).

Comisión del *Códex Alimentarius* [CAC]. (2019). Norma para la harina de yuca comestible, CXS 176-1989. Enmend. 2019. p.4. [https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/ar/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsite%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B176-1989%252FCXS\\_176s.pdf](https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/ar/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsite%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B176-1989%252FCXS_176s.pdf).

Del Río, L y Grande, C (2021). Valorización de residuos industriales en la producción de almidón de yuca. *Prospectiva* 19(2),1-19.  
<http://ojs.uac.edu.co/index.php/prospectiva/article/view/2556/2416>

Díaz, A y López, C (2021). Yuca: Pan y carne, una alternativa potencial para hacer frente al hambre oculta. *Acta Biol Colomb*, 26(2):235-246.  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-548X2021000200235&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-548X2021000200235&script=sci_arttext)

Eche, L et al. (2018). Caracterización morfológica de cuatro accesiones de yuca (*Manihot esculenta*) en el valle de Oxapampa. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, UNDAC, Perú.  
<http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/1394/1/Ing.%20Martha%20ARTICA%20COSME.pdf>

- Espinoza, D y Castillo, A (2022). Avances tecnológicos en la obtención, identificación y producción de hidrolizados proteicos de residuos de pescado por acción enzimática: propiedades bioactivas y tecnofuncionales, aplicación en alimentos, mercado y regulación. *Scientia Agropecuaria* 12(2). [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2077-99172022000200008](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-99172022000200008)
- FAO, FIDA, OMS, PMA. y UNICEF (2020). Versión resumida de El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2020. Transformación de los sistemas alimentarios para que promuevan dietas asequibles y saludables. Roma, FAO. <https://www.fao.org/3/ca9699es/CA9699ES.pdf>
- Fernández L y Cerrato R (2017) Cartilla tecnológica del cultivo de yuca en el litoral Atlántico de Honduras. Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria (DICTA) <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/3149/BVE17089155e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Fernández, A et al. (2015). Cinética de secado de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) variedad CORPOICA M-tai en función de la temperatura y de la velocidad de aire. *Revista ION*, 27(2). <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaion/article/view/4588/4808>
- Freepik. (2023). Hoja de yuca aislado sobre fondo blanco. [https://www.freepik.es/fotos-premium/hoja-yuca-aislado-sobre-fondo-blanco\\_18050844.htm](https://www.freepik.es/fotos-premium/hoja-yuca-aislado-sobre-fondo-blanco_18050844.htm)
- Fundación Iberoamericana de Nutrición [FINUT], Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2017). Evaluación de la calidad de la proteína de la dieta en nutrición humana. Consulta de expertos. <https://www.finut.org/wp-content/uploads/2017/11/Estudio-FAO-92-y-documentos-adicionales-al-23112017-1.pdf>
- Geisler, M (2021). Efecto del tiempo y temperatura del proceso de tostado de cacao

criollo (*Theobroma cacao* L.) sobre el contenido de compuestos volátiles. [Tesis de grado], Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

<https://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14077/2344/Valle%20Epquin%20Marvin%20Geisler.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Giraldo, A et al. (2006). Estudio de la obtención de harina de hojas de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) para consumo humano. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).

[https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/19219/44713\\_59463.pdf?sequence=1](https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/19219/44713_59463.pdf?sequence=1)

Giraldo, A et al. (2008). Digestibilidad aparente de una harina proveniente de hojas de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Información Tecnológica 19(1), 11-18.

<https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v19n1/art03.pdf>

Gómez, W et al. (2016). Producción y calidad del forraje de tres variedades de yuca bajo tres densidades de siembra. Temas Agrarios 21(2), 9-20

<https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/temasagrarios/article/view/897>

Gutiérrez, C et al. (2020). Aminoácidos de cadena ramificada: implicaciones en la salud. Revista digital de posgrado, 9(2).

<http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/101/1011033016/html/>

Hernández R et al. (2018) Productividad del método de cosecha manual de yuca con un dispositivo arrancador.

<http://revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/159/123>

Hernández, R y Cruz, (2020). Desafíos emergentes de la distribución de la población urbana y rural en el mundo: una panorámica mundial y europea del crecimiento urbano. História e Economía 24, pp.21-37.

<https://historiaeeconomia.pt/index.php/he/article/view/237/201>

Hernández, R et al. (2014). Metodología de la investigación. Sexta edición.

McGrawHill

Education.

<https://academia.utp.edu.co/grupobasicoclinicayaplicadas/files/2013/06/Metodología-de-la-Investigación.pdf>

Hernández, R et al. (2021). Guía técnica para el manejo integrado del cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* CRANTZ). Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá.

[https://proyectos.idiap.gob.pa/uploads/adjuntos/GUÍA\\_TÉCNICA\\_PARA\\_EL\\_MANEJO\\_INTEGRADO\\_DEL\\_CULTIVO\\_DE\\_YUCA.pdf](https://proyectos.idiap.gob.pa/uploads/adjuntos/GUÍA_TÉCNICA_PARA_EL_MANEJO_INTEGRADO_DEL_CULTIVO_DE_YUCA.pdf)

Inga, K. (2020). Determinación del perfil lipídico de la yuca en sus diferentes cortes y su caracterización térmica. [Tesis de grado], Universidad del Azuay, Cuenca. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/9671/1/15302.pdf>

Innova Market Insights. 2023. *Plant-Based Trends 2023: Global Market Overview*. <https://www.innovamarketinsights.com/trends/plant-based-trends/>

Instituto de Salud Pública de Chile [ISP]. (2021). Documento de referencia de métodos de ensayo. [https://www.ispch.cl/wp-content/uploads/resoluciones/30979\\_0178-2021.pdf](https://www.ispch.cl/wp-content/uploads/resoluciones/30979_0178-2021.pdf)

Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. (2020). Encuesta Nacional Agropecuaria 2019 resultados generales de la actividad agrícola y forestal. [https://admin.inec.cr/sites/default/files/media/reagropecenapecuario2019-01\\_2.pdf](https://admin.inec.cr/sites/default/files/media/reagropecenapecuario2019-01_2.pdf)

Instituto Nacional de Metrología Colombiana [INM]. (2021). Guía para la determinación de contenido de humedad en granos y cereales INM/GTM-T/06. ISBN: 978-958-53805-2-3. <https://inm.gov.co/web/wp-content/uploads/2021/12/GUIA-DETERMINACIÓN-CONTENIDO-DE-HUMEDAD.pdf>

Jaramillo, C et al. (2016). Concentraciones de alcaloides, glucósidos cianogénicos, polifenoles y saponinas en plantas medicinales seleccionadas en Ecuador y su relación con la toxicidad aguda contra *Artemia salina*. Revista Biología

Tropical. 64 (3): 1171-1184. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v64n3/0034-7744-rbt-64-03-01171.pdf>

Jiménez, M (2018). Acciones y generalidades de la Red Costarricense para Disminución de Pérdida y Desperdicio de Alimentos. Instituto Tecnológico de Costa Rica. [https://www.tec.ac.cr/sites/default/files/media/doc/1\\_red\\_costarricense\\_pda-generalidades\\_0.pdf](https://www.tec.ac.cr/sites/default/files/media/doc/1_red_costarricense_pda-generalidades_0.pdf)

Kakaes, K y Luomg, E (2021). Siete gráficos para demostrar el drama del consumo de proteína mundial. MIT Technology Review. <https://www.technologyreview.es/s/13014/siete-graficos-para-demostrar-el-drama-del-consumo-de-proteina-mundial>

Latif, S y Müller, J (2015). Potential of cassava leaves in human nutrition: A review. Trends in Food Science & Technology, 44(2), 147-158. [https://www.academia.edu/20880191/Potential\\_of\\_cassava\\_leaves\\_in\\_human\\_nutrition\\_A\\_reviewlopez](https://www.academia.edu/20880191/Potential_of_cassava_leaves_in_human_nutrition_A_reviewlopez)

López M et al. (2019). Efecto de la sustitución de King grass (*Cenchrus purpureus*) por yuca (*Manihot esculenta* Crantz) sobre la calidad nutricional del ensilaje. Nutrición Animal Tropical 13(2): 21-42. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7136800>

López, D et al. (2018). Producción de proteasas fúngicas para la hidrólisis de proteínas vegetales. *Energeia*, 15(15). <https://repositorio.uca.edu.ar/bitstream/123456789/5871/1/produccion-proteasas-fungicas-hidrolisis.pdf>

Lorenzini, Elisiane. (2017). Investigación de métodos mixtos en las ciencias de la salud. Revista Cuidarte, 8(2), 1549-1560. <https://doi.org/10.15649/cuidarte.v8i2.406>

Luna, M et al. (s.f.) Toxicidad de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Editorial Académica Española. <https://www.uv.mx/qfb/files/2020/10/2017-L->

[Toxicidad-de-la-yuca\\_Eduardo-Rivadeneira-Dominguez.pdf](#)

- Martínez, E (2023). Caracterización y propiedades funcionales de hidrolizados proteicos obtenidos a partir de subproductos de la industria agroalimentaria. [Tesis de grado] Universidad de Burgos, España. [https://riubu.ubu.es/bitstream/handle/10259/7495/Martínez\\_Barbachano.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://riubu.ubu.es/bitstream/handle/10259/7495/Martínez_Barbachano.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Martínez, L et al. (2018). Implementación de la hoja de yuca en preparaciones culinarias. <http://bibliotecavirtualoducal.uc.cl:8081/handle/123456789/1548799>
- Medina, D y Martínez, M. (2018). Desarrollo de un producto alimentario panificable tipo pan blando a partir de harina de trigo, yuca y quinua. [Tesis de grado]. Universidad de Sucre, Colombia. <https://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/handle/001/646/T664%20M491.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2020). Guía para la implementación de buenas prácticas agrícolas (BPA) para el cultivo de yuca. SENASA, Perú. <https://www.senasa.gob.pe/senasa/wp-content/uploads/2020/07/Guia-BPA-YUCA-1.pdf>
- Molina, L (2021). Costa Rica desperdicia una tonelada de alimentos al día. Semanario Universidad [26 octubre, 2021]. <https://semanariouniversidad.com/pais/costa-rica-desperdicia-una-tonelada-de-alimentos-al-dia-2/#:~:text=Costa%20Rica%20desperdicia%20en%20promedio,Centro%20de%20Investigaci%C3%B3n%20en%20Econom%C3%ADa>
- Mudarra, R. (2022). Funciones bioactivas de péptidos derivados de proteínas hidrolizadas de pescado: Aplicación en la nutrición porcina. *funciones bioactivas de péptidos derivados de proteínas hidrolizadas de pescado: aplicación en la nutrición porcina. Revista de Investigaciones Agropecuarias.*

<http://portal.amelica.org/ameli/journal/222/2223233010/html/>

Murgueitio-Adum, N et al. (2022). Efecto del procesamiento tradicional de producción de almidón de yuca en la concentración de compuestos cianhídricos. *Sapienza: International Journal of Interdisciplinary Studies* 3(7):102-110. Doi: [https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Concentracion-de-HCN-con-relacion-al-tiempo-A-y-concentracion-de-linamarina\\_fig1\\_366061645](https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Concentracion-de-HCN-con-relacion-al-tiempo-A-y-concentracion-de-linamarina_fig1_366061645)

Novelli, D. (2018). Alimentos: el consumo responsable trastoca paradigmas. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 44 (1), 4-9. [https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/2634/RIA\\_2018\\_VOLUMEN44\\_N%c2%b01\\_p.4-9.pdf?sequence=1&isAllowed=](https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/2634/RIA_2018_VOLUMEN44_N%c2%b01_p.4-9.pdf?sequence=1&isAllowed=)

Organización de las Naciones Unidas, ONU. (2019). Objetivos y metas de desarrollo sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Organización de las Naciones Unidas, ONU. (2022). Aumenta hasta los 828 millones el número de personas que sufren hambre. <https://news.un.org/es/story/2022/07/1511372>

Oviedo, C. (2022). Diseño de un proceso sostenible basado en la teoría “Cradle to Cradle” para el aprovechamiento de plumas de pollo con aplicación en la producción de queratina cosmética Arequipa, 2022. Universidad Católica San Pablo. Tesis para optar por el bachillerato en ingeniería industrial. [https://repositorio.ucsp.edu.pe/bitstream/20.500.12590/17409/2/OVIEDO\\_ZEGARRA\\_CAR\\_DIS.pdf](https://repositorio.ucsp.edu.pe/bitstream/20.500.12590/17409/2/OVIEDO_ZEGARRA_CAR_DIS.pdf)

PanReac Applichem. (2018, 22 de enero). Determinación de Nitrógeno por el Método Kjeldahl. Itwreagents [https://www.itwreagents.com/uploads/20180122/A173\\_ES.pdf](https://www.itwreagents.com/uploads/20180122/A173_ES.pdf)

Perez, L. (2020). Alimentos del futuro: Crece la demanda de proteínas alternativas a la carne. *Revista de Investigaciones Agropecuarias del INTA*, 46 (2).

[https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/7920/RIA\\_VOL\\_UMEN46\\_N%c2%b02\\_p.136-139.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/7920/RIA_VOL_UMEN46_N%c2%b02_p.136-139.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Presidencia de la República de Costa Rica. (2021, 18 de agosto). Declaran de interés público el cultivo, industrialización y consumo de yuca.

[https://www.presidencia.go.cr/comunicados/2021/08/declaran-de-interes-publico-el-cultivo-industrializacion-y-consumo-de-yuca/#:~:text=El%20presidente%20de%20la%20Rep%C3%ABlica%2C%20Carlos%20Alvarado%20Quesada%2C%20y%20el,de%20yuca%20\(Manihot%20seculenta\)](https://www.presidencia.go.cr/comunicados/2021/08/declaran-de-interes-publico-el-cultivo-industrializacion-y-consumo-de-yuca/#:~:text=El%20presidente%20de%20la%20Rep%C3%ABlica%2C%20Carlos%20Alvarado%20Quesada%2C%20y%20el,de%20yuca%20(Manihot%20seculenta))

Promotora del Comercio Exterior de Costa Rica [PROCOMER]. (2019, 7 de diciembre). Señalan productos a base de yuca, plantas y cocina regional como tendencias del sector alimentario en 2019.

[https://www.procomer.com/alertas\\_comerciales/senalan-productos-a-base-de-yuca-plantas-y-cocina-regional-como-tendencias-del-sector-alimentario-en-2019/](https://www.procomer.com/alertas_comerciales/senalan-productos-a-base-de-yuca-plantas-y-cocina-regional-como-tendencias-del-sector-alimentario-en-2019/)

Promotora del Comercio Exterior de Costa Rica [PROCOMER]. (2019, 2 de abril). Insectos, leguminosas y algas serán las proteínas sostenibles del futuro.

[https://www.procomer.com/alertas\\_comerciales/insectos-leguminosas-y-algas-seran-las-proteinas-sostenibles-del-futuro/](https://www.procomer.com/alertas_comerciales/insectos-leguminosas-y-algas-seran-las-proteinas-sostenibles-del-futuro/)

Quesada, D y Gómez, G (2019). ¿Proteínas de origen vegetal o de origen animal?:

Una mirada a su impacto sobre la salud y el medio ambiente. Revista de Nutrición Clínica y Metabolismo 2(1):79-86.

<https://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/82330/2019%20Articulo%20Prote%c3%adnas%20vegetales%20y%20animales.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

REGLATEC. (2023). Reglamento Técnico Centroamericano [RTCA]. Anexo de la resolución 201-2007 (COMIECO-XLV) Harinas. Harina de trigo fortificada. Especificaciones. NTON 03 037-07/RTCA 67.01.15:07.

<https://www.reglatec.go.cr/reglatec/principal.jsp?refrescar=true>

- Rojo, E et al. (2023). Assisted-enzymatic hydrolysis vs chemical hydrolysis for fractional valorization of microalgae biomass. *Process Safety and Environmental Protection*, 174, p. 276-285.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582023002719>
- Román, L (2018). Análisis de la cadena logística de la yuca en Costa Rica. Naciones Unidas. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/fbc9dcef-22fc-407c-8c76-ad373a08c735/content>
- Romero de Armas, R et al. (2017). Afrecho de yuca como sustituto parcial del maíz en la alimentación de cerdos de engorde. *Producción y salud animal*. 54-61.  
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6230432.pdf>
- Ruiz, L (2016). Diseño de un secador de bandejas para la deshidratación de plátano en la parroquia Veracruz del cantón Pastaza. [Tesis de grado] Escuela superior Politécnica de Chimborazo.  
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/5677/1/96T00337.pdf>
- Santamaría, E et al. (2022). Sistema de control y monitoreo para el proceso de secado de alimentos: caso polen apícola. *Información Tecnológica*, 33(3), p. 137-148. <https://www.scielo.cl/pdf/infotec/v33n3/0718-0764-infotec-33-03-137.pdf>
- Santos, J et al. (2019). Fisiología del cultivo de yuca en el bosque seco tropical de Sucre- Colombia. *Temas Agrarios*, 24,(1).  
<http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/218/218897002/html/index.html>
- Servicio Fitosanitario del Estado [SFE] (2023). Análisis de residuos de plaguicidas realizados a vegetales frescos.  
<https://www.sfe.go.cr/DocsResiduosAgroquim/Informe Analisis de Residuos 2022.pdf>
- Servicios Técnicos de Investigación (STTI). (2022). Cromatografía líquida de alto rendimiento. Universidad de Alicante.  
<https://ssti.ua.es/es/instrumentacion-cientifica/unidad-de-analisis/cromatografia-liquida-de-alto-rendimiento.html>

- Suarez, L et al. (2022). Actividad biológica de hidrolizados de hoja de yuca variedad venezolana obtenidos con diferentes enzimas microbianas. *Información Tecnológica*, 33(2). <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642022000200077>
- Tarazona, C. (2018). Adición de niveles de harina de hoja de yuca (*Manihot esculenta*) en la ración y su efecto sobre los parámetros productivos de pollos de carne en la etapa de acabado en Yurimaguas-2018. [Tesis de grado]. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Perú. [https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/5843/Darwin\\_Trabajo\\_Titulo\\_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/5843/Darwin_Trabajo_Titulo_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Tigreros, J et al. (2021). Diferentes métodos de escaldado y su aplicación en frutas y verduras. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 8(1), p. 50-63. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8739316.pdf>
- Universidad Latinoamericana. (2017). Investigación exploratoria: fundamentos básicos. México. [http://practicaprofesionales.ula.edu.mx/documentos/ULAONLINE/Maestria/MAN/HRM558/Publicaci%C3%B3n/Semana\\_3/Estudiante/HRM558\\_S3\\_E\\_1\\_nv\\_explo.pdf](http://practicaprofesionales.ula.edu.mx/documentos/ULAONLINE/Maestria/MAN/HRM558/Publicaci%C3%B3n/Semana_3/Estudiante/HRM558_S3_E_1_nv_explo.pdf)
- Vargas, A et al. (2017). Prácticas efectivas para la reducción de impactos por eventos climáticos en el cultivo de la yuca Costa Rica. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-8215.pdf>
- Vargas, G et al. (2022). Aproximación de la humedad en granos de cacao por medio de su actividad de agua. Poster. <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/87890/Actividad%20Agu%20Cacao%20GuillermoVargas%20CIGRAS-UCR%20Poster22.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=El%20contenido%20de%20humedad%20m%C3%A1ximo,de%20la%20misma%20zona%20productora>
- Zea, J et al. (2017). Los aminoácidos en el cuerpo humano. *Revista Científica*

Mundo de la Investigación y el Conocimiento. 1(5), pp.379-391.  
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7116449.pdf>

Zumaeta, L y González, G (2014). Aceptabilidad y valor nutricional de la pasta de la hoja de yuca (*Manihot esculenta*) utilizada en distintos productos alimenticios. [Tesis de grado], Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.  
<https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/1930/T-664.805-Z92.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

## VII. Apéndice

## Apéndice A

### Datos experimentales de la determinación del contenido de humedad y proteína en base seca

**Tabla A16**

Datos experimentales y cálculo del contenido de humedad y proteína en base seca de las hojas de yuca frescas

Muestra	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Pérdida de masa (g)	Contenido de humedad (%)	Valor promedio (%)	Desviación estándar
Valencia-01	3,9996	1,1836	2,8160	70,41%		
Valencia-02	3,9973	1,2191	2,7782	69,50%	69,27%	0,01
Valencia-03	4,0104	1,2873	2,7231	67,90%		
Señorita-01	4,0530	1,2488	2,8042	69,19%		
Señorita-02	3,9658	1,3570	2,6088	65,78%	67,15%	0,02
Señorita-03	3,9548	1,3252	2,6296	66,49%		

**Tabla A17**

Cálculo de contenido de proteína en base seca de las hojas frescas

Variedad	Contenido de proteína (% bh)	Contenido de proteína (% bs)	Contenido promedio de humedad, %	Contenido promedio materia seca (%)
Valencia	12.7	41.3	69,27± 0,01	30.73
Señorita	10.2	31.1	67,15 ± 0,02	32.85

Cálculo contenido de materia seca = 100 - contenido de humedad  
 Cálculo contenido de materia seca Valencia= 100 - 69,27 = 30,73  
 Cálculo contenido de materia seca Señorita= 100-67,15 = 32,85

Cálculo proteína en base seca = % proteína base húmeda/ % materia seca  
 Proteína en base seca Valencia = (12,7/30,73)\*100 = 41,3  
 Proteína en base seca Señorita = (10,2/32,85)\*100 = 31,1

**Tabla A18**

Datos experimentales y cálculo del contenido de humedad de las hojas de yuca deshidratadas a 45 °C

Parámetros	Corrida N° 1		Corrida N° 2	
Temperatura de secado, °C	45		45	
Tiempo de secado, h	4		3	
Humedad inicial, %	R: (1)	73,6	73,60	
	R: (2)	67,8	68,48	
	R: (3)	70,8	70,45	
Promedio humedad inicial, %	70,73		70,84	
	Tiempo, min	Humedad, %	Tiempo, min	Humedad, %
Humedad en proceso, %	0	68,81	0	72
	30	64,41	60	64,23
	90	43,15	90	45,6
	150	22,66	120	24,5
	180	8,67	150	17,6
Prmedio humedad final, %	240	8,36	180	7,69
Réplicas del promedio de humedad final	240 (1)	8,42	180 (1)	7,78
	240 (2)	8,63	180 (2)	7,53
	240 (3)	8,35	180 (3)	7,69

**Tabla A19**

Datos experimentales y cálculo del contenido de humedad de las hojas de yuca deshidratadas a 62 °C

Parámetros	Corrida N° 1		Corrida N° 2	
Temperatura de secado, °C	62		62	
Tiempo de secado, h	3		3	
Humedad inicial, %	R: (1)	73,60	72,20	
	R: (2)	67,80	62,72	
	R: (3)	70,80	71,80	
Promedio humedad inicial, %	70,73		68,91	
	Tiempo, min	Humedad, %	Tiempo, min	Humedad, %
Humedad en proceso, %	0	70,73	0	71,57
	60	64,41	60	67,34
	90	43,15	90	45,76
	120	22,66	120	19,69
	150	8,67	150	9,67
Promedio humedad final, %	180	8,56	180	8,67
Réplicas del promedio de humedad final	180 (1)	8,36	180 (1)	8,78
	180 (2)	8,65	180 (2)	8,56
	180 (3)	8,68	180 (3)	8,67

**Tabla A20**

Datos experimentales y cálculo del contenido de humedad de las hojas de yuca deshidratadas a 75 °C

Paarámetros	Corrida N° 1		Corrida N° 2	
Temperatura de secado, °C	75		75	
Tiempo de secado, h	2,17		2,17	
Humedad inicial, %	R: (1)	72,4		71,03
	R: (2)	66,7		72,40
	R: (3)	73,2		69,70
Promedio humedad inicial, %	70,77		71,04	
	Tiempo, min	Humedad, %	Tiempo, min	Humedad, %
	0	61,85	0	62,3
Humedad en proceso, %	60	17,63	60	16,99
	80	8,04	80	8,39
	88	9,02	88	9,2
	120	5,99	120	5,33
Promedio humedad final, %	130	5,35	130	5,07
Réplicas del promedio de humedad final	130 (1)	5,49	130 (1)	5,34
	130 (2)	5,56	130 (2)	5,67
	130 (3)	5,51	130 (3)	5,81

## Apéndice B

### Datos experimentales para el cálculo de rendimientos

#### Tabla B21

#### Datos intermedios para el cálculo de rendimientos

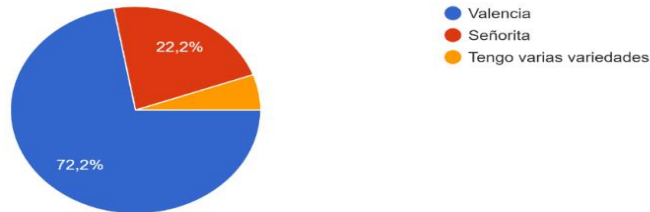
Repetición	Temperatura de secado (°C)	Masa hojas sin procesar <sup>a</sup> (g)	Masa hojas seleccionadas, lavadas, desinfectadas y cortadas (g)	Masa hojas deshidratadas (g)	Masa hojas molidas (harina) (g)	Rendimiento preparación de las hojas R1 (%)	Rendimiento secado R2 (%)	Rendimiento molienda R3 (%)	Rendimiento total R4 (%)
1	45	1267	1200	134	133	94,7%	11,2%	99,3%	10,5%
2	45	1306	1210	129	128	92,6%	10,7%	99,2%	9,8%
3	62	1243	1200	128	127	96,6%	10,7%	99,2%	10,2%
4	62	1273	1215	126	125	95,4%	10,4%	99,2%	9,8%
5	75	1269	1200	117	117	94,5%	9,8%	100,0%	9,2%
6	75	1269	1200	121	120	94,5%	10,1%	99,2%	9,5%
Rendimiento promedio						94,7%	10,4%	99,3%	9,8%

<sup>a</sup> Las hojas se utilizaron entre 48 y 96 horas después de ser cosechadas

## Apéndice C

### Resultados de encuesta a personas productoras. Datos textuales obtenidos del formulario de Google aplicado

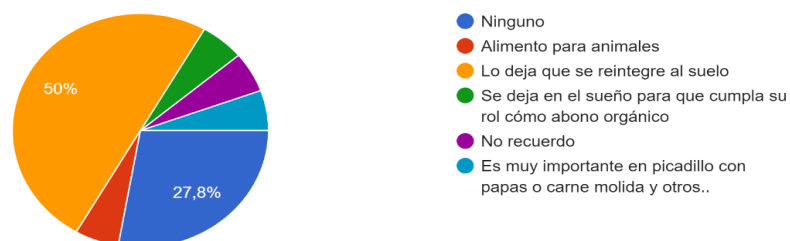
1. ¿Qué variedad de yuca siembra en su finca o parcela?  
18 respuestas



2. ¿Cuánto terreno dedica al cultivo de la yuca?  
18 respuestas

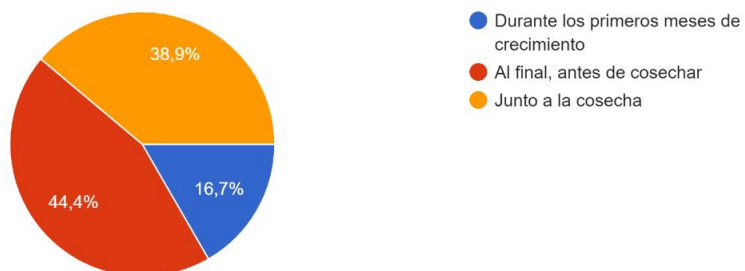


3. ¿Qué usos les da a las hojas (follaje) que genera su plantación?  
18 respuestas



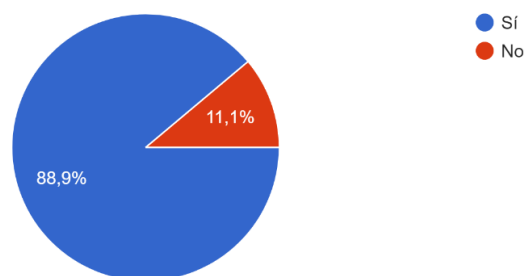
4. ¿En qué punto del proceso de crecimiento de la yuca elimina las hojas de las plantas?

18 respuestas



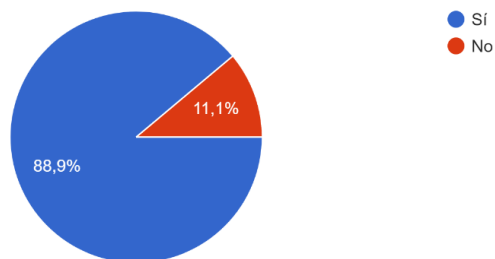
5. ¿Le interesaría tener una opción para dar valor agregado a las hojas que desecha en su plantación?

18 respuestas



6. ¿Estaría dispuesta (o) a donar alguna cantidad de hojas para realizar estudios académicos?

18 respuestas



7. ¿Qué opina de nuestra propuesta de elaborar harina de hojas de yuca? Comparta sus comentarios.

17 respuestas

Interesante

Muy buena idea ojalá se pueda realizar ése proyecto

Sería interesante probar productos innovadores, ya que podemos diversificar el producto y no dejarlo cómo monocultivo en la zona dónde se encuentre

La mejor

Sería de mucha utilidad

Me parece una oportunidad innovadora

Excelente

Me parece una opción sumamente interesante debido a que actualmente es en desechó y con esta idea se podría aprovechar y tener una mayor utilidad en la plantación.

Muy innovador

Muy Interesante y la oportunidad de aprovecharlo para dicho alimento

Me parece muy buena idea

Me parece exelente ede proseso

Sería buena opcion

Muy buena opción de algo q no se está aprovechando

Lo k se puede haser es almidón de la yuca y la yuca se proseza cómo yuca frita.pan de yuca .tortas de yuca ext ext....

Muy interesantes, es una manera de ayudar al productor a tener más ingresos, aprovechar toda la planta y ofrecer un nuevo producto al mercado

La última pregunta revela datos personales de los participantes en la actividad, por lo que no se mostrarán las respuestas.

## **VIII. Anexos**

## Anexo 1

## Informe de resultados de proteína de las hojas frescas (Laboratorio San Martín)



R02-PGDT-01

## Informe de Ensayos

Cliente: Universidad Técnica Nacional, ITA		Código del informe: U037-081022-02
Muestreado por: El Interesado		Fecha del muestreo: 08-10-2022
Dirección: Balsa de Atenas, Provincia: Alajuela, Cantón: Atenas, Distrito: Concepción		Fecha de recepción: 10-10-2022
Permiso Sanitario de Funcionamiento del Laboratorio San Martín #1815-2021 dado el 08/12/2021, vence el 08/12/2023 y #CS-ARSSEM-1117-2021 dado el 11/12/2020, vence el 11/12/2022.		Fecha de reporte: 19-10-2022
Metodología de análisis: de acuerdo al procedimiento AOAC y al procedimiento FAO.		
Métodos de análisis acreditados por el ECA identificados en este informe por medio de un asterisco (*). Para consulta de variables acreditadas ingresar a la página del ECA ( <a href="http://www.eca.or.cr/acr_lab.php">http://www.eca.or.cr/acr_lab.php</a> ) en el link del Laboratorio San Martín.		
Código LSM	IB22-0506	
Punto de muestreo	Muestra de Hojas de Yuca variedad Señorita, S01 muestra tomada el 05-10-2022	
Ensayo	Por cada 100 g	
**Proteína total (g)	10,20	
Observaciones: Ejecución de actividades del Laboratorio: 10/10/2022 - 19/10/2022 Los resultados de los análisis de este informe, solamente se refieren a las muestras aquí descritas (**) Método de ensayo no acreditado		

NOELIA MARIA  
HERNANDEZ  
CAMPOS  
(FIRMA)

Firmado digitalmente por  
NOELIA MARIA  
HERNANDEZ  
CAMPOS (FIRMA)  
Fecha: 2022.10.20  
14:11:39 -06'00'

BQ. Noelia Hernández C.  
Química NI. 2790

Queda prohibida la reproducción parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio San Martín.

Control de los registros del sistema:

Solicitud de cambio N°: SCS-2018-001	Elaborado por: Gerente Técnico	Aprobado por: Gerente Técnico	Fecha de aprobación 01 Noviembre 2018	Rige a partir de 02 Noviembre 2018	Versión 14	Página: 1 de 1
---	-----------------------------------	----------------------------------	--	---------------------------------------	---------------	-------------------



Experiencia y Tecnología a su Servicio

R02-PGDT-01

## Informe de Ensayos

Cliente: Universidad Técnica Nacional, ITA		Código del informe: U037-081022-01
		Fecha del muestreo: 08-10-2022
Muestreado por: El Interesado		Fecha de recepción: 10-10-2022
Dirección: Balsa de Atenas, Provincia: Alajuela, Cantón: Atenas, Distrito: Concepción		Fecha de reporte: 19-10-2022
Permiso Sanitario de Funcionamiento del Laboratorio San Martín #1815-2021 dado el 08/12/2021, vence el 08/12/2023 y #CS-ARSSEM-1117-2021 dado el 11/12/2020, vence el 11/12/2022.		
Metodología de análisis: de acuerdo al procedimiento AOAC y al procedimiento FAO.		
Métodos de análisis acreditados por el ECA identificados en este informe por medio de un asterisco (*). Para consulta de variables acreditadas ingresar a la página del ECA ( <a href="http://www.eca.or.cr/acr_lab.php">http://www.eca.or.cr/acr_lab.php</a> ) en el link del Laboratorio San Martín.		
Código LSM	IB22-0505	
Punto de muestreo	Muestra de Hojas de Yuca variedad Valencia, V01 muestra tomada el 05-10-2022	
Ensayo	Por cada 100 g	
**Proteína total (g)	12,70	
Observaciones: Ejecución de actividades del Laboratorio: 10/10/2022 - 19/10/2022 Los resultados de los análisis de este informe, solamente se refieren a las muestras aquí descritas (**) Método de ensayo no acreditado		

NOELIA MARIA  
HERNANDEZ  
CAMPOS  
(FIRMA)

BQ. Noelia Hernández C.  
Química NI. 2790

Queda prohibida la reproducción parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio San Martín.

Control de los registros del sistema:

Solicitud de cambio N°: SCS-2018-001	Elaborado por: Gerencia Técnica	Aprobado por: Gerencia de Calidad	Fecha de aprobación 01 Noviembre 2018	Rige a partir de 02 Noviembre 2018	Versión 14	Página: 1 de 1
---	------------------------------------	--------------------------------------	--	---------------------------------------	---------------	-------------------

Calle 1 y 3, Av. 10, 300 m Sur y 50 m Este del Banco Popular, San José.  
Tel: 2222-3635 Fax: 2222-2486

✉ info@labsanmartin.com  
🌐 www.labsanmartin.com

## Anexo 2

## Informe de resultados de análisis de plaguicidas (Laboratorio SUPLILAB)

Laboratorio ACREDITADO INTE-ISO/IEC 17025:2017	<b>INFORME DE RESULTADOS</b> CHEM-FPT-015B-1 Version 23	<b>CHEM-ID-11142-2022</b>
		 <b>CHEMLOBS</b> SERVICIOS DE ANÁLISIS AMBIENTALES

## DATOS DE LA MUESTRA

<b>Cliente:</b>	Universidad Técnica Nacional (Atenas)		<b>Proc. muestreo</b>	
<b>Contacto:</b>			<b>Muestreado por</b>	Cliente
<b>Dirección:</b>			<b>Matriz:</b>	Hoja
			<b>Fecha de Muestreo</b>	01-nov.-22
			<b>Fecha Recepción:</b>	02-nov.-22
<b>Teléfono:</b>	<b>Fax:</b>		<b>Fecha de Análisis:</b>	02-nov.-22
<b>e-mail:</b>			<b>Fecha de Reporte:</b>	11-nov.-22
<b>Tipo de Análisis</b>	Barrido de Plaguicidas			
<b>Lugar de Muestreo:</b>	AE-14522, Hoja de yuca variedad Valencia deshidratadas y molidas. L: V01-MS			


Condiciones Ambientales:


## DETALLE REPORTE DE RESULTADOS ANALISIS

ID	A	PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADO	INCERT	LD	LC	METODO	REFERENCIA
10	*	Carfentrazone-ethyl	mg/Kg	N.D.	0.0001	0.0002	0.0003	CHEM-PT-084	QUECHERS
10	*	Fenpropimorph	mg/Kg	N.D.	0.0001	0.0002	0.0003	CHEM-PT-084	QUECHERS
10	*	Fluopicolide	mg/Kg	N.D.	0.0001	0.0002	0.0003	CHEM-PT-084	QUECHERS
10	*	Pyriproxyfen	mg/Kg	N.D.	0.0001	0.0002	0.0003	CHEM-PT-084	QUECHERS
10	*	2,4,5-T	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	EPA-680
10	*	2,4-D	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	EPA-680
10	*	2,4-DB	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	EPA-680
10	*	8- hidroxiquinoleina	mg/Kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	Abamectina	mg/Kg	N.D.	0,0002	0,0003	0,0004	CHEM-PT-021	HPLC
10	*	Acefato	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	Alaclor	mg/kg	N.D.	0,002	0,002	0,004	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	Aldrin	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	Aletrina	mg/kg	N.D.	0,002	0,006	0,009	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	alfa-BHC	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	Ametrina	mg/kg	N.D.	0,002	0,002	0,004	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	Aspon	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	Atrazina	mg/kg	N.D.	0,002	0,002	0,004	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	Azadirachtina	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	PAM-301
10	*	Azinfos-etil	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	Azinfos-metil	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	Azoxistrobin	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	PAM-301
10	*	Benfluralin	mg/kg	N.D.	0,002	0,002	0,004	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	Benomil	mg/kg	N.D.	0,002	0,002	0,004	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	Bentazona	mg/kg	N.D.	0,002	0,002	0,004	CHEM-PT-021	PAM-404

<p>Laboratorio de Ensayo Alcance de Acreditación N° LE-043 Acreditado a partir de: 2007.06.11 De acuerdo a la Ley No. 11, Decreto Ejecutivo 25522 y sus modificaciones Alcance disponible en <a href="http://www.eca.or.cr">www.eca.or.cr</a></p>	<p>En caso de tener algun RECLAMO-DUDA-CONSULTA sobre los servicios brindados, esto puede ser enviado a traves del correo: <a href="mailto:servicioalcliente@chemlabsonline.com">servicioalcliente@chemlabsonline.com</a></p> <p><b>Solución Total a sus Problemas Ambientales</b></p>	<p>Dirección: #42 Residencial Monserrat Concepción, La Unión Cartago-Costa Rica Teléfono: (506) 2279-0668 Fax: (506) 2279-0668 Email: <a href="mailto:servicioalcliente@chemlabsonline.com">servicioalcliente@chemlabsonline.com</a></p> <p style="text-align: right;">Página 1 of 8</p>
---	--	--

ID	C	A	PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADO	INCERT	LD	LC	METODO	REFERENCIA
10	*		Benzimidazol	mg/Kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Benzoilprop-etil	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		beta-BHC	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Bifenox	mg/kg	N.D.	0,002	0,002	0,004	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Bifentrina	mg/kg	N.D.	0,002	0,002	0,004	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Bitertanol	mg/kg	N.D.	0,002	0,002	0,004	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Brodifacouma	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Bromacil	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Bromadiolon	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Bromofos	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Bromofos-etil	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Bromopropilato	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Butilato	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Butoxido de Piperonilo	mg/Kg	N.D.	0,002	0,002	0,004	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Butralin	mg/kg	N.D.	0,002	0,002	0,004	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Cadusafos	mg/kg	N.D.	0,002	0,002	0,004	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Captafol	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Captan	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Carbaryl	mg/Kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-049	QUECHERS
10	*		Carbendazim	mg/kg	N.D.	0,002	0,002	0,004	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Carbofenotion	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Carboxin	mg/kg	N.D.	0,002	0,002	0,004	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Cianazina	mg/kg	N.D.	0,002	0,002	0,004	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Cianofos	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Cicloato	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Ciflutrina 1	mg/kg	N.D.	0,002	0,006	0,009	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Ciflutrina 4*	mg/kg	N.D.	0,002	0,006	0,009	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Cihalotrina	mg/kg	N.D.	0,002	0,006	0,009	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Cipermetrina	mg/kg	N.D.	0,002	0,006	0,009	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Ciprazina	mg/kg	N.D.	0,002	0,002	0,004	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Cis-clordano	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Cis-mevinfos	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Cis-permetrina	mg/kg	N.D.	0,002	0,006	0,009	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Clomazon	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Clordimefom	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Clorfenvinfos	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Clorfenvinfos(z)	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Clorflurenol-metill ester	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Clormefos	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Clorobenzilato	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Clorobromuron	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Clorofenson	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Clortalonil	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Clorpirifos	mg/kg	N.D.	0,002	0,002	0,004	CHEM-PT-021	QUECHERS

	<p>En caso de tener algun RECLAMO-DUDA-CONSULTA sobre los servicios brindados, esto puede ser enviado a través del correo: <a href="mailto:servicioalcliente@chemlabsonline.com">servicioalcliente@chemlabsonline.com</a></p> <p><b>Solución Total a sus Problemas Ambientales</b></p>	<p>Dirección: #42 Residencial Monserrat          Concepción, La Unión Cartago-Costa Rica          Teléfono: (506) 2279-0668          Fax: (506) 2279-0668          Email: <a href="mailto:servicioalcliente@chemlabsonline.com">servicioalcliente@chemlabsonline.com</a></p> <p><b>Página 2 of 8</b></p>
---	--	--

	<p>En caso de tener algun RECLAMO-DUDA-CONSULTA sobre los servicios brindados, esto puede ser enviado a través del correo: <a href="mailto:servicioalcliente@chemlabsonline.com">servicioalcliente@chemlabsonline.com</a></p> <p><b>Solución Total a sus Problemas Ambientales</b></p>	<p>Dirección: #42 Residencial Monserrat          Concepción, La Unión Cartago-Costa Rica          Teléfono: (506) 2279-0668          Fax: (506) 2279-0668          Email: <a href="mailto:servicioalcliente@chemlabsonline.com">servicioalcliente@chemlabsonline.com</a></p> <p><b>Página 3 of 8</b></p>
---	--	--

ID	A	PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADO	INCERT	LD	LC	METODO	REFERENCIA
10	*	Clorpirifos-metil	mg/kg	N.D.	0,002	0,002	0,004	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	Clorprofam	mg/kg	N.D.	0,002	0,002	0,004	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	Clortal-dimetil	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	Clortiofos	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	Clozolinato	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	Clozolinato	mg/kg	N.D.	0.0001	0.0002	0.0003	CHEM-PT-084	QUECHERS
10	*	Coumafos	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	Crotoxifos	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	Crufomato	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	Cymoxanil	mg/Kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	Dalapon	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	De-etil abrazina	mg/kg	N.D.	0,002	0,002	0,004	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	Delta-BHC	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	Deltametrina	mg/kg	N.D.	0,002	0,006	0,009	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	Demeton	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	Demeton 2	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	Demeton-S-metil	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	Desmetrina	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	Dialato 1	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	Dialato 2	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	Dialifos	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	Diazinon	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	Diclobenil	mg/kg	N.D.	0,002	0,002	0,004	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	Diclofention	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	Dicofluanid	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	Dicloran	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	Diclorvos	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	Dicofol	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	Dicrotofos	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	Dieldrin	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	Difeconazole	mg/Kg	N.D.	0,002	0,002	0,004	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	Difenamid	mg/kg	N.D.	0,002	0,002	0,004	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	Difeniltamina	mg/kg	N.D.	0,002	0,002	0,004	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	Difetialon	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	Dimetaclor	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	Dimetoato	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	Dimetomorf	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	PAM-301
10	*	Dinitramina	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	Dioxation	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	Diquat	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	Disulfoton	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	Diuron	mg/kg	N.D.	0.0001	0.0002	0.0003	CHEM-PT-084	QUECHERS
10	*	Endosulfan I	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*	Endosulfan II	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS



En caso de tener algun RECLAMO-DUDA-CONSULTA sobre los servicios brindados, esto puede ser enviado a traves del correo: [servicioalcliente@chemlabsonline.com](mailto:servicioalcliente@chemlabsonline.com)

**Solución Total a sus Problemas Ambientales**

Dirección: #42 Residencial Monserrat  
 Concepción, La Unión Cartago-Costa Rica  
 Teléfono: (506) 2279-0668  
 Fax: (506) 2279-0668  
 Email: [servicioalcliente@chemlabsonline.com](mailto:servicioalcliente@chemlabsonline.com)

Página 3 of 8

ID	C	A	PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADO	INCERT	LD	LC	METODO	REFERENCIA
10	*		Endosulfan Sulfato	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Endrin	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		EPN	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Epoxiconazole	mg/Kg	N.D.	0,002	0,002	0,004	CHEM-PT-021	PAM-301
10	*		EPTC	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Erbon	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Espinosad	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	PAM-301
10	*		Etalfluralin	mg/kg	N.D.	0,002	0,002	0,004	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Etefon	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-067	HEAD-SPAC
10	*		Etilan	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Etion	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Etoprofos	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Etridiazol	mg/kg	N.D.	0,002	0,002	0,004	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Etrimfos	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Fenamifos	mg/kg	N.D.	0,002	0,002	0,004	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Fenarimol	mg/kg	N.D.	0,002	0,002	0,004	CHEM-PT-021	PAM-404
10	*		Fenbuconazol	mg/kg	N.D.	0,002	0,002	0,004	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Fenitrotrion	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Fenpropidin	mg/Kg	N.D.	0,002	0,002	0,004	CHEM-PT-021	PAM-404
10	*		Fenson	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Fensulfotion	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Fention	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Fentoato	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Fenvalerato 1	mg/kg	N.D.	0,002	0,006	0,009	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Fenvalerato 2	mg/kg	N.D.	0,002	0,006	0,009	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Fipronil	mg/Kg	N.D.	0,001	0,003	0,005	CHEM-PT-023	EPA-680
10	*		Flamprop-metil	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Flocoumafen	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Flucloralin	mg/kg	N.D.	0,002	0,002	0,004	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Flusilazol	mg/kg	N.D.	0,002	0,002	0,004	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Fluxapyroxad	mg/Kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Folpet	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Fonofos	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Forato	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Fosalona	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Fosetil-Al	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Fosfamidon	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Fosmet	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Foxim	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Glifosato	mg/kg	N.D.	0,002	0,002	0,004	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Glufosinato de Amonio	mg/Kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-400	DES-LAB
10	*		Heptacloro	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Heptanofos	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Hexaclorobenzeno	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS



En caso de tener algun RECLAMO-DUDA-CONSULTA sobre los servicios brindados, esto puede ser enviado a través del correo: [servicioalcliente@chemlabsonline.com](mailto:servicioalcliente@chemlabsonline.com)

**Solución Total a sus Problemas Ambientales**

Dirección: #42 Residencial Monserrat  
 Concepción, La Unión Cartago-Costa Rica  
 Teléfono: (506) 2279-0668  
 Fax: (506) 2279-0668  
 Email: [servicioalcliente@chemlabsonline.com](mailto:servicioalcliente@chemlabsonline.com)

ID	C	A	PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADO	INCERT	LD	LC	METODO	REFERENCIA
10	*		Hexaconazol	mg/kg	N.D.	0,002	0,002	0,004	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Hexazinona	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Hidrametilona	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Imazalil	mg/kg	N.D.	0,002	0,002	0,004	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Imidacloprid	mg/Kg	N.D.	0,0001	0,0002	0,0003	CHEM-PT-084	QUECHERS
10	*		Iodofenfos	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Iprodiona	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Isazofos	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Isofenfos	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Lambda Cihalotrina	mg/Kg	N.D.	0,002	0,002	0,004	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Leptofos	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Lindano	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Linuron	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Malation	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Maloxon	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Mancozeb	mg/kg	N.D.	0,001	0,002	0,003	CHEM-PT-032	EPA-630.1
10	*		MCPA	mg/kg	N.D.	0,002	0,3	0,5	CHEM-PT-021	EPA-680
10	*		Mecroprop	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Metalaxil	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Metamidofos	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Metazaclor	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Metidation	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Metil-paration	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Metil-tiofanato	mg/kg	N.D.	0,002	0,002	0,004	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Metil-trition	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Metobromuron	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Metolaclor	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Metoprotrina	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Metoxiclor	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Metoxi-Fenozida	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	PAM-301
10	*		Metribuzina	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Miclobutanil	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Mirex	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Monocrotofos	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Monolinuron	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Naled	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	PAM-301
10	*		Nitralina	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Nitrapirina	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Nitrofen	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Norflurazon	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		o,p'-DDT	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Ometoato	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Oxadiazon	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Oxicarboxin	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS




En caso de tener algun RECLAMO-DUDA-CONSULTA sobre los servicios brindados, esto puede ser enviado a través del correo: [servicioalcliente@chemlabsonline.com](mailto:servicioalcliente@chemlabsonline.com)

**Solución Total a sus Problemas Ambientales**

Dirección: #42 Residencial Monserrat  
 Concepción, La Unión Cartago-Costa Rica  
 Teléfono: (506) 2279-0668  
 Fax: (506) 2279-0668  
 Email: [servicioalcliente@chemlabsonline.com](mailto:servicioalcliente@chemlabsonline.com)

Página 5 of 8

ID	C	A	PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADO	INCERT	LD	LC	METODO	REFERENCIA
10	*		Oxiclordano	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Oxifluorfen	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10			Oxitetraciclina	mg/Kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-049	HPLC
10	*		p,p'-DDD	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		p,p'-DDE	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		p,p'-DDT	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Paraquat	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	DES-LAB
10	*		Paration	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Paroxon	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Pebulato	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Pendimetalina	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Permetrina	mg/kg	N.D.	0,002	0,006	0,009	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Piraclostrobin	mg/kg	N.D.	0,002	0,002	0,004	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Pirazofos	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Piretrinas Naturales	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Pirimetanil	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Pirimicarb	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Pirimifos-etil	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Pirimifos-metil	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Procimidona	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Procloraz	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Profenfos	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Profluralin	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Profos (protiofos)	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Prometon	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Prometrina	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Propaclor	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Propamocarb	mg/Kg	N.D.	0,002	0,002	0,004	CHEM-PT-021	PAM-404
10	*		Propanil	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Propargita	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Propazina	mg/kg	N.D.	0,002	0,002	0,004	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Propentafos	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Propetamfos	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Propiconazol	mg/kg	N.D.	0,002	0,002	0,004	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Propiconazol 2	mg/kg	N.D.	0,002	0,002	0,004	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Propineb	mg/Kg	N.D.	0,001	0,002	0,003	CHEM-PT-032	EPA-630.1
10	*		Propizamida	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Quintozeno	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Quizalofop	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Ronel	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Schradan	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Simazina	mg/kg	N.D.	0,002	0,002	0,004	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Sipiroxamina	mg/kg	N.D.	0,002	0,002	0,004	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Sulfotep	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS

	<p>En caso de tener algun RECLAMO-DUDA-CONSULTA sobre los servicios brindados, esto puede ser enviado a través del correo: <a href="mailto:servicioalcliente@chemlabsonline.com">servicioalcliente@chemlabsonline.com</a></p>	<p>Dirección: #42 Residencial Monserrat          Concepción, La Unión Cartago-Costa Rica          Teléfono: (506) 2279-0668          Fax: (506) 2279-0668          Email: <a href="mailto:servicioalcliente@chemlabsonline.com">servicioalcliente@chemlabsonline.com</a></p>
<p><b>Solución Total a sus Problemas Ambientales</b></p>		<p>Página 6 of 8</p>

ID	C	A	PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADO	INCERT	LD	LC	METODO	REFERENCIA
10	*		Sulprofos	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		TCMTB	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Tebuconazol	mg/kg	N.D.	0,002	0,002	0,004	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Tecnazeno	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Terbacil	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Terbufos	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Terbutilazina	mg/kg	N.D.	0,002	0,002	0,004	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Terbutrina	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Tetraclorvinfos	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Tetradifon	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Tetrametrina 1	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Tetrametrina 2	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Tiabendazol	mg/kg	N.D.	0,002	0,002	0,004	CHEM-PT-021	QUECHERS
10			Tiametoxan	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,004	CHEM-PT-320	QUECHERS
10	*		Tolfluanid	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Toxafeno	mg/kg	N.D.	0,025	0,030	0,050	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Trans-clordano	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Trans-mevinfos	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Trans-permetrina	mg/kg	N.D.	0,002	0,006	0,009	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Triadimefon	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Triadimenol	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Trialato	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Triazofos	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Triazol	mg/Kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Triclorfon	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Tridemorf	mg/kg	N.D.	0,002	0,004	0,006	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Trifloxistrobina	mg/kg	N.D.	0,002	0,002	0,004	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Trifluralin	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Vernolato	mg/kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Vinclozolin	mg/Kg	N.D.	0,002	0,003	0,005	CHEM-PT-021	QUECHERS
10	*		Endrin	mg/kg	N.D.	0,04	0,30	0,50	CHEM-PT-029	EPA-524.2
10	*		Toxafeno	mg/kg	N.D.	0,001	0,003	0,005	CHEM-PT-029	EPA-524.2

INCERT: Corresponde a la Incertidumbre expandida  $k=2$  para un 95% de confianza en las unidades del parámetro analizado

LD: Límite de Detección en las unidades del parámetro analizado

LC: Límite de Cuantificación en las unidades del parámetro analizado

N.D.: No detectado, nivel bajo el límite de detección

Permiso de funcionamiento ARSLU-3415-12-2021 vence 09-diciembre-2026

Con \* Ensayo Acreditado INTE-ISO/IEC 17025:2017 ante el Ente Costarricense de Acreditación, sin \* Ensayo no acreditado, con \*\* ensayo subcontratado alcance en [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)

#### OBSERVACIONES:

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del Laboratorio



En caso de tener algun RECLAMO-DUDA-CONSULTA sobre los servicios brindados, esto puede ser enviado a traves del correo: [servicioalcliente@chemlabsonline.com](mailto:servicioalcliente@chemlabsonline.com)

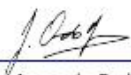
**Solución Total a sus Problemas Ambientales**

Dirección: #42 Residencial Monserrat  
Concepción, La Unión Cartago-Costa Rica  
Teléfono: (506) 2279-0668  
Fax: (506) 2279-0668  
Email: [servicioalcliente@chemlabsonline.com](mailto:servicioalcliente@chemlabsonline.com)

Página 7 of 8

Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.



  
José Armando Rodríguez  
Jefe del Laboratorio

----- Final del Informe -----



En caso de tener algun RECLAMO-DUDA-CONSULTA sobre los servicios brindados, esto puede ser enviado a través del correo: [servicioalcliente@chemlabsonline.com](mailto:servicioalcliente@chemlabsonline.com)

**Solución Total a sus Problemas Ambientales**

Dirección: #42 Residencial Monserrat  
Concepción, La Unión Cartago-Costa Rica  
Teléfono: (506) 2279-0668  
Fax: (506) 2279-0668  
Email: [servicioalcliente@chemlabsonline.com](mailto:servicioalcliente@chemlabsonline.com)

**Página 8 of 8**

## Anexo 3

### Informe de resultados de análisis proximal (CITA)



UNIVERSIDAD DE  
COSTA RICA

1/2

**SAQ-6642-2023**

R-SA-032 Emisión 7 31/10/2019

#### PROGRAMA DE APOYO A LA INDUSTRIA ALIMENTARIA REPORTE DE ANÁLISIS QUÍMICO

INFORMACIÓN GENERAL DE LA SOLICITUD	
TIPO DE SOLICITUD:	PATI
OFERTA N°:	SAQ-6642
EMPRESA O PROYECTO:	Universidad Técnica Nacional (UTN)
SOLICITANTE:	Priscilla Alvarado Marengo
TELÉFONO:	8597-3263
DIRECCIÓN:	Balsa de Atenas, 7 km oeste del cruce de Río Grande de Atenas

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA	
FECHA ENTRADA:	12-06-2023
FECHA ANÁLISIS:	13-06-2023
FECHA EMISIÓN:	10-07-2023

#### Notas

1. Este informe de análisis se refiere únicamente a las muestras ensayadas que fueron recibidas en las instalaciones del CITA. El proceso de muestreo ha sido responsabilidad del cliente.
2. Este reporte no tiene validez legal sin la firma y sello del responsable del laboratorio y no debe ser reproducido parcialmente, son autorización expresa de dicho responsable.
3. Para cualquier consulta sobre los resultados de estos análisis, por favor comuníquese con el responsable de este reporte al (506) 2511-7215 o (506) 2511-7226.
4. Envíenos sus comentarios sobre nuestros servicios al correo: [suopinion.cita@ucr.ac.cr](mailto:suopinion.cita@ucr.ac.cr) o comuníquese al teléfono: (506) 2511-8849.
5. Las referencias de los métodos de análisis corresponden a las versiones vigentes.
6. Generalmente los resultados se expresan como  $\pm$  incertidumbre. Dicha incertidumbre expandida se expresa con un factor de cobertura de  $k=2$  que representa un nivel de 95% de confianza.

#### OBSERVACIONES

N/A



**CENTRO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

TEL: 2511-7223, FAX: 2253-3762

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio 100 m oeste detrás de la Facultad de Ciencias Agroalimentarias

## RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS REALIZADOS POR NÚMERO DE MUESTRA

# Muestra:	SAQ-6642-1	
Descripción:		
Hojas de yuca deshidratadas V01-75-1		
Análisis	Resultado	Método Empleado
Carbohidratos totales	(64,2 ± 7,2) g/100 g	Por diferencia 100-(%Humedad + %Ceniza + %Proteína + %Grasa)
Ceniza	(5,68 ± 0,21) g/100 g	923.03 AOAC, P-SA-MQ-004
Grasa cruda	(3,45 ± 0,15) g/100 g	11.0 ASTA, Official Analytical Methods, P-SA-MQ-005
Humedad	(14,6 ± 1,4) g/100 g	2.1 ASTA, Official Analytical Methods, P-SA-MQ-002
Proteína (Nx6,25)	(12,05 ± 0,16) g/100 g	920.152 AOAC modificado, P-SA-MQ-003
Fibra soluble	(Menor a 0,50) g/100 g	993.19 AOAC
Fibra insoluble	(40,2 ± 2,0) g/100 g	991.42 AOAC

GRACIELA ARTAVIA GONZALEZ (FIRMA)  
 PERSONA FISICA, CPF-01-1238-0157.  
 Fecha declarada: 10/07/2023 12:37:02 PM  
 Esta es una representación gráfica únicamente,  
 verifique la validez de la firma.

Emitido por: Lic. Graciela Artavia González

**GERENTE TÉCNICO**

**LABORATORIO QUÍMICO DE ALIMENTOS**

\*\*\*\*\* ÚLTIMA LINEA \*\*\*\*\*

## Anexo 4

### Informe de resultados de análisis de aminoácidos (Laboratorio Cenibiot)

CeNAT.F.08  
Rige a partir de 17/11/2021



#### INFORME DE VENTA DE SERVICIO

Fecha de salida: 18/11/2022

Hora: 4:00 pm

Consecutivo del análisis: VS-CeNIBiot-101 -2022

#### A. INFORMACIÓN GENERAL

1. Laboratorio	<input type="checkbox"/> CNCA <input checked="" type="checkbox"/> CENIBiot <input type="checkbox"/> Gestión Ambiental	<input type="checkbox"/> LANOTEC <input type="checkbox"/> PRIAS <input type="checkbox"/> FunCeNAT
2. Elaborado por:	Douglas Venegas / Melissa González.	
3. Fecha de recepción	01/11/2022.	
4. Fecha de análisis	11-12/11/2022.	
5. Fecha de emisión de informe	18/11/2022.	

#### B. Cliente e información de contacto

Cliente: Universidad Técnica Nacional  
Cédula jurídica o física: 3007556085.  
Provincia: Alajuela.  
Cantón: Atenas.  
Distrito: Concepción.  
Correo: palvarado@utn.ac.cr.

#### C. Muestra:

10122: 2 bolsas de plástico con la muestra, de 25.92 g y 25.15 g totales, respectivamente, etiquetadas como V01-SM, hojas de yuca, variedad Valencia.

#### D. Equipos utilizados:

Balanza analítica, AB 304S/FACT Metter Toledo.  
Cromatógrafo líquido de alta resolución, Agilent 1200.  
Espectrómetro de masas de triple cuadrupolo, Qtrap 4000 AB Sciex.  
Plantilla de agitación Isotemp, Fischer Scientific.  
Campana de extracción de gases, EBD-5A0 Serial, ESCO.

#### E. Metodología:

La determinación de aminoácidos se realiza mediante una hidrólisis ácida, usando el método establecido en el CeNIBiot, seguido de una dilución. Finalmente, las muestras se filtran a viales de inyección, para ser analizadas mediante cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas en tándem.

#### F. Análisis de datos:

Se prepara una curva de calibración de cada compuesto, las muestras se interpolan en esta curva para obtener la concentración de cada analito presente en la muestra. Los resultados de las muestras se promedian y se obtiene la desviación estándar de la medición.

Página 1/4

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN PARCIAL SIN PREVIA AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO

Tel Central (506) 2519-5835, directo (506) 2519-5838  
Apartado 1174-1200 Pavas, San José, Costa Rica.

cenibiot@cenat.ac.cr

www.cenibiot.ac.cr



## INFORME DE VENTA DE SERVICIO

### G. Resultados:

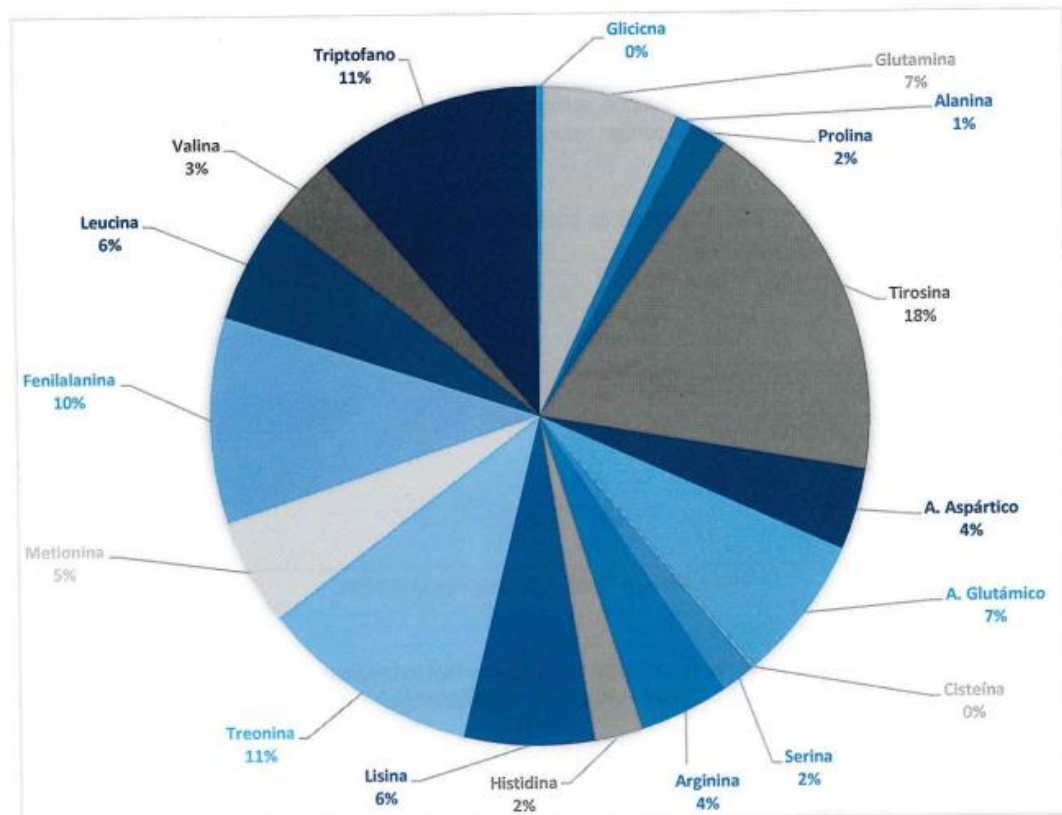
Cuadro I. Concentración de aminoácidos presentes en la muestra 10122.

Aminoácido	10122	
	Concentración $\mu\text{g/g}$	Desviación ( $\mu\text{g/g}$ )
Glicina	18,6	0,2
Glutamina	328	9
Alanina	41	5
Prolina	88	3
Tirosina	894	47
A. Aspártico	199	15
A. Glutámico	353	27
Cisteína	4,4	0,9
Serina	84	7
Arginina	219	19
Histidina	117,3	0,5
Lisina	317	7
Treonina	534	19
Metionina	257	91
Fenilalanina	500	13
Leucina / Isoleucina	273	7
Valina	166	11
Triptófano	549	50

**Nota:** el porcentaje de aminoácidos total corresponde a 0.5% m/m.



### INFORME DE VENTA DE SERVICIO



Página 3/4  
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN PARCIAL SIN PREVIA AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO



## INFORME DE VENTA DE SERVICIO

### H. Observaciones:

Los datos obtenidos y reportados en este informe aplican única y exclusivamente para las muestras analizadas e identificadas en este informe. Los mismos no pueden extenderse o extrapolarse a muestras que no hayan sido descritas en este documento.

La información que se brinda en este documento es confidencial y no puede ser utilizada por un tercero, sin previa autorización del cliente.

-U.L.-

Firma del investigador que autoriza el informe.

Centro Nacional de Innovaciones Biotecnológicas  
Centro Nacional de Alta Tecnología  
18/11/2022

Página 4/4

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN PARCIAL SIN PREVIA AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO

## Anexo 5

### Informe de resultados de análisis de HCN (Laboratorio de Nutrición Animal, INTA-MAG)

**RESULTADO DE ANÁLISIS BROMATOLÓGICO**  
**INFORME DE ANÁLISIS**  
**2-23**

Laboratorio de Nutrición Animal  
 INTA-MAG

❖ Interesado: Priscilla Obando  
 ❖ Fecha emisión: 27 Febrero 2023  
 ❖ Proyecto: Muestra interés institucional UTN

N° Consecutivo Laboratorio	Descripción de la muestra	% Materia (1) seca total	mg HCN/Kg Muestra como tal	Promedio mg HCN/Kg Muestra como tal
3530	V01-2F	ND	24,54	23,20
3531	V01-3F		21,86	
3532	V01-45-1	ND	54,60	37,44
3533	V01-45-2		31,52	
3534	V01-45-3		26,20	
3535	V01-62-1	ND	28,21	38,71
3536	V01-62-2		39,44	
3537	V01-62-3		48,47	
3538	V01-75-1	ND	117,76	115,69
3539	V01-75-2		125,71	
3540	V01-75-3		103,59	

**HCN** ácido cianhídrico por UV-Visible. Las muestras se analizaron en fresco como se recibieron

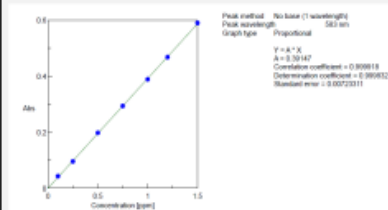
Lic. Ricardo Noguera Peñaranda  
 Encargado Laboratorio Nutrición Animal-INTA

- ❖ **Interesado:** Priscilla Obando
- ❖ **Fecha emisión:** 27 Febrero 2023
- ❖ **Proyecto:** Muestra interés institucional UTN

**RESULTADO DE ANÁLISIS  
BROMATOLÓGICO  
INFORME DE ANÁLISIS  
2-23**



- (1) Contenido de HCN: Ácido cianhídrico  
(2) mg/ Kg= ppm partes por millón



**HCN** ácido cianhídrico por UV-Visible Las muestras se analizaron en fresco como se recibieron

**RICARDO  
NOGUERA  
PEÑARANDA  
A (FIRMA)** Firmado digitalmente por  
RICARDO NOGUERA  
PEÑARANDA  
(FIRMA)  
Fecha: 2023.02.28  
08:45:00 -06'00'

Lic. Ricardo Noguera Peñaranda  
Encargado Laboratorio Nutrición Animal-INTA

**RESULTADO DE ANÁLISIS  
BROMATOLÓGICO**  
INFORME DE ANÁLISIS  
2-23



- ❖ Interesado: Priscilla Obando
- ❖ Fecha emisión: 28 Abril 2023
- ❖ Proyecto: Muestra interés institucional UTN

N° Consecutivo Laboratorio	Descripción de la muestra	% Materia (1) seca total	Promedio mg HCN/Kg Muestra como tal	
			mg HCN/Kg Muestra como tal	
3530	V01-2F	ND	NO DETECT	NA
3531	V01-3F		NO DETECT	
3532	V01-45-1	ND	NO DETECT	NA
3533	V01-45-2		NO DETECT	
3534	V01-45-3	ND	5,03	1,67
3535	V01-62-1		NO DETECT	
3536	V01-62-2	ND	NO DETECT	1,67
3537	V01-62-3		NO DETECT	
3538	V01-75-1	ND	NO DETECT	NO DETECT
3539	V01-75-2		NO DETECT	
3540	V01-75-3		NO DETECT	

**HCN** ácido cianhídrico por UV-Visible. Las muestras se analizaron en fresco como se recibieron  
 ND: No disponible  
 NO DETECT: No detectable  
 NA: No aplica

RICARDO  
 NOGUERA  
 PEÑARANDA  
 (FIRMA)

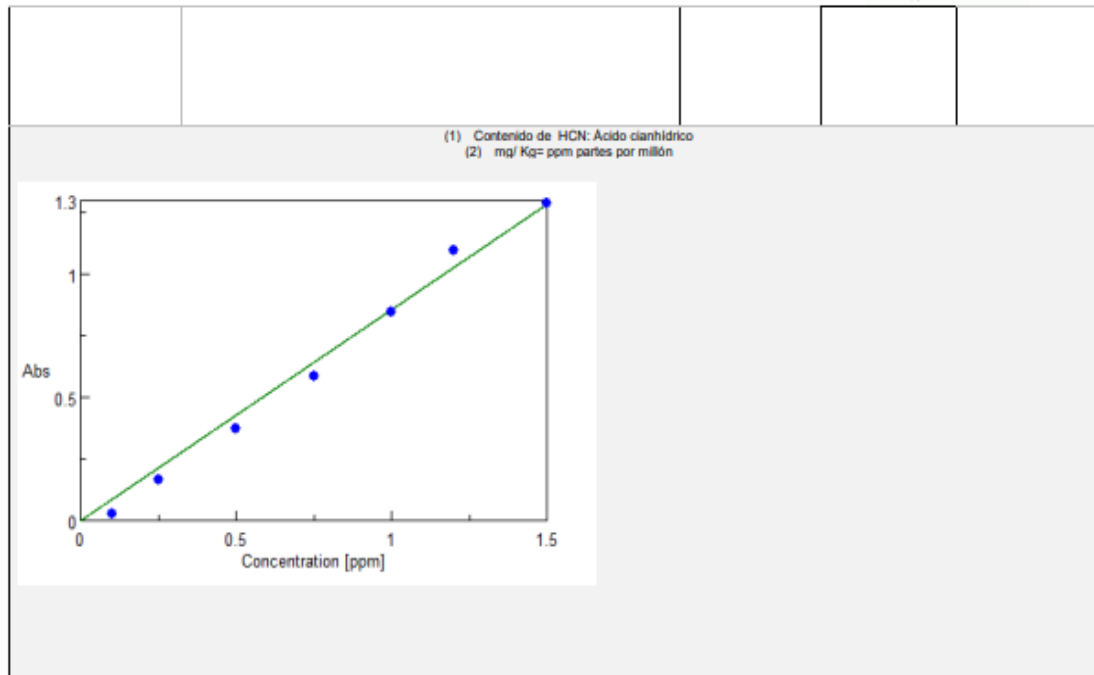
Firmado digitalmente  
 por RICARDO NOGUERA  
 PEÑARANDA (FIRMA)  
 Fecha: 2023.04.28  
 11:06:55 -05'00'

Lic. Ricardo Noguera Peñaranda

Encargado Laboratorio Nutrición Animal-INTA

❖ **Interesado:** Priscilla Obando  
 ❖ **Fecha emisión:** 28 Abril 2023  
 ❖ **Proyecto:** Muestra interés institucional UTN

**RESULTADO DE ANÁLISIS  
 BROMATOLÓGICO  
 INFORME DE ANÁLISIS  
 2-23**



**HCN** ácido cianhídrico por UV-Visible Las muestras se analizaron en fresco como se recibieron  
 ND: No disponible  
 NO DETECT: No detectable  
 NA: No aplica

RICARDO  
 NOGUERA  
 PEÑARANDA  
 A (FIRMA)

Firmado  
 digitalmente por  
 RICARDO NOGUERA  
 PEÑARANDA (FIRMA)  
 Fecha: 2023.04.28  
 11:07:36 -06'00'

Lic. Ricardo Noguera Peñaranda  
 Encargado Laboratorio Nutrición Animal-INTA

San José, 10 de noviembre de 2023

Señores  
Carrera de Ingeniería en Tecnología de Alimentos  
Área de Tecnología  
Sede de Atenas  
Universidad Técnica Nacional

Estimados señores:

Los estudiantes, Ana Cristina Araya Montenegro, Yeslin Magdalena Cubillo Solís, Raúl González Rodríguez, Estrella Fabiola Mesén Navarro y Arlyn Montero Cerdas, me han presentado para revisión de estilo el trabajo titulado Evaluación exploratoria del aprovechamiento de las hojas de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) para la obtención de proteína vegetal.

He revisado y corregido los aspectos referentes a la estructura gramatical, acentuación, ortografía, puntuación y vicios del lenguaje, que se trasladan al escrito, y he comprobado que se han incorporado las correcciones al presente documento.

Por tanto, hago constar que, desde el punto de vista filológico, se encuentra listo para ser presentado ante la universidad como proyecto de graduación para optar por el grado y título académico de Licenciatura en Ingeniería en Tecnología de Alimentos.

Atentamente,



M.L. Gladys Raquel Arosemena Bissot  
Filóloga, Universidad de Costa Rica  
Carné de la Asociación Costarricense de  
Filólogos número 366  
Teléfono 8998-5690

**CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA USO Y MANEJO DE LOS TRABAJOS FINALES DE  
GRADUACIÓN  
UNIVERSIDAD TÉCNICA NACIONAL**

Alajuela, 08/12/2023.

Señores  
Vicerrectoría de Investigación  
Sistema Integrado de Bibliotecas y Recursos Digitales

Estimados señores:

<b>Nombre de sustentantes</b>	<b>Cédula</b>
Ana Cristina Araya Montenegro	1-1529-0210
Yeslin Magdalena Cubillo Solís	7-0272-0183
Raúl González Rodríguez	2-0787-0621
Estrella Fabiola Mesén Navarro	3-0498-0954
Arlyn Montero Cerdas	7-0266-0594

Nosotros en calidad de autores del trabajo de graduación titulado:

Evaluación exploratoria del aprovechamiento de las hojas de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) para la obtención de proteína vegetal.

El cual se presenta bajo la modalidad de:



- Seminario de Graduación  
 Proyecto de Graduación  
 Tesis de Graduación

Presentado en la fecha 23/11/2023, autorizamos a la Universidad Técnica Nacional, sede Atenas, para que nuestro trabajo pueda ser manejado de la siguiente manera:

<b>Autorizamos</b>	
Conservación de ejemplares para préstamo y consulta física en biblioteca	X
Inclusión en el catálogo digital del SIBIREDI (Cita catalográfica)	X
Comunicación y divulgación a través del Repositorio Institucional	X
Resumen (Describe en forma breve el contenido del documento)	X
Consulta electrónica con texto protegido	X
Descarga electrónica del documento en texto completo protegido	X
Inclusión en bases de datos y sitios web que se encuentren en convenio con la Universidad Técnica Nacional contando con las mismas condiciones y limitaciones aquí establecidas.	X

Por otra parte, declaramos que el trabajo que aquí presentamos es de plena autoría, es un esfuerzo realizado de forma conjunta, académica e intelectual con plenos elementos de originalidad y creatividad. Garantizamos que no contiene citas, ni transcripciones de forma indebida que puedan devenir en plagio, pues se ha utilizado la normativa vigente de la American Psychological Association (APA). Las citas y transcripciones utilizadas se realizan en el marco de respeto a las obras de terceros. La responsabilidad directa en el diseño y presentación son de competencia exclusiva, por tanto, se exime de toda responsabilidad a la Universidad Técnica Nacional.

Conscientes de que las autorizaciones no reprimen nuestros derechos patrimoniales como autores del trabajo. Confiamos en que la Universidad Técnica Nacional respete y haga respetar nuestros derechos de propiedad intelectual.

<b>Nombre del estudiante</b>	<b>Cédula</b>	<b>Firma</b>
Ana Cristina Araya Montenegro	1-1529-0210	Ana C.
Yeslin Magdalena Cubillo Solís	7-0272-0183	Yeslin C.s
Raúl González Rodríguez	2-0787-0621	
Estrella Fabiola Mesén Navarro	3-0498-0954	
Arllyn Montero Cerdas	7-0266-0594	

Día: 08-Dic-2023