

**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y
ARTES DE CHIAPAS**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA NUTRICIÓN Y
ALIMENTOS**

TESIS DE GRADO

**EVALUACIÓN DEL NIVEL
TOXICIDAD Y DE LA CAPACIDAD
ANTIOXIDANTE DE LAS HOJAS DE
XANTHOSOMA SAGITTIFOLIUM
TRATADAS TÉRMICAMENTE**

PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN NUTRICIÓN Y
ALIMENTACIÓN SUSTENTABLE**

PRESENTA

LIC. LUIS ALBERTO CHANONA ORANTES

DIRECTOR DE TESIS

DR. GILBER VELA GUTIÉRREZ

CO-DIRECTORA DE TESIS

DRA. REBECA MONROY TORRES

TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS

AGOSTO 2025





UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

SECRETARÍA ACADÉMICA

DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas a 1º de abril de 2025
Oficio No. SA/DIP/0296/2025
Asunto: Autorización de Impresión de Tesis

C. Luis Alberto Chanona Orantes

CVU: 1092675

Candidato al Grado de Maestro en Nutrición y Alimentación Sustentable

Facultad de Ciencias de la Nutrición y Alimentos

UNICACH

Presente

Con fundamento en la opinión favorable emitida por escrito por la Comisión Revisora que analizó el trabajo terminal presentado por usted, denominado *Evaluación del nivel de toxicidad y de la capacidad antioxidante de las hojas de *Xanthosoma Sagittifolium* tratadas térmicamente* cuyo Director de tesis es el Dr. Gilber Vela Gutiérrez (CVU: 206065) quien avala el cumplimiento de los criterios metodológicos y de contenido; esta Dirección a mi cargo autoriza la impresión del documento en cita, para la defensa oral del mismo, en el examen que habrá de sustentar para obtener el **Grado de Maestro en Nutrición y Alimentación Sustentable**.

Es imprescindible observar las características normativas que debe guardar el documento impreso, así como realizar la entrega en esta Dirección de un ejemplar empastado.

Atentamente
"Por la Cultura de mi Raza"

Dra. Dulce Karol Ramírez López
DIRECTORA



C.c.p. Dr. Jorge Alberto Esonda Pérez, Encargado de la Facultad de Ciencias de la Nutrición y Alimentos, UNICACH. Para su conocimiento.
Mtra. Brenda Lorena Cruz López, Coordinadora del Posgrado, Facultad de Ciencias de la Nutrición y Alimentos, UNICACH. Para su conocimiento.
Archivo/minutario.

EPL/DKRL/hvb/jgp/gtr



2025, Año de la mujer indígena
Año de Rosario Castellanos

Ilustración: Noé Zenteno



Ciudad Universitaria, libramiento norte
poniente 1150, col. Lajas Maciel C.P. 29039.
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México
investigacionyposgrado@unicach.mx

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mis padres, por el amor incondicional, la paciencia, el apoyo constante y las enseñanzas que me han brindado a lo largo de estos años. Su ejemplo y dedicación han sido fundamentales en este camino.

A mis hermanas, gracias por estar siempre presentes, por su cariño y por mantener el lazo que nos une como familia, incluso en los momentos más retadores. Saber que siempre podemos contar los unos con los otros ha sido un gran soporte emocional.

A la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, por brindarme nuevamente la oportunidad de continuar con mi formación académica y profesional.

Al Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Productos Funcionales, un espacio donde la colaboración entre colegas se convierte en una verdadera red de apoyo.

Agradezco profundamente al Dr. Gilbert Vela, por su guía constante, sus enseñanzas y el respaldo brindado a lo largo de esta etapa. Más allá de ser un excelente maestro, ha sido un verdadero mentor, y me honra poder considerarlo también un amigo.

A las doctoras Veymar, Caballero y Rebeca, les agradezco sinceramente el tiempo dedicado, el conocimiento compartido y el acompañamiento durante este proceso.

A la Pontificia Universidad Javeriana, en Bogotá, Colombia, por acogerme durante mi estancia académica. En especial, a la Dra. Yuri, por su confianza, consejos y conversaciones que aportaron tanto a mi crecimiento personal y profesional.

A la Asociación Mexicana de Ciencia de los Alimentos, donde tuve el honor de desempeñarme como vocal estudiante, participar activamente en distintas actividades y formar parte del comité organizador del Congreso Latin Food 2024.

Agradezco también la oportunidad de haber presentado este trabajo en dicho congreso.

Finalmente, al SECIHTI, por el financiamiento otorgado durante estos dos años, lo cual fue fundamental para la realización de este proyecto.

A Dios y a todos, gracias por formar parte de este camino.

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a mí mismo.

Fueron dos años de muchos retos, aprendizajes y transformación personal. El primer año fue, sin duda, el más difícil. Estuve enfrentando situaciones complejas a nivel emocional y personal, que por momentos me hicieron cuestionar si podría continuar. Fue una etapa llena de incertidumbre, cansancio y altibajos que parecían no tener fin. Sin embargo, a pesar de todo, seguí adelante con la firme intención de no rendirme.

El segundo año trajo consigo un cambio. Pude ver con más claridad lo aprendido, conocí personas que me apoyaron y me inspiraron, y comencé a reconstruirme con más fuerza y determinación. Aprendí a valorar el proceso, incluso con sus caídas, porque cada paso —por más difícil que fuera— me hizo crecer.

Por eso, hoy me reconozco. Esta dedicatoria es para mí, por no haber desistido cuando era más fácil rendirse, por haber seguido adelante con la mirada puesta en el futuro y con la convicción de que siempre se puede salir adelante, incluso desde los momentos más oscuros.

CONTENIDO

CONTENIDO.....	I
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS.....	V
RESUMEN.....	VI
ABSTRACT.....	VII
INTRODUCCIÓN.....	1
JUSTIFICACIÓN.....	3
PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA.....	5
OBJETIVOS.....	6
GENERAL.....	6
ESPECÍFICOS.....	6
MARCO TEÓRICO.....	7
MALANGA.....	7
Descripción del cultivo.....	7
Variedades de malanga.....	8
Caracú.....	8
X. nigrum (X. violaceum).....	9
Usos generales.....	9
Tratamientos en la salud.....	10
Importancia económica.....	10
Producción mundial.....	10
Producción en México.....	10
La malanga utilizada en alimentos.....	11
Cormos.....	11

Hojas.....	12
Composición química de la malanga.....	12
Oxalatos.....	14
Ácido cianhídrico.....	15
Consecuencias del consumo por anti-nutrientes.....	15
Técnicas para la eliminación de compuestos anti-nutricionales.....	16
Soaking.....	16
Fermentación.....	16
Cocción.....	16
Antecedentes.....	17
Determinación de ácido cianhídrico y ácido oxálico.....	17
Determinación cuantitativa de HCN mediante la técnica de ácido pícrico.....	18
Determinación Oxalatos mediante la técnica de permanganato de potasio.....	18
Determinación de antioxidantes.....	19
Evaluación biológica en <i>Artemias salinas</i>	20
HIPÓTESIS.....	21
METODOLOGÍA.....	22
TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	22
LOCALIZACIÓN DEL ESTUDIO.....	22
DESCRIPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA.....	22
DESCRIPCIÓN DE INSTRUMENTOS, EQUIPOS Y REACTIVOS.....	22
EQUIPOS DE LABORATORIO.....	22
INSTRUMENTOS Y REACTIVOS DE LABORATORIO.....	23
DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS (DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN).....	24
La experimentación se divide en cuatro fases:.....	24
FASE I. OBTENCIÓN Y EVALUACIÓN DE HOJAS DE MALANGA.....	24
FASE II. APLICACIÓN DEL TRATAMIENTO TÉRMICO.....	26

FASE III. EVALUACIÓN DE NIVELES DE ANTI-NUTRIENTES, CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y FISICOQUÍMICA	26
FASE IV. EVALUACIÓN CON UN MODELO BIOLÓGICO (<i>ARTEMIAS SALINAS</i>) Y EVALUACIONES FISICOQUÍMICAS	28
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	28
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
FASE I. OBTENCIÓN Y EVALUACIÓN DE LAS HOJAS DE MALANGA	29
FASE II Y III. APLICACIÓN DEL TRATAMIENTO TÉRMICO Y EVALUACIÓN DE FACTORES ANTI-NUTRICIONALES, CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y FISICOQUÍMICOS	29
DETERMINACIÓN DE ÁCIDO OXÁLICO	31
DETERMINACIÓN DE ÁCIDO CIANHÍDRICO (HCN)	33
DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE MEDIANTE ABTS.....	34
FASE IV. EVALUACIÓN DE TOXICIDAD CON (<i>ARTEMIAS SALINAS L.</i>)	36
FASE IV: RESULTADOS FISICOQUÍMICOS	37
CONCLUSIONES.....	41
REFERENCIAS DOCUMENTALES.....	42
ANEXOS.....	49

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.....	7
FIGURA 2.....	8
FIGURA 3.....	9
FIGURA 4.....	11
FIGURA 6.....	29
FIGURA 7.....	30
FIGURA 8.....	31

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. TAXONOMÍA DE <i>X. SAGITTIFOLIUM</i>	7
TABLA 2. ALÉRGENOS EN ALIMENTOS (ADECUADA)	14
TABLA 3. PROPIEDADES FÍSICAS DEL ÁCIDO OXÁLICO.....	15
TABLA 4. PROPIEDADES FÍSICAS DEL AC. CIANHÍDRICO	15
TABLA 5. VALORES DETERMINADOS DE HCN EN MALANGA CRUDA Y DIFERENTES TIEMPOS DE COCCIÓN (ADECUADA).....	17
TABLA 6. VALORES DETERMINADOS DE OXALATOS EN MALANGA CRUDA Y DIFERENTES TIEMPOS DE COCCIÓN (ADECUADA).....	18
TABLA 7. EQUIPOS UTILIZADOS.....	22
TABLA 8. INSTRUMENTOS UTILIZADOS.....	23
TABLA 9. REACTIVOS UTILIZADOS.	23
TABLA 10. Diseño experimental utilizado para el tratamiento térmico.	25
TABLA 11. APLICACIÓN DEL TRATAMIENTO TÉRMICO	26
TABLA 12. RESULTADOS DE HCN.....	33
TABLA 13. RESULTADOS DE LA CAPTACIÓN DEL RADICAL ABTS	34
TABLA 14. RESULTADOS TOXICOLÓGICOS CON ARTEMIAS SALINAS L.....	36
TABLA 15. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DE HOJAS DE <i>XANTHOSOMA</i> S.....	37
TABLA 16. RESULTADOS DE COLOR EN HOJAS DE MALANGA (32 SEMANAS)	38

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del tratamiento térmico en las hojas de malanga (*Xanthosoma sagittifolium*) sobre los compuestos anti-nutricionales, la capacidad antioxidante y su respuesta en un modelo biológico. Se recolectaron hojas en diferentes etapas de desarrollo (1 a 32 semanas) y se sometieron a ebullición durante 0, 10, 20 y 30 minutos. Posteriormente, se analizaron los niveles de oxalatos, HCN, capacidad antioxidante (ABTS), respuesta en un modelo biológico y composición nutrimental.

Los niveles de oxalatos aumentaron progresivamente con la edad de la planta, alcanzando un incremento del 87% entre las semanas 1 y 32. Sin embargo, tras 10 minutos de cocción, estos compuestos disminuyeron un 29.99%, situándose por debajo del límite establecido por la Asociación Dietética Estadounidense (ADA) (50-150 mg/Kg de peso corporal). El HCN se inactivó completamente tras 10 minutos de ebullición, independientemente de la edad de las hojas.

La capacidad antioxidante (CA) mostró un aumento gradual y significativo ($p < 0.05$) con la madurez de las hojas, incrementándose aún más con el tratamiento térmico. Por ejemplo, en la semana 1, la CA fue de 0.453 ± 0.023 mg/eq. Trolox, mientras que en la semana 32 alcanzó 2.523 ± 0.006 mg/eq. Trolox. En cuanto a la toxicidad aguda (CL50) evaluada con larvas de *Artemias salinas*, las hojas cocidas durante 30 minutos se clasificaron como no tóxicas, mientras que las hojas crudas resultaron altamente tóxicas.

Además, la composición nutrimental de las hojas presentó un 40% de fibra, 12% de cenizas y 8% de proteínas. En conclusión, el tratamiento térmico adecuado en las hojas de malanga reduce los compuestos antinutricionales, mejora la capacidad antioxidante y la seguridad toxicológica, permitiendo su inclusión segura en la dieta.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the effect of thermal treatment on taro (*Xanthosoma sagittifolium*) leaves on antinutritional compounds, antioxidant capacity, and their response in a biological model. Leaves were collected at different stages of development (1 to 32 weeks) and subjected to boiling for 0, 10, 20, and 30 minutes. Subsequently, the levels of oxalates, HCN, antioxidant capacity (ABTS), response in a biological model, and nutritional composition were analyzed.

Oxalate levels increased progressively with the age of the plant, reaching an 87% increase between weeks 1 and 32. However, after 10 minutes of cooking, these compounds decreased by 29.99%, placing them below the limit established by the American Dietetic Association (ADA) (50-150 mg/Kg body weight). HCN was completely inactivated after 10 minutes of boiling, regardless of the age of the leaves.

Antioxidant capacity (AC) showed a gradual and significant increase ($p < 0.05$) with the maturity of the leaves, further increasing with thermal treatment. For example, in week 1, the AC was 0.453 ± 0.023 mg/eq. Trolox, while in week 32 it reached 2.523 ± 0.006 mg/eq. Trolox. Regarding acute toxicity (LC50) evaluated with *Artemias salinas* larvae, leaves cooked for 30 minutes were classified as non-toxic, while raw leaves were highly toxic.

Additionally, the nutritional composition of the leaves presented 40% fiber, 12% ash, and 8% protein. In conclusion, the appropriate thermal treatment of taro leaves reduces antinutritional compounds, improves antioxidant capacity, and toxicological safety, allowing their safe inclusion in the diet.

INTRODUCCIÓN

Las plantas alimenticias no convencionales, o en inglés son conocidas como “*unconventional food plants*” o por sus siglas en inglés “UFP”, tienen potencial nutricional pero no se incluyen en la dieta diaria de las personas debido a la falta de información sobre su utilización para su consumo. Muchas UFP contienen más minerales y proteínas que las plantas alimentarias convencionales (Araújo *et al.*, 2019).

La malanga (*Xanthosoma sagittifolium* L.), es una planta no convencional y de cultivo tropical. Sus cormos, que son la mayor parte económica del cultivo, contienen entre el 20 y 39 % de carbohidratos, 1.5 a 5.4% de proteína, 0.1 a 0.5% de lípidos y 65 a 80% de humedad (Boakye *et al.*, 2018). En algunos países de Sudamérica, el cormo se utiliza como sustituto del ñame y el plátano para la preparación de diversos platos especialmente en la estación seca (verano). Las hojas tiernas se utilizan en vez de las espinacas en la preparación de salsas para guisos (Asumadu *et al.*, 2011). En Brasil, país en el cual la malanga constituye el cultivo con mayor importancia económica, se consumen las hojas de malanga al vapor (Araújo *et al.*, 2019).

Las hojas de malanga contienen 6.3% de carbohidratos, 3% de proteínas, 0.5% de lípidos y 80% de humedad (Gupta *et al.*, 2019). Se ha informado que estas hojas también poseen micronutrientes como el hierro, nutrientes inorgánicos como el calcio, fósforo, vitaminas como la C, riboflavina (B2), tiamina (B1) y niacina (B3) (Azubike *et al.*, 2016).

Además, se ha observado que los pecíolos y hojas de malanga presentan casi el doble de cantidad de proteínas, fibras, calcio, magnesio y vitamina C en comparación con algunas plantas convencionales utilizadas en ensaladas. La actividad antioxidante de la malanga está asociada con sus compuestos bioactivos como carotenoides y compuestos fenólicos, de los cuales podemos encontrar ácidos fenólicos y flavonoides (Prestes *et al.*, 2024). Lo que

sugiere un gran potencial para su inclusión en la formulación de alimentos funcionales y nutracéuticos.

Aunque la malanga tiene un valor nutricional y potencial alimentario, la planta puede contener factores anti-nutricionales, como el oxalato y HCN, que reducen su consumo. De este modo, conocer los componentes antinutricionales y los compuestos bioactivos de las hojas de la planta, que es la parte menos utilizada debido a la falta de difusión como alimento, es de suma importancia para incluirla en la dieta humana de forma segura. En este contexto, el objetivo de esta investigación es evaluar el efecto del tratamiento térmico en las hojas de malanga sobre la presencia de factores anti-nutricionales y determinar su nivel de antioxidantes, que permitan su uso seguro en la alimentación. Se evaluará el efecto del tratamiento térmico (cocción a diferentes tiempos) en las hojas de malanga con diversos niveles de desarrollo (plantas de 0 a 8 meses de edad); se determinará la presencia de compuestos anti-nutricionales (oxalatos y HCN), capacidad de antioxidante. Asimismo, se evaluó la respuesta toxicológica en un modelo biológico con *Artemias salinas* L. Los resultados químicos y biológicos obtenidos proporcionan una base sólida para formular recomendaciones sobre las formas y cantidades óptimas de consumo de las hojas de malanga, así como la inclusión adecuada en la dieta humana. Además, estos hallazgos permiten identificar las consideraciones clave para su procesamiento, asegurando que se mantengan sus propiedades nutricionales y beneficios para la salud.

JUSTIFICACIÓN

La malanga (*Xanthosoma sagittifolium*) es uno de los seis cultivos de raíces más importantes en el mundo. Es un cultivo que es fácil de domesticar en continentes como América, África y Asia, y proporciona un sustento a más de 400 millones de personas. En el continente africano, los principales países productores son Nigeria, Ghana, Camerún proporcionando un 60% total de producción africana. Por lo tanto, este cultivo tiene un papel importante en la seguridad alimentaria (Boakye *et al.* 2018).

La malanga, es cultivada en trópicos húmedos y los cormos sirven como alimento en todas las zonas tropicales y subtropicales del planeta. También, las hojas frescas y deshidratadas se utilizan como parte fundamental en la dieta de ciertos lugares del África subsahariana. Como se mencionó anteriormente, las hojas de malanga contienen 6.3% de carbohidratos, 3% de proteínas, 0.5% de lípidos y 80% de humedad (Gupta *et al.*, 2019). Además, se ha informado que estas hojas poseen nutrientes esenciales como hierro, calcio, fósforo, vitamina C, riboflavina (B2), tiamina (B1) y niacina (B3) (Azubike *et al.*, 2016). Además, gracias a su potencial antioxidante, son capaces de brindar beneficios a la salud, por sus actividades anticancerígenas, antidiabéticos, y antiinflamatorias (Mitharwal *et al.*, 2022).

Las hojas de malanga contienen ácidos que pueden ser dañinos para quien los consume, causando irritación aguda y sensación de ardor en los labios, boca y garganta cuando se consumen en crudo; sin embargo, este efecto puede ser reducido mediante un medio de cocción o un tratamiento térmico (Oscarsson y Savage, 2007).

Vela-Gutiérrez *et al.* (2021), realizaron estudios toxicológicos en la parte comestible (cormo) de la malanga, encontrando la presencia de HCN y oxalatos; sin embargo, indicaron que con tratamientos térmicos mínimos desaparecen, volviéndose la malanga apta y segura para su consumo. Por otro lado, es importante mencionar que no existen reportes del estudio de estos compuestos en otras partes de la planta, ni nutricionales, ni toxicológicos.

Por lo que la presente investigación busca evaluar el nivel de toxicidad de los compuestos de ácido cianhídrico (HCN) y ácido oxálico, así como la capacidad antioxidante de las hojas de

malanga (*Xanthosoma sagittifolium*) cultivadas en la región metropolitana y Mezcalapa en Chiapas, analizando sus diferentes etapas de desarrollo y aplicando un tratamiento térmico para disminuir los compuestos anti-nutricionales con el fin de evaluar su posible consumo.

PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

La malanga como un alimento sigue siendo limitado, debido a la falta de conocimiento de su perfil nutricional y la presencia de anti-nutrientes como taninos, fitatos, oxalato y HCN (Mitharwal *et al.*, 2022). Sus hojas se utilizan en algunos países como Brasil, en el área de medicina y alimentos tradicionales, formando parte de la dieta y patrimonio cultural de la población de ese país (Lima *et al.*, 2021). Las hojas de malanga se caracterizan por su alto contenido en calcio, las hojas frescas contienen 273.17 mg/100 g de calcio, mientras que la concentración en las hojas cocidas es 369.81 mg/100 g. Algunas investigaciones indican que pueden servir para tratar la osteoporosis. Así, las hojas pueden ser una gran opción para su consumo. Sin embargo, las hojas contienen cristales de oxalato de calcio, que se considera como un factor anti-nutricional y perjudicial para humanos si se cocinan y consumen sin usar las técnicas apropiadas (Arafin, 2020).

Los factores anti-nutricionales antes mencionado pueden ser eliminados o reducidos con técnicas de cocción y variadas técnicas de procesamiento, las cuales permiten aprovechar los beneficios nutricionales de este alimento (Mitharwal *et al.*, 2022).

Adicionalmente, el enorme potencial que representa como producto alimenticio y en especial en lugares que sufren inseguridad alimentaria, las hojas de malanga pueden ser utilizadas para la dieta de personas de esos lugares; por lo tanto, es necesario llevar a cabo pruebas destinadas a evaluar el contenido de oxalatos y HCN en las hojas y el uso de tratamiento térmico para reducir o eliminar la presencia de alergénicos, de tal manera que su uso y consumo sea seguro.

OBJETIVOS

GENERAL

Evaluar el efecto del tratamiento térmico sobre los niveles de compuestos alergénicos (HCN y oxalatos) y la capacidad antioxidante en hojas de malanga (*Xanthosoma sagittifolium*) en diferentes etapas de desarrollo de la planta (0 a 8 meses), así como la respuesta fisiológica en un modelo biológico.

ESPECÍFICOS

Determinar el efecto del tratamiento térmico sobre el nivel de ácido oxálico y ácido cianhídrico (HCN) en hojas de *Xanthosoma sagittifolium* en diferentes estados de desarrollo de la planta.

Determinar la capacidad antioxidante en hojas de *Xanthosoma sagittifolium* en diferentes estados de desarrollo de la planta.

Evaluar la respuesta toxicológica en un modelo biológico (*Artemias salinas* L.) de las hojas de *Xanthosoma sagittifolium* tratadas térmicamente.

MARCO TEÓRICO

MALANGA

Xanthosoma sagittifolium es también conocida como taioba, tannia, cocoyam y malanga, pertenece a la familia Araceae y es nativa de América tropical (Vela-Gutiérrez *et al.*, 2021). En la figura 1, se muestra la planta de *Xanthosoma sagittifolium*, y en la tabla 1, se puede observar su taxonomía.



Figura 1. *Xanthosoma sagittifolium*

Tabla 1. TAXONOMÍA DE X. SAGITTIFOLIUM

Nombre científico	<i>Xanthosoma sagittifolium</i> (L) Schott
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Alismatales
Familia	Araceae
Género	Xanthosoma

Fuente: U.S. Department of Agriculture (USDA), 2020.

DESCRIPCIÓN DEL CULTIVO

Los cultivos de malanga presentan un tallo subterráneo o apenas visible en la superficie, modificado por un rizoma engrosado o cormo, a partir de este se producen brotes que generarán los cormelos comestibles o plantas hijas; el color de la pulpa es de color blanco y en algunas variedades puede ser amarillo rosa o morado, los peciolo llegan a medir entre 30 y 150 cm, los envainados llegan a medir del 30 al 55% de su longitud total (Chacón, 2013). Las raíces son múltiples distribuidas uniformemente alrededor del tallo subterráneo, suaves, suculentas con unos 0.80 a 1.20 m de largo y un grosor de 3 a 5 mm de diámetro, el tallo es

céntrico elipsoidal subterráneo conocido como cormo el cual es el producto de interés comercial, las hojas son por lo general de forma peltada aparecen arrolladas por la base formando un pseudo tallo corto.

VARIETADES DE MALANGA

Pertenece a la familia de las aráceas, es una planta herbácea perenne que se cultiva anualmente. Se considera que existen numerosas variedades botánicas de malanga (Púa, 2019). Sin embargo, hay dos grupos muy conocidos de malanga, el Taro y *Xanthosoma*, entre sus demás variedades.

CARACÚ

Esta especie de malanga es una planta herbácea perenne, originalmente cultivada en África, Sudamérica tropical y las Indias Occidentales. Las grandes hojas que se asemejan a una oreja de elefante miden de 1 a 2 metros de largo, de color verde claro y en forma de flecha con largos tallos de hoja. Esta planta puede crecer hasta 2.7 metros de altura. La pulpa del cormo es amarilla o rosada, es densa y almidonada. Además de la raíz, las hojas jóvenes también son comestibles, pero todas las partes comestibles de la planta deben cocinarse antes de comer para eliminar los compuestos tóxicos.



Figura 2. *Xanthosoma caracu* (USDA, 2022).

X. NIGRUM (X. VIOLACEUM)

X. violaceum, es una planta perenne tierna y erguida con tubérculos comestibles y tallos de color púrpura oscuro, con hojas grandes, en forma de flecha, a menudo de color púrpura, de color verde azulado. Las flores rara vez se producen en cultivo (Shoot, 2022).



Figura 3. Figura 3. *Xanthosoma violaceum* (Shoot, 2022).

USOS GENERALES

La malanga (*Xanthosoma sagittifolium*) es una planta que llama mucho la atención gracias a sus cormos, pues tienen un alto contenido de almidón. Investigaciones anteriores han revelado que dicho almidón contiene más o menos un 18% de amilosa y el resto es amilopectina. Esta mezcla específica del almidón de malanga le otorga unas propiedades fisicoquímicas y funcionales que resultan muy interesantes para distintas aplicaciones en la industria. En lo que respecta al sector industrial, el almidón de malanga podría usarse para hacer papel, pegamentos y embalajes que se descomponen solos. Su habilidad para crear capas finas y geles, sumado a que no es dañino para el cuerpo, lo hacen un material muy valioso para crear productos que cuidan el planeta y son más ecológicos. Además, en el área de la medicina, el almidón de malanga también podría ser útil. Por sus cualidades, se puede usar en la creación de varios productos medicinales, como ingredientes inactivos, recubrimientos o como base para que los medicamentos se liberen poco a poco en el organismo (Nazario *et al.*, 2020).

TRATAMIENTOS EN LA SALUD

La malanga, es una especie que usualmente se utiliza en la medicina tradicional brasileña, para prevenir enfermedades óseas (osteoporosis). También, existen reportes que se utilizan los cormos de la malanga para la elaboración de productos alimenticios, los cuales son especiales para personas con enfermedades gastrointestinales y lactantes alérgicos (Vela-Gutiérrez *et al.*, 2021).

IMPORTANCIA ECONÓMICA

Su importancia económica y de igual manera social de la malanga en la región, ha incrementado su producción, mostrando una tasa de crecimiento media anual (TCMA) de 28% durante el periodo de 2011-2017, pasando de 9,725 a 35, 190 t, respecto al periodo de 2011 – 2012, que fue un 6%. Por lo tanto, este aumento de producción y su fácil aceptación, puede ser un gran punto social en la generación de empleos (Nazario *et al.*, 2020).

PRODUCCIÓN MUNDIAL

La producción mundial de malanga se estima alrededor de 11.8 millones de toneladas al año. En el 2018, los diez principales países que produjeron malanga alcanzaron 9.54 millones de toneladas. Algo importante para mencionar, es que la mayor parte de la producción de malanga proviene de países en desarrollo caracterizados por sistemas de producción de pequeños agricultores (Nazario *et al.*, 2020). Por lo tanto, la malanga podría cultivarse mucho más ampliamente con el fin de constituir alimentos de alto valor biológico y económico, que podrían representar buenas fuentes de harinas industriales y almidón.

PRODUCCIÓN EN MÉXICO

En México, la superficie sembrada fue de 679 hectáreas y una producción de 35, 190 t. Los principales estados productores son Oaxaca, Tabasco, Nayarit y Veracruz, este último se le considera el estado más importante en la producción de malanga, pues representa el 85% del total nacional (577 ha) (Nazario *et al.*, 2020), y, en el estado de Chiapas existen grupos dedicados a la producción de malanga de la especie *Xanthosoma sagittifolium*, estos grupos están presentes específicamente en los municipios de San Fernando, Tuxtla Gutiérrez y Tapachula (Enríquez *et al.*, 2023). En base a la cantidad de agua que ocupa la producción de malanga, puede llegar a variar por distintos factores como el clima de la región, el sistema

de riego utilizado, las características del suelo y las necesidades hídricas específicas del cultivo (López *et al.*, 2017).



Figura 4. Cultivo de malanga (*Xanthosoma sagittifolium*) en Chiapas, México

LA MALANGA UTILIZADA EN ALIMENTOS

En América del sur se consumen estos tubérculos en sopas y otros tipos de platos. En la industria de alimentos, usar la malanga como harina podría tener ciertas ventajas en comparación con otras harinas convencionales que ya existen en el mercado. Podríamos decir ejemplos como en la formulación de sopas deshidratadas, productos horneados, formulación de alimentos para bebés, etc. (Pérez, 2007). Cabe mencionar que las demás partes de la planta también son utilizadas como alimentos.

CORMOS

Los cormos de malanga tienen gran importancia económica en comparación con las otras partes de la planta. Estos cormos normalmente se utilizan para la elaboración de chips o rodajas fritas, también para la elaboración de platos de diferentes regiones de cada país. Agregando a lo anterior, se han desarrollado investigaciones sobre las características y su procesamiento para aplicar tecnologías, con la finalidad de formular productos y proporcionar nuevos mercados y medios de subsistencia para los productores de malanga. Por lo tanto, puede ser un buen comienzo para los científicos y tecnólogos de alimentos, para mejorar los platillos para mayor comodidad y prolongar la vida útil (Boakye *et al.*, 2018).

HOJAS

Las hojas de la malanga son subutilizadas, aunque se emplean en sopas y salsas. Para aumentar su aprovechamiento, se sugiere procesar las hojas en purés o harinas, creando productos innovadores y mejorando su utilidad en entornos urbanos. Estas propuestas podrían satisfacer la creciente demanda de diversidad y conveniencia por parte de los consumidores. Además, los subproductos podrían sustituir las verduras en alimentos tradicionales en otros países, y el valor nutricional de las hojas de malanga podría explorarse en mercados internacionales como Europa y los Estados Unidos, reemplazando a hortalizas convencionales como las espinacas (Boakye *et al.*, 2018).

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MALANGA

Según Wada *et al.* (2019), en un estudio proximal que realizó, la composición química de los cormos de malanga de la especie *Xanthosoma sagittifolium* es de 61.91-63.53% de humedad, 8.48-10.10% de proteína cruda, 2.14-2.66% de fibra cruda, 0.22-0.85% de grasa cruda, 2.27-3.25% de cenizas, 84.76-85.36% de carbohidratos, así también una porción de 100 gramos aporta aproximadamente 378.47 Kcal.

Composición química de las hojas de malanga

De las hojas de malanga (conocida en Brasil como taioba), solo existen algunos reportes, los cuales indican que son fuentes de calcio, fósforo, hierro y vitamina C (Vela-Gutiérrez *et al.*, 2021). También De Almeida *et al.* (2013), reportaron el análisis químico proximal a hojas de malanga liofilizadas, encontraron la siguiente caracterización: 2.72% de humedad, 10.6% de grasa cruda, 29.4% de proteína cruda, 49.0% de carbohidratos y 8.24% de ceniza por cada 100 g de hojas de malanga.

Compuestos bioactivos

Los compuestos bioactivos son de origen animal o vegetal, que ejercen efectos beneficiosos a la salud, esto es a través de diferentes tipos de actividades biológicas, como acciones principalmente antioxidantes, reguladores del metabolismo graso, inmunomoduladores, neuroreceptores, antiinflamatorios, anticarcinogénicos, acciones sobre la salud gastrointestinal o sobre el sistema nervioso (Del Toro *et al.*, 2015).

Compuestos bioactivos en malanga

Los compuestos bioactivos o en este caso los metabolitos secundarios (por ser de origen vegetal) presentes en la malanga según Serra *et al.* (2021), se encuentran ácidos fenólicos como ácido vanílico, elágico, siríngico, gálico, ferúlico, y en el caso de los flavonoides como clorogénico, cafeico, quercetina y kaempferol.

Compuestos alérgenos y alimentos

Los alérgenos, asociados a compuestos tóxicos en alimentos vegetales, interfieren con la absorción de nutrientes y pueden causar efectos adversos. Estos compuestos, sintetizados por las plantas como defensa propia, se encuentran en concentraciones más altas en granos, legumbres y nueces, así como en hojas, raíces y frutos. Alérgenos como fitatos, taninos, lectinas y oxalatos son preocupantes en dietas exclusivamente basadas en alimentos vegetales crudos. Por ejemplo, el oxalato en alimentos como espinacas y soja cruda afecta la absorción de calcio. El exceso de taninos, presente en té, vino, frutas y chocolate, puede inactivar enzimas de absorción de proteínas. Fitatos en cereales y nueces, y lectinas en pimientos, berenjenas y tomates, pueden afectar la absorción de minerales y causar diversas reacciones en el cuerpo (Popova y Mihaylova, 2019) (Tabla 2).

Tabla 2. ALÉRGENOS EN ALIMENTOS (ADECUADA)

Alimentos	Tipo	Cantidad
Leguminosas (soya, lentejas, garbanzo, cacahuete, frijoles)	Ácido fítico	386-714 mg/100 g
	Saponinas	106-170 mg/100 g
	Cianuros	2-200 mg/100 g
	Taninos	1.8-18 mg/ g
	Inhibidor de tripsina	6.7 mg/100 g
	Oxalatos	8 mg/kg
Cereales (Trigo, cebada, centeno, avena, mijo, maíz, espelta, kamut, sorgo)	ácido fítico	50-74 mg/g
	Oxalatos	35-270 mg/100 g
Pseudocereales: quinoa, amaranto, trigo, alforfón, teff	Ácido fítico	0.5-7.3 g/100 g
	Lectinas	0.04-2.14 ppm
	Saponinas	
	Goitrogens	
Semillas: sésamo, linaza, poppy seed, girasol, calabaza	Ácido fítico	1-10.7 g/100g
	Inhibidor de alfa amilasa	0.251 mg/mL
	Cianuros	140-370 ppm
Tubérculos: zanahoria, camote, Jerusalem artichoke, mandioca (yuca), yam	Oxalatos	0.4-2.3 mg/100 g
	Taninos	4.18-6.72 mg/100 g
	Fitatos	0.06-0.08 mg/100 g
Oleaginosas: almendras, avellanas, anacardos, pignola, pistacho, nuez de Brasil, walnuts, macadamia, etc.	Ácido fítico	150-9400 mg/100 g
	Lectinas	37-144 µg/ g
	Oxalatos	40-490 mg/100 g

Fuente: Popova y Mihaylova, 2019.

OXALATOS

El ácido oxálico (Tabla 3), es un compuesto orgánico que se encuentra en muchas plantas, incluyendo alimentos como hojas verdes, frutas, verduras y semillas. En las plantas se une a los minerales, formando oxalato. Algo importante para mencionar es que una vez consumido,

este compuesto puede unirse a minerales con el fin de formar compuestos, incluyendo oxalato de calcio y oxalato de hierro. Este proceso ocurre en el colon, pero también puede ocurrir en los riñones (Spritzler, 2022).

Tabla 3. PROPIEDADES FÍSICAS DEL ÁCIDO OXÁLICO.

Fórmula química	Figura 5. Oxálico
Masa molecular	90.03 g/mol
P. Ebullición	157°C
P. Fusión	189.5°C
Densidad	1.90 g/cm ³

Fuente: Testbook, 2022.

ÁCIDO CIANHÍDRICO

El ácido cianhídrico (HCN), es un compuesto líquido volátil y altamente tóxico (Tabla 4). Este compuesto es utilizado en muchos procesos químicos, incluida la fumigación. El HCN puede aislarse en pequeñas cantidades de las plantas, donde se produce en combinación con azúcares (Augustyn, 2022). El HCN se sintetiza a partir de la interacción de un glúcido cianogénico (compuesto no tóxico) y una enzima hidrolítica (β -glucosidasa), el proceso se conoce como cianogénesis. La enzima y el glucósido se encuentran en espacios diferentes de las plantas. Por lo que es necesario crear una ruptura (cualquier daño) en la planta, lo que permitirá la síntesis del HCN (Turpo, 2015).

Tabla 4. PROPIEDADES FÍSICAS DEL AC. CIANHÍDRICO

Fórmula química	C ₂ H ₂ O ₄
Masa molecular	27.02g/mol
P. Ebullición	157°C
P. Fusión	189.5°C
Densidad	0.68 g/cm ³

Fuente: Pubchem, 2023.

CONSECUENCIAS DEL CONSUMO POR ANTI-NUTRIENTES

La mayoría de los metabolitos secundarios actúan como alérgenos, generando respuestas biológicas dañinas, aunque algunos se utilizan en nutrición y como agentes farmacológicamente activos. La sensibilidad a los alérgenos varía entre las personas. Se recomienda procesar adecuadamente los alimentos para reducir estos compuestos, ya que,

una vez introducidos en el cuerpo, no pueden eliminarse. Eliminar y reintroducir alimentos con alérgenos puede ayudar a comprender la correlación entre síntomas y efectos en la salud, siendo comunes náuseas, distensión abdominal, dolores de cabeza, erupciones cutáneas y deficiencias nutricionales (Popova y Mihaylova, 2019).

TÉCNICAS PARA LA ELIMINACIÓN DE COMPUESTOS ANTI-NUTRICIONALES

Las técnicas modernas de biotecnología, como la edición del genoma con TALENS y CRISPR, pueden reducir alérgenos y anti nutrientes en los alimentos. Aumentar los prebióticos en el cuerpo también contrarresta los efectos negativos de los alérgenos. Métodos clásicos como el tratamiento térmico, extrusión y tratamientos enzimáticos son eficaces (Popova y Mihaylova, 2019).

TECNOLOGÍA GENÓMICA

Los recursos genómicos, como la edición del genoma con nucleasas de dedos de zinc, pueden interferir con el ARN y eliminar compuestos anti-nutricionales, pero aún no se han probado in vivo. A pesar de aumentar la calidad de los cultivos, la seguridad de los organismos genéticamente modificados genera controversia, destacando la necesidad de evaluar el riesgo/beneficio (Popova y Mihaylova, 2019).

SOAKING

El soaking o remojo puede ser visto como uno de los procesos físicos más fáciles de eliminar los factores anti nutricionales solubles. Remojar y germinar granos, nueces, semillas y frijoles es una excelente manera de desactivar los inhibidores de enzimas (Popova y Mihaylova, 2019).

FERMENTACIÓN

Se ha estudiado el efecto de la fermentación sobre la composición anti nutricional de las harinas de pan y de caupí, por lo tanto, este proceso reduce significativamente cianuro, oxalato y fitato en harinas de pan y caupí. La fermentación de garbanzos aumenta proteínas y reduce ácido fítico. En sorgo, con *L. plantarum*, se observó una disminución significativa de anti-nutrientes (Popova y Mihaylova, 2019).

COCCIÓN

Cocinar granos enteros, frijoles y verduras puede reducir ciertos anti-nutrientes como el ácido fítico, los taninos y el ácido oxálico. Popova y Mihaylova (2019), reportaron que la cocción

de hojas de camote reduce la presencia de polifenoles en un 56% y los niveles de oxalato. Hervir semillas de cacahuete de bambará durante un período de 60 minutos reduce significativamente el contenido de rafinosa y mejora la digestibilidad proteica de las semillas.

ANTECEDENTES

DETERMINACIÓN DE ÁCIDO CIANHÍDRICO Y ÁCIDO OXÁLICO

En un estudio realizado por Vela-Gutiérrez *et al.* (2021), determinaron el contenido de oxalato (ácido oxálico) mediante titulación y HCN por espectrofotometría, después de aplicar diferentes tratamientos térmicos para disminuir el contenido de estos compuestos en dos especies de malanga (*Colocasia esculenta* y *Xanthosoma sagittifolium*). El estudio también constó de una evaluación en un modelo murino, por lo que conformaron siete grupos de ratones (bal bc), incluyendo el grupo control, cada grupo se alimentó con pellets adicionados de malanga cocida a diferentes tiempos durante nueve semanas. Los resultados obtenidos por los autores se muestran en las tablas 5 y 6.

Tabla 5. VALORES DETERMINADOS DE HCN EN MALANGA CRUDA Y DIFERENTES TIEMPOS DE COCCIÓN (ADECUADA)

Especie	Tiempo de cocción (Minutos)						
	Cruda	20	40	60	80	100	120
<i>C. esculenta</i>	3.5244 ±0.0396 ^b	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<i>X. sagittifolium</i>	0.1584±0.0228 ^a	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Fuente: Vela-Gutiérrez *et al.*, 2021. ND: No detectado

Tabla 6. VALORES DETERMINADOS DE OXALATOS EN MALANGA CRUDA Y DIFERENTES TIEMPOS DE COCCIÓN (ADECUADA)

Especie	Tiempo de cocción						
	Cruda (%)	20 min	40 min	60 min	80 min	100 min	120 min
<i>C. esculenta</i>	0.35	0.23	0.14	0.1	0.07	0.05	0-0.03
<i>X. sagittifolium</i>	0.15	0.1	0.09	0.08	0.04	0.03	0-0.02

Fuente: Vela-Gutiérrez *et al.*, 2021

DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DE HCN MEDIANTE LA TÉCNICA DE ÁCIDO PÍCRICO

Para determinar la presencia de cianuro de hidrógeno (HCN) en sorgo forrajero, se emplearon 0.15 g de muestra, la cual fue colocada en un tubo de ensayo. A este tubo, se le añadieron 4 gotas de cloroformo. Posteriormente, suspendieron sobre la muestra húmeda una tira de papel filtro saturada con ácido pícrico. Los tubos se incubaron a temperatura ambiente durante un periodo de 16-24 horas. Tras el tiempo de incubación, la tira de papel filtro se transfirió a otro tubo de ensayo limpio, al que se le agregaron 10 ml de agua destilada. La concentración de HCN fue medida mediante espectrofotometría y se expresó en partes por millón (ppm) (Karthika y Kalpana, 2017; Oliveros *et al.*, 2009).

DETERMINACIÓN OXALATOS MEDIANTE LA TÉCNICA DE PERMANGANATO DE POTASIO

Abdualrahman *et al.* (2020), utilizaron el siguiente método para estimar el contenido de ácido oxálico en pan kiswa, este procedimiento incluye pesar 1.0 g de pan kiswa en polvo, colocarlo en un matraz cónico de 100 ml y añadir 75 ml de H₂SO₄ 3.0 M. La mezcla se agita con un agitador magnético durante una hora y luego se filtra a través de un papel de filtro Whatman No. 1. Posteriormente, se recoge una alícuota de 25 ml del extracto filtrado y se titula con una solución caliente de KMnO₄ 0.1 N hasta que se observe un color rosa tenue que persista durante al menos 30 segundos, calculando finalmente la concentración de ácido oxálico según la cantidad de KMnO₄ utilizada.

En otro caso, Olajide *et al* (2011) y Vela-Gutiérrez *et al* (2021). utilizaron este método para determinar el contenido de oxalatos en cormos de malanga de las especies de *Xanthosoma sagittifolium* y *Colocasia esculenta* para ello, se hirvieron 2 g de cada muestra en 40 ml de agua durante 30 minutos en un condensador de reflujo. Posteriormente, se añadieron 10 ml

de Na_2CO_3 al 20% y se hirvió nuevamente durante 30 minutos. El extracto líquido se filtró y se lavó con agua caliente hasta que el agua de lavado no mostró reacción alcalina. El filtrado y el agua de lavado combinados se concentraron a un pequeño volumen y se enfriaron, agregando HCl (1:1) gota a gota con agitación constante hasta que la concentración ácida final fue aproximadamente del 1%, momento en el cual apareció un precipitado pesado que se dejó flocular. El extracto se filtró en un matraz de 250 ml, se ajustó hasta la marca y se dejó reposar toda la noche. El líquido sobrenadante se filtró a través de un papel de filtro seco en un vaso de precipitado seco. Una alícuota del filtrado se diluyó con agua hasta 200 ml y se reacidificó con ácido acético. Luego, se añadieron 10 ml de una solución de cloruro de calcio al 10%, se agitó bien para inducir la formación de un precipitado de oxalato de calcio, que se dejó asentar durante la noche. El líquido sobrenadante claro se decantó a través de un papel de filtro Whatman No. 42, y el precipitado se disolvió en HCl (1:1). El ácido oxálico se precipitó ajustando el pH con hidróxido de amonio, se hirvió la mezcla y se dejó reposar durante la noche. Finalmente, el ácido oxálico se determinó mediante titulación con una solución de KMnO_4 0.05 N.

DETERMINACIÓN DE ANTIOXIDANTES

La evaluación de la capacidad antioxidante resulta fundamental para determinar la calidad de un alimento o la disponibilidad de compuestos antioxidantes presentes en él. Afortunadamente, existen diversos métodos establecidos para esta evaluación, que permiten cuantificar el potencial antioxidante de dichas sustancias. Entre los métodos más conocidos se encuentran el ORAC (Capacidad de Absorbancia del Radical de Oxígeno) y el FRAP (Poder Antioxidante Reductor del Hierro), siendo ambos ampliamente utilizados. Además, dos métodos destacados son el DPPH y el ABTS. El DPPH es un radical libre que se puede utilizar directamente sin necesidad de una preparación previa. Por otro lado, el ABTS (ácido 2,2'-azino-bis-(3-etilbencitozolina-6-sulfónico)) debe ser generado mediante una reacción, que puede ser química (utilizando dióxido de manganeso, persulfato de potasio o ABAP) (Benitez *et al.*, 2020; Kuskoski *et al.*, 2005).

Una ventaja del ABTS es su capacidad para medir la actividad antioxidante de compuestos tanto hidrofílicos como lipofílicos, mientras que el DPPH solamente puede disolverse en

medios orgánicos. Estos métodos proporcionan una herramienta invaluable para la evaluación precisa de la actividad antioxidante en alimentos y productos relacionados (Benitez *et al.*, 2020; Kuskoski *et al.*, 2005).

EVALUACIÓN BIOLÓGICA EN *ARTEMIAS SALINAS*

Los autores Silva *et al.* (2019), investigaron la toxicidad promedio de extractos de plantas (*Prosopis glandulosa* y *Yucca filifera*) mediante un modelo de *Artemias salinas*, además de llevar a cabo un análisis químico cualitativo para identificar la presencia de diferentes metabolitos secundarios. El propósito era evaluar la viabilidad de utilizar estas plantas con fines de consumo humano. Los resultados indicaron que el extracto etanólico de *P. glandulosa* presentó una CL_{50} de $586.66 \text{ ppm} \pm DE=7.75 \text{ ppm}$, mientras que el de *Y. filifera* mostró una CL_{50} de $18.8 \text{ ppm} \pm DE=0.42$. Se destacó que esta letalidad se considera baja según los estándares establecidos por Meyer.

HIPÓTESIS

Los tratamientos térmicos permitirán disminuir los niveles de ácido cianhídrico y oxalatos con el fin de que las hojas de malanga sean seguras para su consumo humano.

METODOLOGÍA

TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación conlleva a un diseño experimental de dos niveles, con análisis cuantitativo de los resultados. Experimental porque se manipularon algunas variables para la determinación de los componentes tóxicos, tal es el caso de: tiempo de desarrollo de las hojas y tiempo de exposición al tratamiento térmico; así como la respuesta toxicológica en un modelo biológico con *Artemias salinas*; y con enfoque cuantitativo porque se cuantificó la presencia de HCN, oxalatos y capacidad antioxidante en las hojas tratadas térmicamente.

LOCALIZACIÓN DEL ESTUDIO

Los experimentos se llevaron a cabo en el Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Productos Funcionales (LIDPF), perteneciente a la Facultad de Ciencias de la Nutrición y Alimentos de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, ubicada en el municipio de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

DESCRIPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Se utilizaron hojas de malanga (*Xanthosoma sagittifolium*) con diferentes etapas de desarrollo, cultivadas en el huerto del laboratorio (LIDPF), ubicado en la Facultad de Ciencias de la Nutrición y Alimentos de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Las cuales fueron recolectadas durante los primeros cinco días por cada etapa.

DESCRIPCIÓN DE INSTRUMENTOS, EQUIPOS Y REACTIVOS

EQUIPOS DE LABORATORIO

Tabla 7. EQUIPOS UTILIZADOS.

Equipo	Modelo	Marca
Espectrofotómetro	VE-5100UV	VeLAB®
pH-metro	Starter 2100	Ohaus®
Colorímetro	CM-600d	Konica minolta®

INSTRUMENTOS Y REACTIVOS DE LABORATORIO

Tabla 8. INSTRUMENTOS UTILIZADOS.

Instrumento	Modelo	Marca
Probeta	50 ml	Genérico
Bureta	50 ml	Genérico
Matraz	100 ml	Genérico
Papel filtro	n/a	Genérico
Parrilla eléctrica	Sp131325	Thermo Scientific®
Agitador (Shaker)	SK-0180-Pro	Scilogex®
Balanza analítica	VE-303	VeLAB®

Tabla 9. REACTIVOS UTILIZADOS.

Reactivos	Marca
Ácido clorhídrico (HCl)	Meyer®
Fenolftaleína	Labessa®
Ácido pícrico	Meyer®
Permanganato de potasio (KMnO ₄)	Meyer®
Tolueno	Meyer®

DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS (DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN)

La experimentación se divide en cuatro fases:

FASE I. OBTENCIÓN Y EVALUACIÓN DE HOJAS DE MALANGA

Las plantas de malanga se cultivaron en el huerto del LIDPF de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, ubicado en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, para tal efecto, se evaluaron diferentes etapas de desarrollo de las hojas de la planta de malanga y diferentes tiempos de tratamiento térmico (ebullición). Considerando los reportes de otros autores aplicados a los cormos de malanga, se plantea el diseño experimental mostrado en la tabla 10.

Tabla 10. Diseño experimental utilizado para el tratamiento térmico.

Hojas de X. S	Edad (semanas)	Tiempo de cocción (min)
HM0-0	1	0
HM0-1		10
HM0-2		20
HM0-3		30
HM8-0	8	0
HM8-10		10
HM8-20		20
HM8-30		30
HM16-0	16	0
HM16-10		10
HM16-20		20
HM16-30		30
HM24-0	24	0
HM24-10		10
HM24-20		20
HM24-30		30
HM32-0	32	0
HM32-10		10
HM32-20		20
HM32-30		30

*Los tratamientos se evalúan los primeros 5 días cada 2 meses, esto con el fin de estandarizar.

En la tabla 9. Se abordó un diseño experimental factorial de dos niveles (5x4), el primer nivel corresponde a cinco diferentes edades de las hojas (1, 8, 16, 24, 32 semanas) y el segundo nivel a cuatro diferentes tiempos de inmersión en agua hirviendo (0, 10, 20 y 30 min), por lo que se tuvieron 20 tratamientos, considerando hacerlo por triplicado se desarrollaron 60 experimentos.

FASE II. APLICACIÓN DEL TRATAMIENTO TÉRMICO

En la fase II del estudio, se aplicó un tratamiento térmico (inmersión en agua a ebullición) a las diferentes hojas de malanga (diferentes estados de maduración), el cual fue aplicado durante cuatro tiempos diferentes por cada tratamiento. De acuerdo con el siguiente diseño experimental.

Tabla 11. APLICACIÓN DEL TRATAMIENTO TÉRMICO

Tratamiento	Tiempo de tratamiento térmico (minutos)
HM1	0, 10, 20 y 30
HM8	0, 10, 20 y 30
HM16	0, 10, 20 y 30
HM24	0, 10, 20 y 30
HM32	0, 10, 20 y 30

FASE III. EVALUACIÓN DE NIVELES DE ANTI-NUTRIENTES, CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y FISICOQUÍMICA

En la fase III del estudio, se evaluaron los compuestos anti nutricionales (HCN y oxalatos) mediante los métodos publicados por Vela-Gutiérrez *et al.* (2021). Para la evaluación de la capacidad antioxidantes usando la técnica de ABTS. Para las técnicas fisicoquímicas, se utilizaron las técnicas de los siguientes autores: Talens. (2017) para la determinación de color, Casaubon *et al.* (2018) para la determinación de pH y AOAC (2003) para el químico proximal. Se presentan las ecuaciones utilizadas para calcular los resultados.

Ecuación para mg de HCN:

$$(396) * (abs) = mg/Kg$$

Donde:

396 = Constante

Abs= Absorbancia de la muestra

Ecuación para % de ácido oxálico:

$$\frac{\text{Valor tituable} \times 0.006303}{4}$$

Donde:

Valor tituable = mL utilizados (titulante)

0.006303 = Constante (1 ml of 0.1 N KMnO₄ = 0.006303 oxalic acid)

4 = Constante

Ecuaciones para mg/eq. Trolox en la D. Capacidad antioxidante:

$$\text{Ecuación para mg/eq. Trolox} = \text{Abs} - 0.0543/0.2427$$

Donde:

Abs = Absorbancia de la muestra

0.0543 = Constante calculada en la regresión lineal de la gráfica de dispersión (Trolox)

0.2427 = Constante calculada en la regresión lineal de la gráfica de dispersión (Trolox)

Ecuaciones para la obtención de C* y H* en color:

$$c^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad \text{Ec. 1}$$

$$h^* = \frac{b^*}{a^*} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

c* = croma

h* = tonalidad

a* = a+ (rojo) y a- (verde)

b* = b+ (amarillo) y b- (zul)

FASE IV. EVALUACIÓN CON UN MODELO BIOLÓGICO (*ARTEMIAS SALINAS*) Y EVALUACIONES FISICOQUÍMICAS

En la fase IV del estudio, se determinó la toxicidad de las hojas de *Xanthosoma sagittifolium* utilizando la técnica para determinar toxicidad con el modelo biológico de los autores Pino y Jorge (2010) y Fernández *et al.* (2009), la cual fue adecuada y fueron utilizados nauplios de *Artemias salinas*. Se emplearon 500 mg de quistes de *Artemias salinas*, los cuales eclosionaron tras una incubación de 24 horas en condiciones controladas como iluminación blanca (500 a 1000 lux) y temperatura de 27°C. Las pruebas se llevaron a cabo con 10 nauplios por muestra, utilizando extractos etanólicos (3%). Cada ensayo se realizó por triplicado en cajas Petri de 5 cm de diámetro, agregando 10 ml de solución extraída.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados se presentaron utilizando estadística descriptiva (tablas y/o figuras). El análisis de los resultados se realizará mediante análisis de varianza (ANOVA) de una vía, y la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($p < 0.05$), que se utilizará para comparar los valores promedios de los datos. Se usará el software estadístico MINITAB® versión 14.0 para Windows.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

FASE I. OBTENCIÓN Y EVALUACIÓN DE LAS HOJAS DE MALANGA

Las hojas de malanga se cultivaron y cosecharon en diferentes etapas de desarrollo (1, 8, 16, 24, 32 semanas) en el invernadero del laboratorio de investigación y desarrollo de productos funcionales (LIDPF), ubicado en la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Para aplicarles diferentes tiempos de cocción con el objetivo de realizar las determinaciones siguientes: factores anti-nutricionales, capacidad antioxidante, fisicoquímicos y evaluación biológica. Se puede observar las cinco etapas de desarrollo de las hojas de malanga (Figura 6).

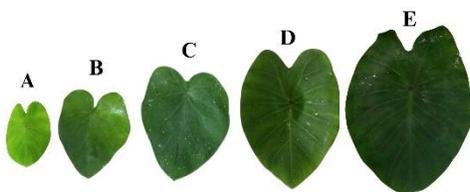


Figura 6. Etapas de desarrollo (semanas) de *Xanthosoma sagittifolium*. 1 (A) – 8 (B) – 16 (C) – 24 (D) – 32 (E).

FASE II Y III. APLICACIÓN DEL TRATAMIENTO TÉRMICO Y EVALUACIÓN DE FACTORES ANTI-NUTRICIONALES, CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y FISICOQUÍMICOS

Se evaluó la efectividad del proceso de ebullición para reducir la presencia de dos factores antinutricionales clave en las hojas de malanga (*Xanthosoma sagittifolium*): el ácido oxálico y el ácido cianhídrico. Las hojas de malanga (*Xanthosoma sagittifolium*), se sometieron a ebullición, considerando cuatro tiempos de cocción (0, 10, 20, 30 min), esto con el fin de disminuir la presencia de compuestos toxicológicos (figura 7).



Figura 7. Aplicación de tratamiento térmico (ebullición)

Se identificaron diferencias significativas en los niveles iniciales de ácido oxálico y ácido cianhídrico entre las muestras de hojas de distintas edades (HM1, HM8, HM16, HM24, HM32). Para valorar estos componentes, se efectuaron dos pruebas separadas, tomando el ácido oxálico como el primer factor antinutricional y el ácido cianhídrico como el segundo. En cada situación, se implementaron cinco procesos distintos basados en la edad de las hojas, facilitando así la creación de contrastes entre las diferentes fases de expansión foliar y su influencia en la permanencia de dichos compuestos.

DETERMINACIÓN DE ÁCIDO OXÁLICO

Se realizó la determinación de ácido oxálico en los diferentes tiempos de crecimiento y cocción de los cinco tratamientos, los cuales se presentan en la figura 8.

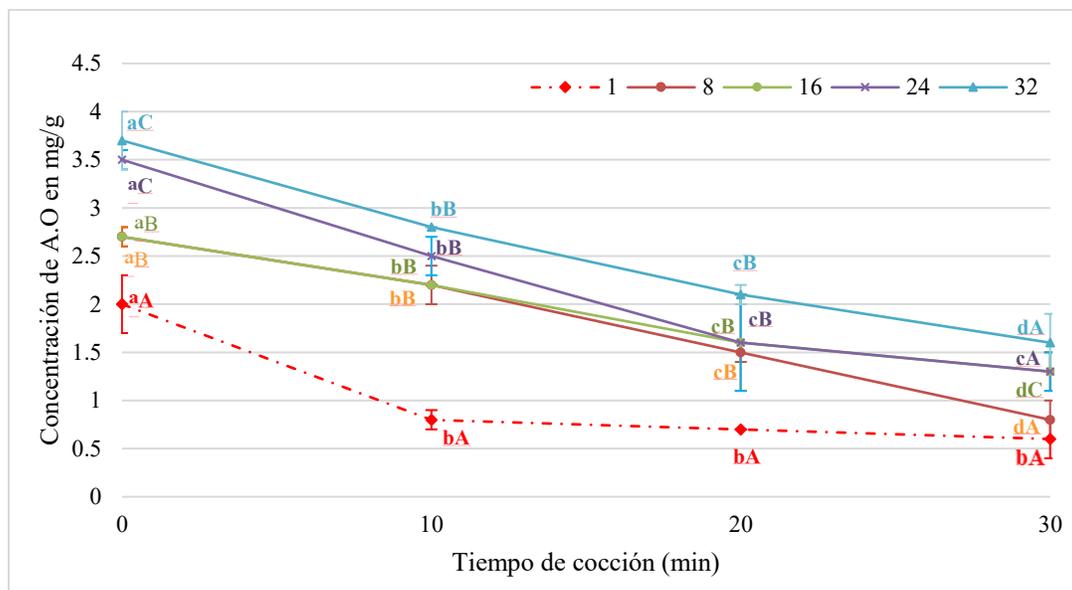


Figura 8. Resultados de ácido oxálico. *Letras minúsculas diferentes (tiempo de cocción) en la misma línea y letras mayúsculas diferentes (tiempo de desarrollo) en la misma línea muestran diferencias significativas (Tuckey, $p < 0.05$). A.O: Ácido oxálico.

En las hojas, el contenido de oxalato soluble aumentó con el avance del desarrollo de la planta. Para la semana 1, se observó un contenido de 0.0020% (2 mg/100 g de muestra), que luego aumentó a 0.0022% (2.2 mg/100 g de muestra) en las semanas 8 y 16, a 0.0027% (2,7 mg/100 g de muestra) en la semana 24, y luego alcanzó valores de 0.0035% (3.5 mg/100 g de muestra) y 0.0037% el último registro disponible para esta muestra (3.7 mg/100 g de muestra) en los meses 24 y 32, respectivamente. Esta tendencia concuerda con los datos de la figura 8, que indican que el contenido de oxalato dentro de la planta aumenta con su avance en el desarrollo.

Después del tratamiento térmico de las hojas, se observaron disminuciones significativas en los niveles de oxalatos solubles con el tiempo de exposición. Las hojas arrojaron una disminución del contenido de oxalatos solubles del 57% después de los primeros 10 min de ebullición para esa hoja en particular correspondiente al desarrollo inicial (1 semana). Para

el resto de los tratamientos, para hojas en etapas más avanzadas de desarrollo, las reducciones oscilan entre el 15 y 26%.

Las variaciones registradas en los diferentes tratamientos térmicos fueron estadísticamente significativas ($p < 0.05$), lo que indica el efecto del tratamiento térmico sobre el contenido de oxalatos. Se encontró que el contenido de oxalatos solubles en hojas frescas aumenta con el desarrollo de la planta, lo que corrobora que la presencia de este compuesto está bastante relacionada con la etapa de desarrollo de la planta. Se observó también que, no se alcanza a eliminar totalmente el oxalato, probablemente debido a que existen dos tipos de oxalatos (soluble e insoluble), los primeros están relacionados con sales como el sodio, potasio y amonio, por otro lado, los insolubles se relacionan con sales como calcio, hierro, y magnesio (Huynh *et al.*, 2022). Los mismos autores evaluaron diferentes métodos de tratamiento, como la ebullición, la cocción al vapor y el secado, indicando que la ebullición es el método más efectivo para tejidos vegetales blandos, como las hojas, y que el uso de altas temperaturas y tiempos prolongados de cocción, puede lograr una mayor degradación del ácido oxálico.

Olajide *et al.* (2011), indicaron que el alto contenido de cristales de oxalato en algunas especies vegetales como los cormos de malanga, pueden causar irritación al momento de consumirlo, ellos mismos reportan que al someter los cormos a una técnica de procesamiento, en su caso la fermentación y tratamiento térmico, ayuda a reducir los factores antinutricionales. Por otro lado, Vela-Gutiérrez *et al.* (2021), quienes estudiaron cormos de malanga de dos especies; *Colocasia esculenta* y *Xanthosoma sagittifolium*, indicaron que el tratamiento térmico en los diferentes tiempos de cocción evaluados, redujo en un 33.3% los compuestos tóxicos después de 20 minutos de cocción, de igual manera, hacen mención que el contenido de oxalato en alimentos llega a ser muy variado; por ejemplo, el brócoli varía de 0.3-13 mg/100 g, las papas de 5.5-30 mg/100 g y el salvado de trigo de 58-524 mg/100 g; esto puede depender de muchos factores, entre ellos se encuentra la variedad y especie de la planta, el tipo de sustrato utilizado, condiciones ambientales para el desarrollo del cultivo, la edad de la planta, etc. Akhtar *et al.* (2011), mencionaron que la dieta occidental aporta alrededor de 50-150 mg de oxalatos al día, y que las dietas vegetarianas generan un mayor aporte. Por otro lado, la Asociación de Dietética Americana (ADA, por sus siglas en inglés) recomienda que personas que tengan problemas de cálculo renal deben restringir la ingesta de oxalatos a menos de 40-50 mg al día. Por lo tanto, el porcentaje de ácido oxálico

determinado en las hojas de malanga con tratamiento térmico serían seguras para su consumo.

DETERMINACIÓN DE ÁCIDO CIANHÍDRICO (HCN)

Se realizó la determinación del ácido cianhídrico mediante espectrofotometría a una lectura de 510 nm, se pudo observar que, en las diferentes edades de la planta evaluada y tiempos de cocción, se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) (Tabla 12).

Tabla 12. RESULTADOS DE HCN

Tratamiento térmico (minutos)	Edad plantas (semanas)				
	1	8	16	24	32
	mg/kg peso corporal				
0	5.81±0.46 ^a	9.11±0.69 ^b	13.86±0.69 ^c	19.40±1.58 ^d	29.83±0.92 ^e
10	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
20	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
30	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D

*Letras minúsculas en la misma fila muestran diferencias significativas (Tukey, $p < 0.05$). N/D: No detectado.

Se notaron variaciones importantes ($p < 0.05$) en la cantidad de HCN en las plantas dependiendo de la edad; siendo más baja en los primeros meses de crecimiento y aumenta a medida que la planta se desarrolla. Esto indica que la cantidad de HCN está directamente vinculada al progreso fisiológico de la planta. Durante las distintas fases de crecimiento se observa una variabilidad en los niveles de HCN; no obstante, los resultados sugieren que 10 minutos de tratamiento térmico son suficientes para eliminar los compuestos tóxicos y reducir el contenido de HCN a niveles seguros para el consumo humano. Lo anterior coincide con lo señalado por el Comité del CODEX sobre Contaminantes de los Alimentos (2013), que indica que un adecuado procesamiento térmico puede desactivar los compuestos dañinos presentes en los productos vegetales. Además de ello, los resultados obtenidos después del tratamiento térmico se encuentran dentro de los límites recomendados para una ingesta diaria máxima tolerable de 0.02 mg/kg de peso corporal de cianuro según lo establecido por el mismo organismo como referencia sanitaria para glucósidos cianogénicos presentes en la yuca y sus derivados. Esto confirma que, si se realiza un procesamiento adecuado, las hojas podrían ser consumidas sin representar un riesgo para la salud. Según Olajaide *et al.* (2011),

el HCN disminuyó más del 57% en cormos de malanga de la especie *Colocasia esculenta*, al probar dos métodos, cocción y fermentación, encontrando que la fermentación es el más eficiente. Otro estudio, realizado por Vela-Gutiérrez *et al.* (2021), en cormos de malanga de dos especies, *Colocasia esculenta* y *Xanthosoma sagittifolium*, reportaron que el contenido de HCN se eliminó completamente tras 20 minutos de cocción, de igual manera refieren que hay varios informes que indican que los tratamientos térmicos son los métodos más adecuados para reducir los antinutrientes. La eliminación de HCN se debe a la ruptura de glucósidos cianogénicos, como la linamarina, presente en ciertas plantas. Durante la ebullición, la enzima linamarasa, que se inactiva a partir de los 72°C, se destruye cuando se eleva a más temperatura. Asimismo, el HCN producido y residual se volatiliza y es eliminado durante la cocción, esto se debe a la solubilidad de los compuestos en el agua, es decir, se disuelven fácilmente en medios acuosos como el agua (Kalpanadevi & Mohan, 2013; Onyeike & Omubo, 2002).

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE MEDIANTE ABTS

Se determinó la capacidad antioxidante por ABTS por espectrofotometría a 734 nm, para los diferentes tratamientos, los cuales presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). Los resultados se expresaron en $\mu\text{mol eq. Trolox/g}$ (Tabla 13).

Tabla 13. RESULTADOS DE LA CAPTACIÓN DEL RADICAL ABTS

Tratamiento térmico (minutos)	Edad de las hojas (semanas)				
	1	8	16	24	32
	C. A. mg/ eq. Trolox				
0	0.453±0.023 ^{aA}	0.992±0.108 ^{aB}	1.110±0.106 ^{aB}	2.415±0.033 ^{aC}	2.523±0.006 ^{aC}
10	0.459±0.025 ^{aA}	1.312±0.073 ^{bB}	1.438±0.005 ^{bB}	2.444±0.009 ^{aC}	2.520±0.008 ^{aC}
20	0.510±0.014 ^{bA}	1.489±0.037 ^{cB}	1.551±0.033 ^{cB}	2.461±0.023 ^{aC}	2.530±0.005 ^{aD}
30	0.497±0.027 ^{bA}	1.576±0.064 ^{cB}	1.735±0.047 ^{dC}	2.486±0.017 ^{bD}	2.564±0.023 ^{bE}

*Letras minúsculas (tiempo de cocción) en la misma columna y letras mayúsculas (tiempo de desarrollo) en la misma fila muestran diferencias significativas (Tukey, $p < 0.05$). *C. A: Capacidad antioxidante.

Se evaluó la capacidad antioxidante de los extractos etanólicos de las hojas de plantas del género *Xanthosoma*. Se puede observar en la tabla 13, al comparar los cuatro diferentes tiempos de cocción (columnas) de cada etapa de desarrollo de las hojas, que hubo diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$), también se observa que a partir del minuto 10

aumentó la actividad antioxidante. En los resultados de cada tratamiento en sus diferentes etapas de desarrollo (filas), se observó que a partir de la semana ocho empezó a incrementar la actividad antioxidante. En un estudio realizado por Gutiérrez *et al.* (2016), la concentración de compuestos fenólicos en hojas de brócoli, coliflor y repollo, donde aplicaron tres temperaturas diferentes (30, 40 y 60°C) aumentó, también reportan que factores como el tipo de material vegetal y la temperatura a partir de los 60°C, son dos factores importantes para maximizar la extracción de compuestos presentes; lo que justifica el incremento de la capacidad antioxidante cuando se eleva la temperatura y se expone a tiempos prolongados. En el caso del incremento de la capacidad antioxidante en las diferentes etapas de desarrollo de la planta, puede deberse a la presencia de Lignina; Maceda *et al.* (2022), reportaron que la Lignina (compuesto fenólico), forma parte de la estructura de la pared celular del tejido vascular en las plantas, provee rigidez estructural, así como resistencia a la tensión y presión hídrica. La lignina no puede ser degradada por las plantas, su síntesis está regulada, la lignificación de la pared celular inicia en las esquinas de la célula, donde se acumula mientras crece la planta y madura la célula. Respecto a este trabajo, la lignina pudo haberse liberado con la aplicación de calor, tras el rompimiento de la pared celular en las hojas.

FASE IV. EVALUACIÓN DE TOXICIDAD CON (*ARTEMIAS SALINAS* L.)

En la tabla 13, se muestran los valores de CL₅₀ para los cuatro extractos de hojas de *Xanthosoma sagittifolium* evaluados.

Tabla 14. RESULTADOS TOXICOLÓGICOS CON ARTEMIAS SALINAS L.

Tratamiento térmico (minutos)	Edad de la planta 32 semanas.	
	CL ₅₀	Categoría de toxicidad
0	3.33±3.25 ^a	Extremadamente tóxico
10	33.33±3.25 ^b	Altamente tóxico
20	76.67±3.25 ^c	No tóxico
30	96.67±3.25 ^d	No tóxico

*Letras minúsculas en la misma columna muestran diferencias significativas (Tukey, p<0.05).

El estudio de la letalidad utilizando larvas de *Artemias salinas* se ha comprobado como una herramienta eficiente para identificar sustancias que tienen efectos citotóxicos (Fernández-Calienes *et al.*, 2009).

Varios autores han sugerido diferentes formas de clasificar la toxicidad según el valor de CL₅₀ (concentración letal media). A pesar de las diferencias que puedan existir entre las clasificaciones presentadas en la tabla 14, los extractos se pueden categorizar como altamente tóxicos si su valor de CL₅₀ es inferior al 50%, y como no tóxicos si es igual o superior al 50%.

Al aplicar calor a las hojas de malanga, se observó una reducción gradual de su toxicidad. Después de 20 minutos de cocción, las hojas se clasificaron como moderadamente tóxicas, mientras que, tras 30 minutos, se consideraron como no tóxicas. Estos hallazgos resaltan la importancia de un tiempo adecuado de cocción para reducir los compuestos perjudiciales presentes en las hojas y garantizar su inocuidad, haciendo posible su consumo humano de forma segura y saludable. Además, este resultado hace énfasis en la necesidad de considerar prácticas de preparación específicas al incorporar ingredientes con potenciales riesgos tóxicos en la dieta.

FASE IV: RESULTADOS FISICOQUÍMICOS

En la tabla 15, se observa los resultados obtenidos de la composición nutricional de las hojas de malanga de 32 semanas de desarrollo, así como de hojas de malanga de un estudio realizado por Mitharwal et al. (2022).

Tabla 15. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DE HOJAS DE *XANTHOSOMA S.*

Componente	<i>Xanthosoma sagittifolium</i> (hojas)	<i>Colocasia Esculenta</i> (hojas) Mitharwal et al. (2022)
Humedad	80.275±0.114	83.61
Grasa	1.170±0.165	1.38
Proteína	4.025±0.104	3.42
Fibra	6.914±0.164	N/D
Ceniza	2.081±0.075	2.3
Carbohidrato	5.535±0.075	3.69

*El cálculo realizado en análisis químico proximal fue presentado en base seca. * Método AOAC (2003)

Los resultados de este estudio revelan aspectos interesantes sobre la composición nutricional de las hojas de malanga (*Xanthosoma sagittifolium*). Si bien se encontró que las dos hojas presentan un nivel de humedad bastante similar, la proporción de otros nutrientes sí muestra cambios importantes.

Investigaciones previas han demostrado que la cantidad de grasa en las hojas de malanga puede oscilar entre 2.01 y 7.10 gramos (Mitharwal et al., 2022), lo que sugiere que factores como la edad de la hoja, las condiciones de cultivo y el procesamiento pueden afectar su composición. Asimismo, se ha reportado que la fibra puede llegar hasta los 30.3 gramos, mientras que las cenizas en hojas secas varían de 2.0 a 13.50 gramos, y los carbohidratos se encuentran entre 3.69 y 52.4 gramos (Mitharwal et al., 2022). Estas diferencias resaltan la variabilidad en la química de las hojas y subrayan la importancia de establecer criterios más precisos para describir sus valores nutricionales.

A pesar de que varían bastante, podemos decir que las hojas de *Xanthosoma sagittifolium* son bastante nutritivas, especialmente por la cantidad de proteínas, carbohidratos, grasas y

fibra que tienen. Esto las convierte en una fuente interesante de nutrientes, especialmente en regiones donde el acceso a proteínas y fibra puede ser limitado.

En la tabla 16, se observa los resultados obtenidos en la determinación de color a las hojas de 32 semanas de desarrollo, mediante la técnica de CIELAB.

Tabla 16. RESULTADOS DE COLOR EN HOJAS DE MALANGA (32 SEMANAS)

Valores	Hoja de malanga
L*	41.680 ± 0.878
a*	-5.3833± 0.1943
b*	7.3400± 0.2100
c*	9.1039 ± 0.2106
h*	-53.742 ± 1.220

CIELAB o CIEL*a*b, es uno de los sistemas de color más ampliamente utilizados y uniformes en la evaluación del color, especialmente en el ámbito de los alimentos. Este sistema se representa en un plano cartesiano con tres ejes: uno vertical (L*) y dos horizontales (a* y b*). El eje L* vertical representa la luminosidad del color, variando desde 0 para negro hasta 100 para blanco. Por otro lado, el eje a* horizontal indica el contenido de rojo (+) o verde (-), mientras que el eje b*, perpendicular al eje a*, indica el contenido de amarillo (+) o azul (-) (Talens, 2017). Además, de estos valores, se utiliza el ángulo *h** para medir la tonalidad, que indica la orientación del color en relación con el origen (0° para positivo en a* y en sentido contrario, 90° para amarillo, 180° para verde y 270° para azul). Por último, el parámetro c* representa la pureza, saturación o croma del color. Un valor de c* igual a 0 indica un estímulo acromático, es decir, sin orientación hacia rojo, verde, azul o amarillo, mientras que valores más altos indican colores más saturados (Talens, 2017).

El valor de L* (luminosidad) en las hojas de plantas de malanga (*Xanthosoma sagittifolium*) con 32 semanas de edad fue de 41.680± 0.878. Este resultado indica una luminosidad relativamente baja, acercándose al extremo oscuro del espectro. Estas características visuales son típicas de las hojas de *X. sagittifolium*, ya que suelen tener una tonalidad opaca o mate. Esto puede deberse a una alta concentración de clorofila, y provocada por las limitadas condiciones de luz. En este tipo de entorno, es común que las plantas aumenten la producción

de clorofila como una estrategia adaptativa para optimizar la captura de luz y mantener niveles adecuados de fotosíntesis (Su *et al.*, 2023).

En cuanto al valor de a^* (-5.3833 ± 0.1943), indica una tonalidad verde típica de las hojas de malanga. Este valor negativo indica una alta concentración de clorofila, el principal pigmento involucrado en la fotosíntesis. El valor de b^* (7.3400 ± 0.21), se sitúa en el lado positivo del eje b, indicando la presencia notable de tonos amarillos en el color de las hojas, esto es debido a la presencia de carotenoides. Los carotenoides junto a la clorofila tienen un papel importante en la protección de la captura de luz y el estrés oxidativo (Formisano *et al.*, 2022; Su *et al.*, 2023). Respecto al valor de c (9.1039 ± 0.2106), revela una saturación moderada en el color, es decir, puede haber un equilibrio entre la clorofila y los carotenoides, lo que puede indicar una etapa intermedia en su envejecimiento, donde aún se mantiene una actividad fotosintética activa, pero empiezan a acumularse otros pigmentos (Sims & Gamon, 2002). Respecto al ángulo h^* , describe una tonalidad específica del color. En este caso se observa una inclinación hacia tonos verdosos, pero con ciertos tonos amarillos, lo que sugiere una tonalidad generalmente verde oscura en las hojas de malanga.

Los resultados obtenidos en la determinación de pH a las hojas de 32 semanas de desarrollo, fue de 6.8267 ± 0.1150 .

El potencial de hidrógeno (pH), es un parámetro el cual mide los grados de alcalinidad, neutralidad y acidez de una sustancia. La escala de pH va de 0 (acidez máxima) al 14 (alcalinidad máxima) (Casaubon *et al.*, 2018).

Al analizar las hojas de malanga, se obtuvo un pH de 6.8267 ± 0.1150 , lo que indica una ligera acidez cercana a la neutralidad. Este pH es favorable para su consumo y procesamiento, ya que se encuentra dentro del rango óptimo de productos vegetales (Food-Info, 2021). Los valores de pH obtenidos pueden deberse a la alta presencia de Fósforo (P) en el sustrato utilizado para el crecimiento de la planta, por lo tanto, hubo una mayor absorción de P (Montoya-Jasso *et al.*, 2021). El pH depende de algunos factores ambientales como las condiciones del aire, suelo, también del contenido de compuestos presentes en el sustrato,

por lo tanto, un pH ligeramente ácido en las hojas de malanga puede influir positivamente en la estabilidad de los compuestos presentes, durante su almacenamiento y preparación.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos demuestran que el contenido de compuestos tóxicos en las hojas de malanga (HCN y oxalatos solubles), está estrechamente relacionado con la etapa de desarrollo de la planta, aumentando a medida que la hoja envejece. Mientras que, el tratamiento térmico resultó ser una estrategia efectiva para reducir significativamente la toxicidad de las hojas, logrando niveles seguros para el consumo humano.

En cuanto a la capacidad antioxidante, los extractos etanólicos de las hojas mostraron diferencias significativas en función al tiempo de cocción y a la etapa de desarrollo de la planta. A partir de los 10 minutos de cocción se observó un incremento en la capacidad antioxidante, así como a partir de la semana ocho de desarrollo de la planta. Condición favorable para el consumo de hojas maduras con un proceso de cocción adecuado.

El ensayo con *Artemias salinas*, corroboró el consumo de las hojas posterior a un adecuado tratamiento térmico, ya que, a partir de los 20 minutos de cocción, las hojas de malanga se identificaron como moderadamente tóxicas, y después de 30 minutos, como no tóxicas; concordante con los resultados de determinación de compuestos alergénicos (HCN y oxalatos)

El tratamiento térmico asegura la inocuidad de las hojas de malanga para el consumo y mejora su capacidad antioxidante, convirtiéndolas así en un alimento seguro y funcional; contribuyendo a la seguridad alimentaria y en el aprovechamiento sostenible de este cultivo de las comunidades productoras.

REFERENCIAS DOCUMENTALES

AOAC (2003) Official Methods of Analysis of Association of Analytical Chemist. 17th Edition, AOAC, Gaithersburg.

Asumadu, H., Omenyo, E.L. & Tetteh, F. (2011). Physiological and economic implications of leaf harvesting on vegetative growth and cormel yield of cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium*). *Journal of Agronomy*, 10 (4), pp. DOI: 10.3923/ja.2011.112.117.

Akhtar MS, Israr B, Bhatti N, Ali A. (2011) Effect of cooking on soluble and insoluble oxalate contents in selected Pakistani vegetables and beans. *Int J Food Prop*. DOI: <https://doi.org/10.1080/10942910903326056>.

Araújo, S.S., *et al.* (2019). Bromatology, food chemistry and antioxidant activity of *Xanthosoma sagittifolium* (L.) Schott. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 31(3). DOI: 10.9755/ejfa.2019.v31.i3.1924.

Azubike, N.C., *et al.* (2016). Subacute toxicity profile of the leaves of *Colocasia esculenta* [L. Schott] in albino rats. *Research Journal of Medicinal Plant*, 10 (5), pp. DOI: 10.3923/rjmp.2016.340.348.

Boakye, A.A., *et al.* (2018). Utilizing cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium*) for food and nutrition security: A review. *Food science and nutrition*, 6 (4). DOI: 10.1002/fsn3.602.

Benítez, E. A. *et al.* (2020). Determinación de la capacidad antioxidante total de alimentos y plasma humano por fotoquimioluminiscencia: Correlación con ensayos fluorométricos (ORAC) y espectrofotométricos (FRAP). *P Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 23: 1-9. DOI: <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2020.0.244>.

Chacón, J. J. (2013). Descripción sistemática de accesiones de *xanthosoma schott* recolectadas en Costa Rica y el cultivo in vitro de las especies silvestres. Recuperado de [http://repositorio.conicit.go.cr:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/115/Tesis%20GM O%20Chacon.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.conicit.go.cr:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/115/Tesis%20GM%20Chacon.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

Casaubon, G. P., et al. (2018). pH de los alimentos: ¿una herramienta para el manejo de los pacientes con reflujo gastroesofágico? *Revista Mexicana de Padiatría*, 85(3), 89-94.

De Almeida Jackix, E., et al. (2013). Taioba (*xanthosoma sagittifolium*) leaves: Nutrient composition and physiological effects on healthy rats. *Journal of Food Science*, 78 (12), pp. DOI: 10.1111/1750-3841.12301.

Del Toro, S. C, Lizette., et al. (2015). Alimentos funcionales y compuestos bioactivos. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Norma-Flores-Martinez/publication/342601000_Aceites_esenciales_como_antioxidantes_y_antimicrobianos_naturales/links/5efcaecf92851c52d60cc7ee/Aceites-esenciales-como-antioxidantes-y-antimicrobianos-naturales.pdf.

Fernández-Calienes, A. et al. (2009). Evaluación de la toxicidad de extractos de plantas cubanas con posible acción antiparasitaria utilizando larvas de *Artemias salinas* L. *Rev. Cubana Med Trop.* Recuperado de: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0375-07602009000300009&script=sci_arttext.

Food-Info. (2021). pH en los alimentos. Recuperado de <https://www.food-info.net/es/qa/qa-fp65.htm>.

Formisano, L., et al. (2022). Between Light and Shading: Morphological, Biochemical and Molecular Responses of Plants to Light Quality and Intensity. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.890830>

Gupta. Kritika., et al. (2019). Potential of Colocasia leaves in human nutrition: Review on nutritional and phytochemical properties. Food biochemistry. DOI: 10.1111/jfbc.12878.

Gutiérrez, R. Martín, E. et al. (2016). Extracción de compuestos bioactivos a partir de subproductos vegetales del sector agroalimentario del estado de Guanajuato. Jóvenes en la ciencia. Recuperado de:

<https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/1262>.

Huynh. N, K., et al. (2022). Effect of processing on oxalate contents in plant foods: A review. Journal of Food Composition and Analysis. doi: 10.1016/j.jfca.2022.104685.

Kuskoski. E, Marta., et al. (2005). Aplicação de diversos métodos químicos para determinar atividade antioxidante em polpa de frutas. Food Science Technology, 25 (4). DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612005000400016>.

Lima. T., et al. (2021). A study of the bioactive potential of seven neglected and underutilized leaves consumed in Brazil. Food chemistry. 364. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.130350.

Lim. T, K. (2015). Xanthosoma Sagittifolium. Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants. 9. DOI: 10.1007/978-94-017-9511-1_15.

López, L. Rutilo, et al. (2017). Productividad del agua en el cultivo de malanga (*Colocasia esculenta* L.) con riego por aspersión en Tabasco, México. Recuperado de: <https://www.riego.mx/congresos/comeii2017/assets/documentos/ponencias/extenso/COMEII-17007.pdf>.

Maceda. A. et al. (2022). Lignin: composition, synthesis and evolution. Madera bosques, 27 (2). <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2722137>.

Mitharwal, S., *et al.* (2022). Nutritional, phytochemical composition and potential health benefits of taro (*Colocasia esculenta* L.) leaves: A review. Food chemistry. 383, pp. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.132406.

Montoya, J. V, Manuel, et al. (2021). Caracterización química y física de sustratos enriquecidos con minerales y composta. Recuperado de: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792021000100143&script=sci_arttext.

Nyonseu, D.C., *et al.* (2018). Evaluation of the toxicity of *Colocasia esculenta* (Aracaceae): Preliminary study of leaves infected by *Phytophthora colocasiae* on wistar albino rats Biomedicine and Pharmacotherapy, 99, pp. DOI: 10.1016/j.biopha.2017.12.061.

N. Karthika & R. Kalpana. (2017). HCN Content and Forage Yield of Multi-Cut Forage Sorghum under Different Organic Manures and Nitrogen Levels. Chemical Science Review and letters. DOI: 10.1016/j.biopha.2017.12.061.

Oscarsson, K.V. & Savage, G.P. (2007). Composition and availability of soluble and insoluble oxalates in raw and cooked taro (*Colocasia esculenta* var. Schott) leaves. Food Chemistry, 101 (2), pp. DOI: 10.1016/j.foodchem.2006.02.014.

Pérez, E.E., *et al.* (2007). Production and characterization of *Xanthosoma sagittifolium* and *Colocasia esculenta* flours. Journal of food science. 72(6). DOI: 10.1111/j.1750-3841.2007.00420.x

Pino, P. O & Jorge, L. F. (2010). Ensayo de artemias: Útil herramienta de trabajo para ecotoxicológicos y químicos de productos naturales. Rev. Protección veg. Recuperado de: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-27522010000100008.

Prestes, F. C., *et al.* (2024). Nutritional composition, phenolic compounds and biological activities of selected unconventional food plants. Food research international. 191. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114643>.

Púa. Amparo, et al. (2019). Análisis de Nutrientes de la Raíz de la Malanga (*Colocasia esculenta* Schott) en el Trópico Seco de Colombia. Recuperado de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v30n4/0718-0764-infotec-30-04-00069.pdf>.

Pubchem. (2023). Hydrogen cyanide. Recuperado de <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Hydrogen-Cyanide>.

R. Olajide., et al. (2011). Effect of Processing on Energy Values, Nutrient and Anti-nutrient Components of Wild Cocoyam [*Colocasia esculenta* (L.) Schott] Corm. Pakistan Journal of Nutrition. DOI: [10.3923/pjn.2011.29.34](https://doi.org/10.3923/pjn.2011.29.34)

Serra, M. H, Fernandes., *et al.* (2021). Evaluation of multielement/proximate composition and bioactive phenolics contents of unconventional edible plants from Brazil using multivariate analysis techniques. Food chemistry. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129995>

Sims, D. A., & Gamon, J. A. (2002). Relationships Between Leaf Pigment Content and Spectral Reflectance Across a Wide Range of Species, Leaf Structures and Developmental Stages. *Remote Sensing of Environment*, 81(2–3), 337–354. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00010-X](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00010-X)

Spritzler. F. (2022). Oxalate (Oxalic Acid) Good or Bad?. Recuperado de <https://www.healthline.com/nutrition/oxalate-good-or-bad>.

Su, Y., Yang, H., Wu, Y., Gong, W., Gul, H., Yan, Y., & Yang, W. (2023). Photosynthetic Acclimation of Shade-Grown Soybean Seedlings to a High-Light Environment. *Plants*, 12(12), 2324. <https://doi.org/10.3390/plants12122324>.

Talens Oliag, P. (2017). Evaluación del color y tolerancia de color en alimentos a través del espacio CIELAB. Universitat Politècnica de València. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10251/83392>.

Testbook. (2022). Oxalic acid: Learns its formula, structure, properties, uses & hazards. Recuperado de <https://testbook.com/learn/chemistry-oxalic-acid/>.

Turpo, G. F. Compuestos cianogénicos en vegetales comestibles (cereal, drupas y tubérculos) y su cuantificación mediante métodos ópticos (Tesis de grado). Universidad mayor de San Andrés. Bolivia.

USDA. (2020). Classification for Kingdom *Plantae* Down to Species *Xanthosoma sagittifolium* (L.) Schott. Recuperado de <https://plants.usda.gov/home/classification/16444>.

V. Kalpanadevi y V, R. Mohan. (2013). Effect of processing on antinutrients and in vitro protein digestibility of the underutilized legume, *Vigna unguiculata* (L.) Walp subsp. *Unguiculata*. LWT-Food Science and Technology. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.09.030>.

Vela-Gutiérrez *et al.* (2021). Effect of heat treatment on oxalate and hydrocyanic acid levels of malanga corms of two cultivars (*Xanthosoma sagittifolium* and *Colocasia esculenta*) in a murine model. Journal of Food Science and Technology. 59. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05004-9>.

Vela-Gutiérrez *et al.* (2021). Alimentos funcionales y reducción de riesgo a Covid-19: el caso de la malanga y cúrcuma. 125-127.

Villa, S. P. *et al.* (2019). Estudio toxicológico sobre Artemia salina y análisis fitoquímico cualitativo de Prosopis glandulosa y Yucca filífera utilizadas como alimento. Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Recuperado de <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume4/4/10/130.pdf>.

Wada. E. *et al.* (2019) Proximate, Mineral and Antinutrient Contents of Cocoyam (Xanthosoma sagittifolium (L.) Schott) from Ethiopia. International Journal of Food Science.

7. DOI: <https://doi.org/10.1155/2019/896>

ANEXOS

Anexo 1.

Preparación de soluciones



Anexo 2.

Extracción de compuestos



Anexo 3.

Ebullición de las hojas de malanga



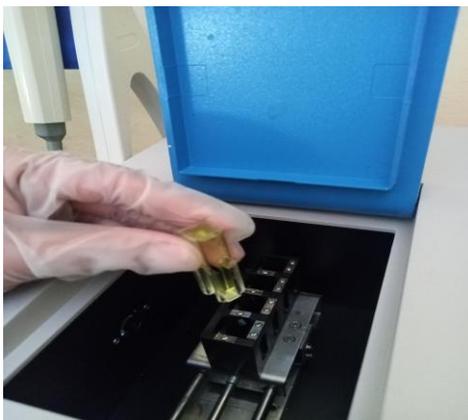
Anexo 4.

Preparación de tubos para determinar HCN



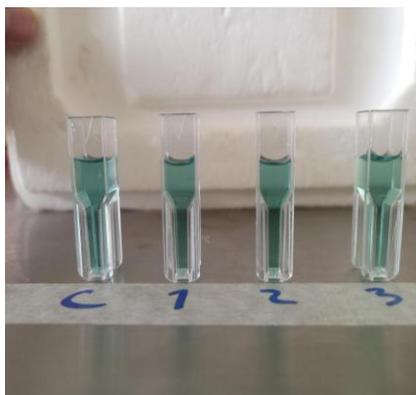
Anexo 5.

Determinación de ABS con espectrofotómetro



Anexo 5.

Determinación de ABTS



Anexo 5.

Artemias salinas - Extractos para la determinación de toxicidad en Artemias



Anexo 6.

Observación de Artemias salinas en el microscopio

