

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**



**“OBTENCIÓN DEL EXTRACTO Y SU RENDIMIENTO DE ANTOCIANINAS EN EL
CAMOTE MORADO CIP 441700 (*Ipomoea batatas*) UTILIZANDO TRES
DISOLVENTES DIFERENTES DE EXTRACCIÓN”**

T E S I S

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Presentado por la Bachiller:

GHICELY ESMILA FLORÍNDEZ CHÁVEZ

Asesor:

Dr. SALHUANA GRANADOS JOSÉ GERARDO

CAJAMARCA – PERÚ

2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"
Fundada por Ley N° 14015, del 13 de febrero de 1962
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
Secretaría Académica



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Cajamarca, a los veinticinco días del mes de mayo del año dos mil veintitrés, se reunieron en el ambiente 2H - 204 de la Facultad de Ciencias Agrarias, los miembros del Jurado, designados según **Resolución de Consejo de Facultad N° 354-2021-FCA-UNC, de fecha 22 de noviembre del 2021**, con la finalidad de evaluar la sustentación de la **TESIS** titulada: **"OBTENCIÓN DEL EXTRACTO Y SU RENDIMIENTO DE ANTOCIANINAS EN EL CAMOTE MORADO CIP 441700 (*Ipomoea batatas*) UTILIZANDO TRES DISOLVENTES DIFERENTES DE EXTRACCIÓN"**, realizada por la Bachiller **GHICELY ESMILA FLORÍNDEZ CHÁVEZ** para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**.

A las doce horas y veinticinco minutos, de acuerdo a lo establecido en el **Reglamento Interno para la Obtención de Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca**, el Presidente del Jurado dio por iniciado el Acto de Sustentación, luego de concluida la exposición, los miembros del Jurado procedieron a la formulación de preguntas y posterior deliberación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la aprobación por unanimidad, con el calificativo de dieciséis (16); por tanto, la Bachiller queda expedita para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**.

A las trece horas y veinte minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.

Ing. M. Sc. Fanny Lucila Rimarachín Chávez

PRÉSIDENTE

Ing. Mtr. Max Edwin Sangay Terrones

SECRETARIO

Dr. José Gerardo Salhuana Granados

VOCAL

DEDICATORIA

A nuestro Padre Celestial, por el amor infinito que me regala cada día.

A mí estimada familia, por su compañía, afecto y comprensión permanente.

A mis amigos y amigas, por apoyarme en los momentos difíciles y por su contagiante alegría que hacen que mi vida sea más fácil.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de Cajamarca, la cual me albergó durante mi periodo de formación académica.

A los docentes y personal administrativo de esta universidad, quienes me brindaron no solo conocimientos, sino también apoyo emocional y logístico para el desarrollo de esta investigación, en especial a los ingenieros José Gerardo Salhuana Granados, David Ricardo Uriol Valverde, Victor Vásquez Arce y Jorge Alcántara Mendoza.

A mis compañeros y compañeras por las muestras de afecto y por compartir sus conocimientos y experiencias en torno a la temática de esta tesis.

Al ingeniero Vidal Mendoza Cabellos y los agricultores, quiénes se esforzaron en cultivar el camote morado CIP 441700 (*Ipomoea batatas*) e hicieron llegar esta materia prima hasta Cajamarca.

A todos ustedes mi mayor reconocimiento y gratitud.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE ANEXOS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Problema de investigación.....	2
1.2 Formulación del problema.....	2
1.3 Objetivos de la investigación.....	3
1.4 Hipótesis de investigación.....	3
CAPÍTULO II	4
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 Antecedentes de investigación.....	4
2.2 Bases teóricas	5
A. Camote morado.....	5
B. Cosecha y post-cosecha del camote (<i>Ipomoea batatas</i>).....	9
C. Antocianinas.....	11
C.1 Estructura	11
C.2 Factores que influyen en la estabilidad de las antocianinas	12
C.3 Factores que influyen en la extracción de las antocianinas.....	15
C.4 Métodos de extracción de antocianinas.....	16
C.5 Insumos químicos empleados en los disolventes	18
C.6 Envasado y almacenamiento de los extractos de antocianinas.....	20
C.7 Aplicación de los extractos de antocianinas.....	20
2.3 Definición de términos básicos.....	22

CAPITULO III	25
MARCO METODOLÓGICO	25
3.1 Lugar de ejecución de la investigación.....	25
3.2 Materiales	25
3.3 Métodos	27
A. Tipo de investigación.....	27
B. Variables.....	27
C. Diseño experimental.....	28
D. Técnicas de procesamiento de análisis de datos.....	31
E. Trabajo de laboratorio.....	31
F. Trabajo de gabinete.....	42
CAPITULO IV	43
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
4.1 Pesos promedio de los camotes morados CIP 441700 (<i>Ipomoea batatas</i>) seleccionados.....	43
4.2 Pesos promedio de los productos obtenidos del acondicionamiento de los camotes morados CIP 441700 (<i>Ipomoea batatas</i>) seleccionados.....	44
4.3 Volumen promedio de los extractos de camote morado CIP 441700 (<i>Ipomoea batatas</i>) obtenidos.....	46
4.4 Cantidades promedio de las antocianinas extraídas del camote morado CIP 441700 (<i>Ipomoea batatas</i>).....	47
4.4.1 Prueba Shapiro-Wilk (W_c).....	50
4.4.2 Prueba Bartlett.....	50
4.4.3 Análisis de varianza (ANOVA).....	51
4.4.4 Prueba de comparación de medias (Tukey).....	52
4.5 Contrastación de las hipótesis de investigación.....	57
CAPÍTULO V	58
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	58
5.1 CONCLUSIONES.....	58
5.2 RECOMENDACIONES	58
CAPÍTULO VI	60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
CAPÍTULO VII	69
ANEXOS	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Valores de análisis proximal del camote morado CIP 441700 (<i>Ipomoea batatas</i>).....	8
Tabla 2 Composición mineral en el camote morado (<i>Ipomoea batatas</i>) (base seca)	9
Tabla 3 Principales radicales sustituyentes de las antocianinas.....	12
Tabla 4 Características generales del agua destilada.....	19
Tabla 5 Características generales del etanol.....	19
Tabla 6 Características generales del ácido cítrico.....	20
Tabla 7 Croquis de campo.....	28
Tabla 8 Análisis del rendimiento de antocianinas totales en el camote morado CIP 441700 (<i>Ipomoea batatas</i>).....	30
Tabla 9 Peso promedio de los camotes morados CIP 441700 (<i>Ipomoea batatas</i>) seleccionados, según el tratamiento al que fueron destinados.....	43
Tabla 10 Peso promedio de las láminas frescas y deshidratadas de los camotes morados CIP 441700 (<i>Ipomoea batatas</i>) seleccionados, según el tratamiento al que fueron destinados.....	44
Tabla 11 Peso promedio de las muestras molidas y tamizadas de los camotes morados CIP 441700 (<i>Ipomoea batatas</i>) seleccionados, según el tratamiento al que fueron destinados.....	45
Tabla 12 Volumen promedio de los extractos de camote morado CIP 441700 (<i>Ipomoea batatas</i>) según el tratamiento empleado.....	46
Tabla 13 Medidas de absorbancia y cantidad de antocianinas totales en los extractos de camote morado CIP 441700 (<i>Ipomoea batatas</i>) empleando tres disolventes.....	48
Tabla 14 Resultados promedio de la cantidad de antocianinas extraídas de camote morado CIP 441700 (<i>Ipomoea batatas</i>) expresado en diferentes unidades, bajo el efecto de tres disolventes.....	49

Tabla 15	Prueba de normalidad para los tres disolventes utilizados en la extracción de antocianinas en camote morado CIP 441700 (<i>Ipomoea batatas</i>) en. mg L ⁻¹ y rendimiento (%).....	50
Tabla 16	Prueba de homogeneidad de varianzas para los tres disolventes utilizados en la extracción de antocianinas en camote morado CIP 441700 (<i>Ipomoea batatas</i>) en. mg L ⁻¹ y rendimiento (%).....	50
Tabla 17	Análisis de varianza (ANOVA) para los tres disolventes utilizados en la extracción de antocianinas en camote morado CIP 441700 (<i>Ipomoea batatas</i>) en mg L ⁻¹ y rendimiento (%).....	51
Tabla 18	Prueba de comparación de medias (Tukey) del contenido de antocianinas en camote morado CIP 441700 (<i>Ipomoea batatas</i>) expresado en mg L ⁻¹ , rendimiento (%), bajo el efecto de tres disolventes.	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Parte interna de la raíz reservante (camote morado CIP 441700, <i>Ipomoea batatas</i>). ..	6
Figura 2	Cromaticidad.....	7
Figura 3	Colorimetría del corte transversal del camote morado CIP 441700 (<i>Ipomoea batatas</i>)	7
Figura 4	Estructura de la antocianidina.....	12
Figura 5	Mapa de ubicación del lugar de ejecución de la investigación.....	25
Figura 6	Operaciones de acondicionamiento del camote morado CIP 441700 (<i>Ipomoea batatas</i>)	32
Figura 7	Operaciones de extracción y purificación de antocianinas en las muestras de camote morado CIP 441700 (<i>Ipomoea batatas</i>)	33
Figura 8	Operaciones finales de tratamiento a los extractos de antocianinas de camote morado CIP 441700 (<i>Ipomoea batatas</i>) hasta el almacenamiento.....	34
Figura 9	Operaciones para la determinación de antocianinas totales.	41
Figura 10	Rendimiento (%) de extracción de antocianinas en el camote morado CIP 441700 (<i>Ipomoea batatas</i>) bajo el efecto de tres disolventes.	53

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Cálculo del rendimiento de extracción de antocianinas y de la cantidad de antocianinas en relación a la materia vegetal empleada.....	69
Anexo 2 Resultados promedio de la cantidad de antocianinas extraídas de camote morado CIP 441700 (<i>Ipomoea batatas</i>) expresado en mg g ⁻¹ y mg 100g ⁻¹ , bajo el efecto de tres disolventes.....	71
Anexo 3 Contenido de antocianinas en los extractos de camote morado CIP 441700 (<i>Ipomoea batatas</i>) empleando tres disolventes y expresados en diferentes unidades.....	72
Anexo 4 Características físico-químicas del camote morado CIP 441700 (<i>Ipomoea batatas</i>).....	72
Anexo 5 Colorimetría del corte transversal del camote morado CIP 441700 (<i>Ipomoea batatas</i>).....	73
Anexo 6 pH de los disolventes y del alcohol al 96%	73
Anexo 7 Temperatura (°C) de ebullición según los disolventes empleados	74
Anexo 8 Preparación de algunos disolventes.....	75
Anexo 9 Operación y calibración de pH metro.....	76
Anexo 10 Insumos químicos usados en los buffers del método pH diferencial.....	77
Anexo 11 Preparación de las soluciones amortiguadoras para el método pH diferencial.....	78
Anexo 12 Manejo del espectrofotómetro modelo HALO DB-20 UV-VIS.....	79
Anexo 13 Informe del análisis proximal del camote morado CIP 441700 (<i>Ipomoea batatas</i>)....	80
Anexo 14 Matriz de consistencia	81
Anexo 15 Fotos	82

RESUMEN

Esta investigación se realizó en los laboratorios de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias, su objetivo fue determinar el extracto y su rendimiento de antocianinas en el camote morado CIP 441700 (*Ipomoea batatas*) utilizando tres disolventes de extracción. El diseño de esta investigación tuvo un factor (tipo de disolvente) y tres niveles (agua destilada, etanol al 20%, etanol al 20% acidificado con ácido cítrico al 1%). El experimento se realizó bajo condiciones homogéneas de relación sólido/líquido (1/25), tiempo de extracción (60 minutos) y temperatura de extracción (60°C). La extracción se realizó por lixiviación, se efectuó la filtración y concentración al vacío. Se midieron los volúmenes de los extractos y las concentraciones de antocianinas totales presentes en ellos por el método espectrofotométrico del pH diferencial. En la evaluación de los supuestos estadísticos se usaron las pruebas: Shapiro Wilk (hay normalidad), Bartlett (existe homogeneidad de varianzas), ANOVA unifactorial (se aceptó la H_A), Tukey (confirmó el extracto con mayor concentración de antocianinas). Los volúmenes promedio finales de los extractos fueron 39.0 ml (agua destilada), 33.9 ml (etanol al 20%), 35.5 ml (etanol al 20% acidificado con ácido cítrico al 1%). Las concentraciones promedio de antocianinas totales en los extractos alcanzaron: 4.982 mg L⁻¹ (agua destilada), 13.380 mg L⁻¹ (etanol al 20%), 22.891 mg L⁻¹ (etanol al 20% acidificado con ácido cítrico al 1%). Los rendimientos promedio de antocianinas totales en los extractos fueron: 0.012% (agua destilada), 0.033% (etanol al 20%), 0.057% (etanol al 20% acidificado con ácido cítrico al 1%)

Palabras clave: Camote morado, disolventes, extracto de antocianina, rendimiento.

ABSTRACT

This research was carried out in the laboratories of the Professional Academic School of Engineering in Food Industries. Its objective was to determine the extract and its yield of anthocyanins in purple sweet potato CIP 441700 (*Ipomoea batatas*) using three extraction solvents. The design of this investigation had one factor (type of solvent) and three levels (distilled water, 20% ethanol, 20% ethanol acidified with 1% citric acid). The experiment was carried out under homogeneous conditions of solid/liquid ratio (1/25), extraction time (60 minutes) and extraction temperature (60°C). The extraction was carried out by leaching, filtration and concentration under vacuum. The volumes of the extracts and the concentrations of total anthocyanins present in them were measured by the differential pH spectrophotometric method. In the evaluation of the statistical assumptions, these tests were used: Shapiro Wilk (there is normality), Bartlett (there is homogeneity of variances), unifactorial ANOVA (H_A was accepted), Tukey (confirmed the extract with the highest concentration of anthocyanins). The final average volumes of the extracts were 39.0 ml (distilled water), 33.9 ml (20% ethanol), 35.5 ml (20% ethanol acidified with 1% citric acid). The average concentrations of total anthocyanins in the extracts reached: 4,982 mg L⁻¹ (distilled water), 13,380 mg L⁻¹ (20% ethanol), 22,891 mg L⁻¹ (20% ethanol acidified with 1% citric acid). The average yields of total anthocyanins in the extracts were: 0.012% (distilled water), 0.033% (20% ethanol), 0.057% (20% ethanol acidified with 1% citric acid)

Keywords: Purple sweet potato, solvents, anthocyanins extracts, yields.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El camote (*Ipomoea batatas* Lam) es una planta tropical que se siembra en la costa, sierra y selva del Perú, acepta las temperaturas medias y tolera las altas, se produce desde el nivel del mar hasta en los valles interandinos (Molina, 1994). Cajamarca cuenta con valles interandinos donde el cultivo del camote morado CIP 441700 se podría adaptar.

Las antocianinas son pigmentos que le dan el color característico al camote CIP 441700. El color es un atributo organoléptico importante que influye en la percepción y aceptación del consumidor para elegir un alimento, está relacionado con otras características organolépticas y con la calidad del producto, actualmente los consumidores son más exigentes, piden ingredientes naturales con propiedades nutraceuticas.

La estructura de las antocianinas determina una mayor estabilidad frente a cambios de pH, temperatura y exposición a la luz, por los procesos de copigmentación y asociación intermolecular e intramolecular que se desarrollan en el medio (Martínez et al., 2002). A su vez la extracción de antocianinas puede estar influenciada por el tamaño de la partícula, el tiempo de extracción, el tipo de disolvente que se use y el equilibrio entre el soluto y disolvente (Salas y Tovalino, 2018).

La presente investigación está dirigida a determinar el extracto con mayor rendimiento de antocianinas en el camote morado CIP 441700 "*Ipomoea batatas*" utilizando tres disolventes diferentes de extracción, dada la importancia de extraer las antocianinas en las mejores condiciones para mantener sus propiedades terapéuticas, que permitirán usarlas dentro de productos alimenticios y bebidas como colorantes, alimentos funcionales o suplementos alimenticios.

1.1 Problema de investigación

El camote (*Ipomoea batatas*) es una raíz tuberosa originaria de América, su cultivo se ha extendido a diversas regiones del mundo, donde el clima ha permitido su adaptación agronómica (Cobeña et al., 2017). El color de la piel y pulpa del camote morado CIP 441700 (*Ipomoea batatas*) está asociado a la presencia de antocianinas.

Las antocianinas son pigmentos vegetales responsables de una amplia gama de colores que abarcan desde el rojo hasta el azul. Actualmente existe una demanda considerable de colorantes naturales alternativos a los sintéticos, debido a sus posibles efectos terapéuticos, como la reducción de la enfermedad coronaria, los efectos anticancerígenos, antitumorales, antiinflamatorios y antidiabéticos, el mejoramiento de la agudeza visual y el comportamiento cognitivo (Garzón, 2008).

La extracción sólido-líquido es una operación ampliamente utilizada para extraer compuestos biológicos de interés de diversas matrices alimentarias. El carácter polar de la molécula de antocianina permite su solubilidad en variados disolventes, tales como alcoholes, acetona, agua, etc. Las condiciones de extracción, tales como relación sólido-líquido, temperatura, tiempo, tipo de disolvente y concentración de disolvente influyen en la concentración de antocianinas extraídas (Bridgers et al., 2010).

En este sentido existe la necesidad de identificar el método de extracción que nos brinde el mayor rendimiento de antocianinas en la materia prima, para disminuir las pérdidas de los componentes bio-activos y con ello de recursos económicos.

1.2 Formulación del problema

¿Cuál es el extracto con mayor rendimiento de antocianinas a partir del camote morado CIP 441700 (*Ipomoea batatas*) utilizando tres disolventes?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general:

- Determinar el extracto y su rendimiento de antocianinas a partir del camote morado CIP 441700 (*Ipomoea batatas*) utilizando tres disolventes de extracción.

1.3.2 Objetivos específicos:

- Identificar los volúmenes de los extractos de antocianinas del camote morado CIP 441700 (*Ipomoea batatas*) por cada uno de los disolventes de extracción.
- Medir la concentración de antocianinas totales presentes en el extracto conseguido por cada uno de los disolventes utilizados.
- Determinar el rendimiento de antocianinas totales en el extracto conseguido por cada uno de los disolventes empleados.

1.4 Hipótesis de investigación

H₀: El extracto obtenido con uno de los disolventes no es el de mayor rendimiento de antocianinas en el camote morado CIP 441700 (*Ipomoea batatas*).

H_A: El extracto obtenido con uno de los disolventes es el de mayor rendimiento de antocianinas en el camote morado CIP 441700 (*Ipomoea batatas*).

CAPÍTULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Antecedentes de investigación

Saavedra (2023), evaluó el contenido de antocianinas en la cáscara de camote morado (*Ipomoea batatas* L.) en Piura (Perú). Se tomaron 100 gramos de la cáscara de camote morado después se añadieron 200 ml de etanol a 85 ° G.L. (acidificado al 0.2% con ácido cítrico), se licuó por 2 minutos por 2 veces, el tratamiento fue llevado a baño María por 60°C por 1 hora, a continuación, se realizó el filtrado y la concentración del tratamiento hasta llegar al 50% del volumen inicial (80°C por 18 horas), luego se realizó la lectura en 3 repeticiones obteniéndose un promedio de 55.32 mg L⁻¹, el pH del extracto fue 3.5.

La investigación de Castañeda y Vásquez (2017) buscó determinar el contenido de antocianinas totales del camote morado (*Ipomoea batatas* L.) provenientes de Virú y Chiclayo. Para lo cual se dividieron las raíces y se colocaron en matraces, luego se añadió el disolvente conformado por etanol, ácido acético y agua desionizada (10:1:9), se movió con la ayuda de un agitador magnético durante una hora, luego fueron filtrados. Durante la preparación de las muestras para la lectura se usó el buffer Mcilvaine, luego se hizo la lectura con el espectrofotómetro (535 nm). La concentración promedio de antocianinas totales del camote morado proveniente de Chiclayo fue 18.918 mg L⁻¹ y el de Virú fue 19.485 mg L⁻¹.

Según el estudio de Martínez (2015) el camote morado fue obtenido del Tambo (Ayacucho), la humedad de la muestra (epidermis) fue 75.56%. En la extracción de antocianinas se tomaron 20.47 g de muestra húmeda (5 g de muestra en base seca) acompañado de 200 ml de solución etanólica al 80% volumen, acidificado con HCl (pH 2.0) a temperatura de ebullición por 7 a 8 minutos, luego se obtuvo el primer filtrado, la torta residual fue re-extraída con 200 ml de solución etanólica a la misma temperatura y tiempo, después se consiguió el segundo y último filtrado, los 100 ml restantes de solución etanólica fueron usados para los enjuagues y facilitar la filtración. Los extractos obtenidos fueron combinados y llevados a 500 ml. En la determinación de la concentración de antocianinas se usó el método pH diferencial, alcanzando 9.75 mg L⁻¹, el cual expresado en base seca fue: 0.975 mg g⁻¹ y 0.098 % p/p.

De acuerdo a Chávez (2014), el camote fue adquirido en Trujillo (La Libertad), luego se analizó el efecto de tres temperaturas de secado por convección (45, 55 y 65°C) sobre el porcentaje de retención de antocianinas en la harina de camote *Ipomoea batatas* L. variedad morado. Encontrando que hay diferencias en las medias de antocianinas entre las muestras analizadas y que en las muestras deshidratadas a 45°C existe una mayor retención de antocianinas (30.476 mg cianidina-3-glucósido 100g⁻¹) que en las deshidratadas a 55°C (13.833 mg cianidina 3-glucósido 100g⁻¹) y a 65°C (6.394 mg cianidina-3-glucósido 100g⁻¹).

2.2 Bases teóricas

A. Camote morado

Generalidades:

La clasificación taxonómica del camote (Quinatoa, 2009), es la siguiente:

Reino: *Plantae*

Sub reino: *Tracheobionta*

División: *Magnoliophyta*

Clase: *Magnoliopsida*

Subclase: *Asteridae*

Orden: *Solanales*

Familia: *Convolvulaceae*

Género: *Ipomoea*

Subgénero: *Quamoclit*

Especie: *batatas*

Nombre científico: *Ipomoea batatas* (L.) Lam.

La familia Convolvulaceae, tiene alrededor de 600 especies, distribuidas en los trópicos y subtropicos de todo el mundo, *Ipomoea batatas*, es una de las ocho especies de la sección batatas nativas, se encuentran desde México hasta el centro de América del Sur (Linares, 2008).

El camote morado (código CIP 441700), tiene follaje denso y disperso, con tallos principales de 202 cm de longitud, lo que le permite tener una cobertura de suelo de más del 90%, las hojas son medianas (8 a 15 cm de longitud), con cinco lóbulos (tipo semi-

elíptico). El color de la hoja madura es verde, mientras que la inmadura es verde con borde morado. La distribución de la raíz reservante en el tallo es en forma de racimo abierto. Los rendimientos promedios de las raíces por hectárea son de 15 571 kilos (Cobeña et al., 2017).

Características morfológicas de la raíz:

En la raíz tuberosa, se distingue un pedúnculo proximal (que se une al tallo), una parte dilatada central o tuberizada y el extremo distal o “cola” (Folquer, 1978). La raíz del camote CIP 441700 tiene forma elíptica, el color predominante de la piel (superficie) es morado oscuro, en la corteza y pulpa está acentuado el color morado. En la figura 1 se aprecia un corte transversal de la raíz reservante que muestra el periderma o piel, la corteza (parénquima cortical), el anillo en el cual se encuentran la mayoría de los vasos de látex y el parénquima central (Huamán, 1992).

Figura 1

Parte interna de la raíz reservante (camote morado CIP 441700, Ipomoea batatas).



Fuente: Adaptado de Huamán (1992).

Las gotas de látex se producen al cortar las raíces reservantes las que se oscurecen rápidamente debido a la oxidación (Huamán, 1992).

Colorimetría del camote morado CIP 441700 (corte transversal):

Según Gonzales (2011), el color de un alimento en el sistema CIELAB se describe en base a los siguientes atributos:

L* es la claridad de un color. A mayor valor más claro y a menor valor más oscuro.

a^* puede variar de verde ($-a^*$) a rojo ($+a^*$).

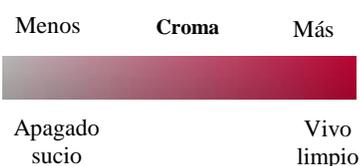
b^* puede variar de azul ($-b^*$) a amarillo ($+b^*$).

h^* es el ángulo de tonalidad o ángulo de la matriz, que comienza en el eje $+a^*$ y es expresado en grados (a 0° es rojo).

C^* indica el croma o el grado de saturación, define lo vivo o apagado de un color o lo cerca que está el color del gris o del matiz puro, como se observa en la figura 2.

Figura 2

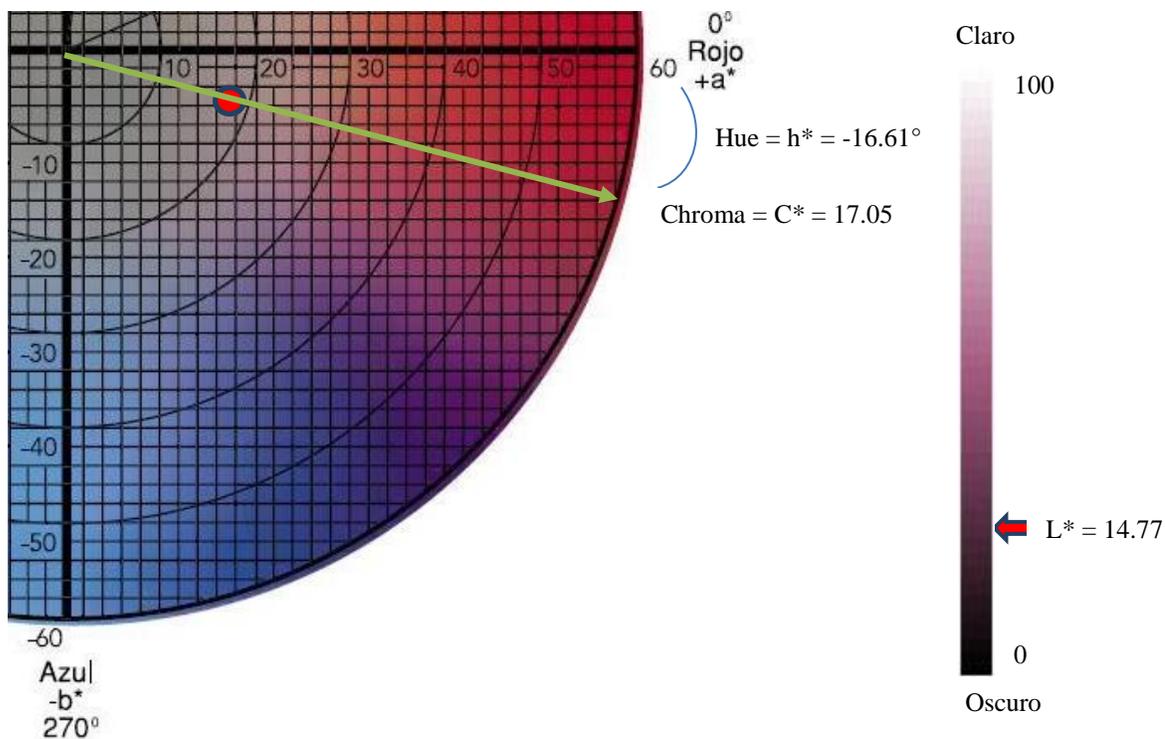
Cromaticidad.



Fuente: Adaptado de Gonzales (2011).

Figura 3

Colorimetría del corte transversal del camote morado CIP 441700 (Ipomoea batatas).



Fuente: Adaptado de Gonzales (2011).

En la figura 3 se observan los parámetros de color, las mediciones se realizaron en transmisión bajo un iluminante D65 (10 seg), donde la coordenada de cromaticidad a* tuvo un valor de 16.34 y la b* -4.83, la luminosidad (L*) presentó un valor de 14.77, el ángulo de tono (Hue) fue de -16.61 grados y el croma presentó un valor de 17.05 (anexo 5). Una vez obtenido los valores se puede aseverar que la pulpa del camote CIP 441700 es púrpura levemente rojiza, sutilmente oscuro y tenuemente apagado.

Contenido nutricional del camote (*Ipomoea batatas*):

Existen diferencias en la composición química del camote según la variedad, estado de maduración, condiciones del clima, suelo, época en la que se produce, los periodos y condiciones de conservación en depósito (Cobeña et al., 2017). El camote es rico en carbohidratos, proteínas, lípidos, fibra, agua, vitaminas y minerales, también es muy rico en compuestos bioactivos como fenoles, pigmentos como antocianinas y beta carotenos. El camote morado contiene un alto nivel de antocianinas comparándolo con el de otros colores (blanco, amarillo, naranja) (Bastidas y De La Cruz, 2010).

En la tabla 1 se muestra la composición química del camote morado CIP 441700, obtenido por el método de la “Asociación Oficial de Química Analítica 1997”

Tabla 1

Valores de análisis proximal del camote morado CIP 441700 (Ipomoea batatas)

Parámetro	Unidad	Valor
Humedad	%	69.11
Materia seca	%	30.89
Proteína bruta	%	2.14
Grasa bruta (extracto etéreo)	%	0.32
Fibra cruda	%	3.59
Cenizas (minerales totales)	%	2.07
Extracto libre de nitrógeno (CHO)*	%	91.87
Energía bruta	Kcal/100g	411.31

Nota: * Carbohidratos digeribles en base seca

Fuente: Laboratorio de análisis y control de alimentos – Universidad Nacional de Cajamarca (2019).

Después de la cocción el sabor dulce del camote es dado por la degradación del almidón a azúcares simples como sacarosa, siendo este el mayor componente, seguido de la fructosa y glucosa. Entre los carbohidratos indigeribles por los humanos, se encuentra la celulosa y hemicelulosa, que funcionan como fibra acelerando el tránsito intestinal (Martí et al., 2011).

En la tabla 2 se muestran la composición mineral en el camote morado CIP 441700 realizado en el Laboratorio de Nutrición y Calidad de la Estación Experimental Portoviejo en Ecuador.

Tabla 2

Composición mineral en el camote morado CIP 441700 (Ipomoea batatas) (base seca)

Mineral	Unidad	Valor
Calcio	%	0,08
Fósforo	%	0,02
Magnesio	%	0,05
Potasio	%	1,87
Sodio	%	0,06
Cobre	ppm	5
Hierro	ppm	87
Manganeso	ppm	14
Zinc	ppm	194

Fuente: Estación Experimental Portoviejo (2011).

B. Cosecha y post-cosecha del camote (*Ipomoea batatas*).

La cosecha se realiza entre los 100 y 150 días después de la siembra, esto depende de la época del año, zona, altura sobre nivel del mar, riego, manejo, etc. Se efectúa previo muestreo y cuando la mayoría de sus raíces tienen tamaño comercial (Cobeña et al., 2017).

La primera operación de la cosecha es cortar todo el follaje, luego retirarlo del campo. Un día antes de la cosecha se arrancan las guías para que no entorpezca la

cosecha. Si no se tiene el tractor o su cuchilla de cosecha, se usa la lampa, pico o pala, pero hacerlo con cuidado para evitar el daño mecánico a los camotes (Cobeña et al., 2017).

Una vez extraídos los camotes, dejarlos expuestos al sol por 24 horas para soltar la tierra adherida. En campo se realiza una clasificación de raíces comerciales y no comerciales y se colectan por separado, se descartan las raíces podridas, con plagas, daños mecánicos, verdeados y con mal formaciones (Cobeña et al., 2017). Luego, se colocan los camotes en canastas plásticas y se las transportan al área de empaque para su lavado. Si usamos sacos, la extensión de la superficie pelada puede ser mayor, causando grandes mermas (Lardizábal, 2003).

Durante el lavado, las canastas se meten en el tanque con agua para aflojar la tierra que venga pegada en el camote. Luego se procede a limpiar el camote con una esponja suave o con la mano, frotando solo lo suficiente para desprender la tierra y así evitar pelar el camote. El camote se debe lavar con agua potable corriente, después se lo coloca en estantes, clasificándolos por tamaño (Lardizábal, 2003), así tenemos:

- Grande: mayor a 600 gramos
- Mediano: 450 a 600 gramos
- Pequeño: menor a 450 gramos

Especificaciones de calidad:

- Lisas y firmes
- Color de piel uniforme y típica de la variedad
- Sin daños físicos (golpes)
- Sin daños por hongos

Una vez clasificados hay que esperar que el producto se seque antes de empezar a empacarlo, para evitar problemas de pudrición. El tiempo de espera va a depender de la temperatura y humedad relativa. Esto va a variar entre 30 minutos a 4 horas. Al momento de empacar se vuelve a clasificar, el empaque se realiza en cajas de 50 cm x 40 cm x 23 cm sin parafinar, con un peso neto de 10 kilogramos por caja (Lardizábal, 2003).

Curado es el proceso que tiene el propósito de suberizar (lignificar la cutícula del camote) y cicatrizar heridas. Para la suberización ubicar las raíces tuberosas a humedad relativa de 80-90% y a una temperatura entre 25 y 35 °C por 5 a 7 días, el curado no es más que darle un poco de tiempo al camote para que vuelva a formar la piel que fue pelada. Tener en mente que la piel que se forma no es morada, sino crema o café (Cobeña et al., 2017).

Las zonas con humedad relativa baja pueden ocasionar que los camotes pierdan humedad. En zonas con alta humedad ambiental, unida a la humedad que liberan los camotes, pueden saturar el aire alrededor de las raíces, lo cual causaría su pudrición (Lardizábal, 2003).

C. Antocianinas

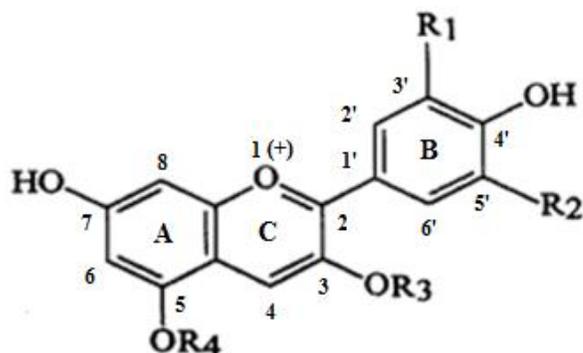
C.1 Estructura:

Las antocianinas son compuestos orgánicos que se encuentran en los vegetales, pertenecen a la familia de los flavonoides. Químicamente son glucósidos de las antocianidinas, es decir están formadas por una molécula de antocianidina (aglicona) a la que se une un azúcar por medio de un enlace β glucosídico; por lo general están glucosidados en la posición 3 y 5 (Badui, 2006).

En la figura 4 se muestra que la estructura química básica de la antocianidina es el ión flavilo también llamado 2-fenil-benzopirilio (Fennema, citado por Altamirano, 2018), constituido por un grupo benzopirilio (A), unido a un anillo heterocíclico (C) que contiene oxígeno, el cual está unido por un enlace carbono – carbono a un tercer anillo fenólico (B), el flavilo normalmente funciona como un catión (Manzano, 2016).

Figura 4

Estructura de la antocianidina



Fuente: Fennema (2000).

En la tabla 3 se aprecian las variaciones estructurales del anillo B, que producen las seis antocianidinas conocidas.

Tabla 3

Principales radicales sustituyentes de las antocianinas

Aglicona	Sustitución	
	R ₁	R ₂
Petunidina	OCH ₃	OH
Malvidina	OCH ₃	OCH ₃
Pelargonidina	H	H
Delfinidina	OH	OH
Cianidina	OH	H
Peonidina	OCH ₃	H

Fuente: Garzón (2008).

C.2 Factores que influyen en la estabilidad de las antocianinas

1. pH:

El color de las antocianinas se ve influenciado directamente por el pH en el que éstas se encuentran. A valores de pH ácidos, en el rango de 1.0 a 3.0, el pigmento se encuentra en forma de sal flavilio, que se caracteriza por su

coloración roja. Al experimentar un cambio de pH en el rango de 4.0 a 5.0 se produce una decoloración causada por la transformación de la sal flavilio a la base carbinol, que posee una menor coloración. A pH comprendido entre 7.0 y 8.0, se vuelve a ionizar la anhidrobase, resultando en un color azul. Luego de este pH, el color cambia ligeramente a amarillo, producido por la formación de la chalcona vía fisión del anillo de la anhidrobase (Hrazdina, 1974).

2. Temperatura:

Las conversiones estructurales de las antocianinas son reacciones endotérmicas. Toleran bien procesos térmicos a altas temperaturas durante cortos periodos de tiempo. Por efecto del calor (a temperaturas por encima de los 60°C) se degradan según una cinética de primer orden. En general las características estructurales que llevan a una mayor estabilidad al pH son las mismas que conducen a una mayor estabilidad térmica. Por lo tanto, las antocianinas altamente hidroxiladas son menos estables térmicamente que las metiladas, glicosidadas o acetiladas (Fennema, 2000) Incrementos de temperatura provocan pérdidas del azúcar glicosilante en la posición 3 de la molécula y apertura de anillo, con la consecuente producción de chalconas incoloras (Garzón, 2008).

En general, los estudios muestran que las temperaturas más elevadas provocan un efecto adverso sobre la estructura de las antocianinas, especialmente durante un tratamiento térmico o en el almacenamiento, sin embargo, los valores más altos de antocianinas extraídas de un determinado producto fueron a temperaturas altas (Martínez, 2015).

Probablemente este último efecto se deba a la mayor transferencia de antocianinas desde la matriz que lo contiene hacia el seno de la disolución extractiva. Por lo tanto, en el proceso de extracción de antocianinas de un determinado producto habría que buscar una temperatura de compromiso que favoreciera el proceso de extracción, pero no perjudicara a la calidad del extracto (Zapata, 2014).

3. Oxígeno:

Las antocianinas pueden oxidarse por reacción directa con el oxígeno o a través de una oxidación indirecta en la que éstas reaccionan con compuestos que han sido previamente oxidados, formando productos de color marrón o incoloro. También pueden reaccionar con radicales de oxígeno actuando como antioxidantes. Estos mecanismos de oxidación se ven favorecidos cuando se eleva la temperatura (Rein, 2005).

4. Luz:

El efecto que tiene la exposición a la luz de los pigmentos antociánicos aún no está bien estudiada. La cianidina expuesta en medio ácido a la luz difusa decrece su concentración en 10% en 6 horas y en la luz directa del sol, la pérdida es del 95% (Medina, 2012).

5. Azúcares:

Los azúcares a altas concentraciones, como en las conservas de frutas, estabilizan las antocianinas. Este efecto puede ser debido a la disminución de la actividad del agua. Cuando la cantidad de azúcar es lo suficientemente baja como para tener poco efecto sobre la actividad del agua (A_w), ellos o sus productos de degradación pueden acelerar la degradación de las antocianinas (Fennema, 1993).

6. Enzimas:

Se han identificado dos grupos de enzimas implicadas en la decoloración de las antocianinas: glicosidasa y polifenoloxidasa, en conjunto se les conoce como antocianasas. Las glicosidasas hidrolizan los enlaces glucosídicos, dando el azúcar o azúcares y la aglicona. La pérdida de intensidad de color se debe al descenso de la solubilidad de las antocianidinas y su transformación en productos incoloros. Las polifenoloxidasas actúan en presencia de o-difenol a o-benzoquinona, que a su vez reacciona con las antocianinas por un mecanismo no enzimático para formar antocianinas oxidadas y productos de degradación (Fennema, 2000).

C.3 Factores que influyen en la extracción de las antocianinas

a. Tamaño de la partícula:

La reducción del tamaño de la partícula facilita la extracción del constituyente deseado, presente en una estructura compuesta (Brennan, 1996). Así para obtener una buena difusión del soluto en el solvente es necesario determinar el grado de fineza del producto (Salas y Tovalino, 2018).

Cuanto más pequeñas sean las partículas mucha mayor es el área interfacial entre el sólido y el líquido, sin embargo, cuando el material es demasiado fino ofrece dificultades en la extracción ya que en algunos casos impide la libre circulación del líquido, la separación de las partículas del líquido y el drenaje del sólido residual se hace más difícil y en algunos casos la ruptura de las células deja en libertad materiales indeseables (Salas y Tovalino, 2018).

b. Tiempo de extracción o difusión:

Generalmente se da el tiempo suficiente como para lograr un buen contacto del sólido con el solvente (Salas y Tovalino, 2018).

c. Equilibrio entre el soluto y el disolvente:

Es necesario hallar una relación adecuada entre el disolvente y la materia prima a ser extraída. Una proporción alta da lugar a extractos demasiado diluidos y si es muy baja no habrá buena difusión. El equilibrio se alcanza cuando el soluto se disuelve totalmente y la concentración de la disolución formada es uniforme (Salas y Tovalino, 2018).

d. Calidad del solvente:

Un buen solvente debe ser selectivo y su viscosidad suficientemente baja para que pueda circular libremente. La concentración de soluto se incrementa y la relación de extracción disminuye progresivamente, debido a que la gradiente de concentración se va reduciendo y porque la solución se hace más viscosa, existen diferentes solventes para la extracción de antocianinas, así tenemos: acetona, iso-

propanolol, metanol, etanol, los dos últimos son superiores al resto de los solventes mencionados. El agua es conveniente pero menos efectiva (Chiriboga y Francis, 1973).

Las antocianinas son estables a pH ácidos, es necesario incluir ácidos orgánicos e inorgánicos, se ha demostrado que el HCl y el ácido sulfúrico estabilizan los pigmentos (Fuleki y Francis, 1968), el ácido cítrico es menos corrosivo que el HCl y los quelatos metálicos del ácido cítrico pueden tener un efecto protector durante el secado por atomización (Main, 1978).

C.4 Métodos de extracción de antocianinas

a. Extracción sólido-líquido o lixiviación:

Es una operación de transferencia de masa, por lo que es indispensable que haya un contacto íntimo entre el disolvente y el soluto, contenido en el sólido. La lixiviación consiste en la extracción selectiva de uno o varios solutos que se hallan en la matriz sólida mediante un disolvente apropiado o mezcla de éstos (Marín y Mejía, 2012).

Muchos productos orgánicos naturales se separan de sus estructuras originales mediante lixiviación. Así tenemos que el azúcar se separa de la remolacha con agua caliente; los aceites vegetales se recuperan a partir de semillas (soya, algodón) mediante disolventes orgánicos; el té y el café (instantáneos) se preparan por técnicas y equipo muy similares a los utilizados en las verdaderas operaciones de lixiviación; también se obtienen colorantes y aceites esenciales de materias vegetales con algunos disolventes (Marín y Mejía, 2012).

En la extracción de antocianinas de la materia prima se usan disolventes como: agua destilada, acetona, iso-propanolol, metanol, etanol; algunos investigadores suelen agregarle ácidos orgánicos o inorgánicos (HCl, ácido sulfúrico, ácido cítrico, ácido acético) (Delgado et al., 2000).

a.1 Extracción sólido-líquido discontinua

La separación de una mezcla de compuestos sólidos se puede llevar a cabo aprovechando sus diferencias de solubilidad en un determinado disolvente. En el caso favorable de una mezcla de sólidos, en la cual uno de los compuestos es soluble en un determinado disolvente, mientras que los otros son insolubles, podemos hacer una extracción consistente en añadir este disolvente a la mezcla contenida en un vaso de precipitados, un matraz o una cápsula de porcelana, en frío o en caliente, agitar, triturar y macerar de ser necesario (Marín y Mejía, 2012).

Finalmente separar por filtración la disolución que contiene el producto extraído y la fracción insoluble que contiene las impurezas (Marín y Mejía, 2012).

a.1.1 Por maceración:

Se somete únicamente a la disolución del soluto en un disolvente, dejando reposar hasta que el disolvente penetre en la estructura celular, ablande y disuelva las porciones solubles, controlando convenientemente la temperatura y la duración del proceso. Se recomienda que la maceración se realice entre los 15 y 20° C (Martin et al., 1965). Si el tiempo de maceración es prolongado debe usarse conservadores para evitar alteraciones microbianas (Yúfera, 1979). La ventaja de esta extracción es producir un extracto con una concentración uniforme, sin embargo, resulta laboriosa y para conseguir mejores rendimientos se requiere mayor tiempo de extracción (Velarde, 2018).

a.1.2 Por agitación mecánica o difusión:

Consiste en colocar la muestra con el solvente elegido en un vaso de precipitado y mediante un agitador mecánico se pone en

contacto el disolvente con la materia prima para obtener el colorante deseado (Cabezudo y Zapata, 1978).

a.1.3 Por cocciones:

Los cocimientos son preparados líquidos que se elaboran incrementando la temperatura del preparado. La muestra se coloca en un recipiente de vidrio, se agrega el disolvente y se somete a ebullición por diferentes tiempos. La temperatura de extracción debe ser tal que no afecte a la estructura del colorante (Yúfera, 1979).

a.2 Extracción sólido-líquido continuo

La extracción sólido-líquido suele ser mucho más eficiente cuando se hace en forma continua con el disolvente de extracción caliente en un sistema cerrado, basada en la maceración con disolvente orgánico, previamente vaporizado en un matraz y condensado en un refrigerante, de la mezcla sólida a extraer contenida dentro de un cartucho o bolsa de celulosa que se coloca en la cámara de extracción (Marín y Mejía, 2012).

El paso del disolvente orgánico con parte del producto extraído al matraz inicial, permite que el mismo disolvente orgánico vuelva a ser vaporizado, repitiendo un nuevo ciclo de extracción, mientras que el producto extraído, no volátil, se va concentrando en el matraz. En la industria con fines analíticos se suele usar el extractor sólido - líquido tipo Soxhlet (Marín y Mejía, 2012).

C.5 Insumos químicos empleados en los disolventes

- **Agua destilada (masa molar: 18.2 g mol^{-1}):** Es aquella sustancia cuya composición se basa en la unidad de moléculas de H_2O , ha sido purificada o limpiada mediante destilación. La destilación consiste en la vaporización y condensación selectivas para separar impurezas e iones que se encuentren disueltas en el agua (QMax SA, 2011). En la tabla 4 se observan algunas características generales del agua destilada.

Tabla 4*Características generales del agua destilada*

Característica	Descripción
Apariencia	Líquida
Color	< 2 UNV (unidades color verdadero)
Sabor	Sin sabor
Olor	Sin olor
Punto de ebullición	100°C (a nivel del mar, 1 atm)
Solubilidad	Soluble en etanol

Fuente: Adaptado de Laboratorio Matraz.pe (2019).

- **Etanol (fórmula química: CH₃-CH₂-OH, masa molar: 46.0 g mol⁻¹):** Producto orgánico de gran importancia por sus usos en la industria, medicina y a nivel doméstico. En la industria se usa mucho como disolvente, su solubilidad en el agua es en todas las proporciones (Marín y Mejía, 2012). En la tabla 5 se presentan algunas características generales del etanol.

Tabla 5*Características generales del etanol*

Característica	Descripción
Apariencia	Líquido
Color	Incoloro
Sabor y olor	Ardiente característico
Grado alcohólico a 20°C	96° g.l.
Punto de ebullición	78.32°C (a nivel del mar, 1 atm)

Fuente: Adaptado de Pan Reac Appli Chem ITW Reagents Division (2011).

- **Ácido cítrico anhidro (fórmula química: C₆H₈O₇, masa molar: 192.13 g mol⁻¹):** La acidez del ácido cítrico se debe a los tres grupos carboxilos -COOH que pueden perder un protón en las soluciones. Si pasa eso, se produce un ion citrato. Los citratos son reguladores del pH de soluciones ácidas (Marín y Mejía, 2012). En la tabla 6 se muestran algunas características generales del ácido cítrico.

Tabla 6*Características generales del ácido cítrico*

Característica	Descripción
Apariencia	Cristalina (estándar: cristalino)
Color	Translúcido (estándar: translúcido)
Sabor	Ácido (estándar: ácido)
Olor	Sin olor (estándar: sin olor)
Humedad	0.1% (estándar: <0.5%)
Contenido	100% (estándar: 99.5 – 100.5%)

Fuente: Adaptado de RZBC Grupo Co. LTD (2017).

C.6 Envasado y almacenamiento de los extractos de antocianinas

Los extractos antociánicos obtenidos de arándanos frescos fueron refrigerados a $4 \pm 1^\circ\text{C}$ en envases de vidrio colores caramelo hasta ser usados (Zapata, 2014).

Se realizó un estudio de la cinética de degradación de las antocianinas de arándanos presentes en los extractos sólido líquido (ESL) empleando 2 temperaturas diferentes de almacenamiento ($5^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$, $25^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$). Al final de los 426 días a 5°C , la degradación de las antocianinas en el ESL fue del 28%. Mientras que después de 246 días a 25°C el deterioro de las antocianinas en el ESL fue del 40% (Zapata, 2014).

C.7 Aplicación de los extractos de antocianinas

Generalmente, los pigmentos naturales no se emplean en forma pura a nivel industrial, se aplican en forma de soluciones de diferente concentración, deshidratados o como extractos. La estabilidad de los extractos de antocianinas al 2% es buena y se emplean para colorear todas las clases de productos alimenticios o por sus propiedades funcionales (Bridle y Timberlake, 1997).

Extractos alimenticios ricos en antocianinas han sido desarrollados e incorporados dentro de suplementos dietéticos y productos alimenticios como mermeladas, yogurt, bebidas alcohólicas y no alcohólicas (Shipp y Abdel-Aal, 2010)

Extracto de antocianinas provenientes de arándanos fueron usados en la impregnación al vacío de cubos de melón para luego ser consumidas como ensalada de frutas (Zapata, 2014).

Las antocianinas de uva se emplearon en la elaboración de confitería y golosinas (en condiciones de acidez media, pH 4), en los helados impartieron un color negro malva debido a su pH, también se usó en preparaciones ácidas de frutas y conservas (Bridle y Timberlake, 1997).

2.3 Definición de términos básicos

Absorbancia:

Es la cantidad de luz absorbida por una solución, cuando un haz de luz incide sobre un cuerpo traslúcido, una parte de esta luz es absorbida por el cuerpo, y el haz de luz restante atraviesa dicho cuerpo. A mayor cantidad de luz absorbida, mayor será la absorbancia del cuerpo, y menor cantidad de luz será transmitida por dicho cuerpo. Así la absorbancia y la transmitancia son dos aspectos del mismo fenómeno (Gonzales, 2010).

La absorbancia, a una determinada longitud de onda λ , se define como:

$$A_{\lambda} = -\log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

Donde I es la intensidad de la luz que pasa por la muestra (luz transmitida) y I_0 es la intensidad de la luz incidente (Abril et al., 2005).

Antocianinas:

Las antocianinas (del griego $\alpha\nu\theta\acute{o}\varsigma$ (anthos): ‘flor’ + $\kappa\upsilon\alpha\nu\acute{o}\varsigma$ (kyáneos): ‘azul’), son pigmentos solubles en agua, están presentes en las vacuolas de las células vegetales (hojas, flores, tallos, frutas, raíces), pertenecen a la familia de los flavonoides (Mazza, 1993).

Juegan un papel importante en la ecofisiología y en la propagación de plantas; ayudan a atraer polinizadores y participan en los mecanismos de defensa de las plantas contra factores de estrés bióticos y ambientales. Las antocianinas poseen propiedades farmacológicas y terapéuticas para la salud humana. En los últimos tiempos se han desarrollado nuevas aplicaciones, como colorantes o bioactivos para las industrias alimentaria, farmacéutica y cosmética (Mejía, 2016).

Camote:

Raíz reservante comestible en la que se almacenan los productos fotosintéticos, como almidón, fibra (celulosa), vitaminas, minerales, proteínas, lípidos y pigmentos. La piel y parte interna pueden ser blancos, cremas, amarillos, naranjas, rojo-moradas,

moradas o mixturadas con intensidades fuertes o débiles de acuerdo al cultivar y condiciones ambientales (Cobeña et al., 2017)

Disolventes:

Un disolvente es una sustancia que permite la dispersión de otra en su seno. Es el medio dispersante de la disolución. El disolvente establece el estado físico de la disolución, por lo que se dice que el disolvente es el componente de una disolución que está en el mismo estado físico que la disolución. También es el componente de la mezcla que se encuentra en mayor proporción. Los disolventes se utilizan para disolver, extraer o suspender otras sustancias y formar una disolución (Cova, 2018)

Espectrofotometría UV-visible:

Se basa en que las moléculas absorben las radiaciones electromagnéticas y a su vez que la cantidad de luz absorbida depende en forma lineal de la concentración. Para hacer este tipo de medidas se emplea un espectrofotómetro, en el que se puede seleccionar la longitud de onda de la luz que pasa por una solución y medir la cantidad de luz absorbida por la misma (Abril et al., 2005).

Extracción:

Técnica para retirar de la forma más selectiva y completa posible la fracción activa contenida en una materia prima, usando para ello un líquido o mezcla de líquidos tecnológicamente apropiados y toxicológicamente seguros. El éxito de la extracción depende básicamente de la diferencia de solubilidad en el disolvente de extracción entre el compuesto deseado y los otros compuestos presentes en la materia prima (Angurell et al., 2021).

Extracto:

Sustancia obtenida por la extracción de una parte de la materia prima seleccionada, a menudo usando disolventes permitidos. Los extractos vegetales son ricos en principios activos, ofrecen beneficios adicionales, se presentan como alternativas para dar valor agregado a diferentes productos (Rodas, 2020).

pH:

Expresa el grado de acidez o basicidad de una solución en una escala que varía de 0 a 14. La acidez aumenta cuando el pH disminuye. Una solución con un pH menor a 7 es ácida, mientras que si es mayor a 7 se clasifica como básica. Una solución con pH 7 es neutra. El valor de pH representa el menos logaritmo en base diez de la concentración de iones hidrógeno [H⁺] (Marín y Mejía, 2012).

$$pH = -\log_{10} [H^+]$$

Rendimiento:

Es el porcentaje en peso del contenido de antocianinas totales con respecto a la cantidad de materia vegetal y al volumen del disolvente empleados durante el proceso de extracción, se refiere al rendimiento de extracción (Manzano, 2016).

CAPITULO III

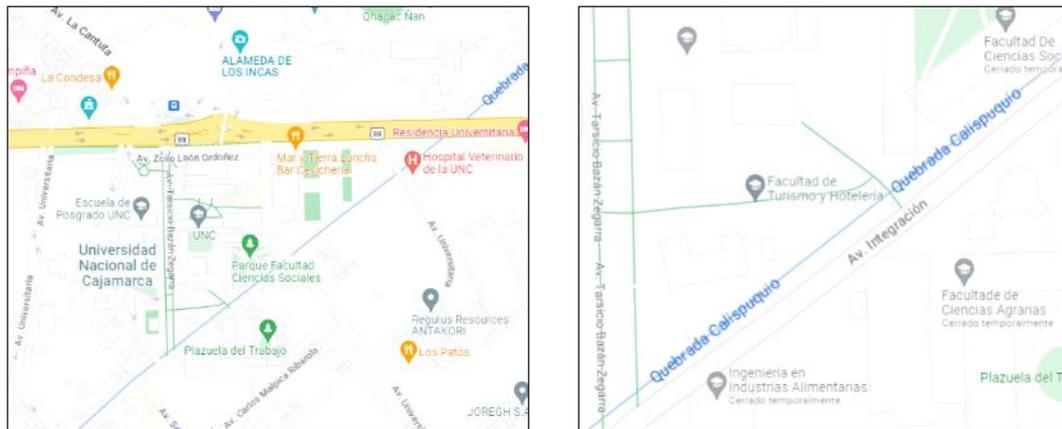
MARCO METODOLÓGICO

3.1 Lugar de ejecución de la investigación

La presente investigación se realizó en los laboratorios de “Tecnología Láctea”, “Frutas y Hortalizas”, “Análisis de Alimentos y Control de Calidad”, “Bioingeniería y Fermentaciones Industriales” de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Cajamarca (UNC) (figura 5), la cual está situada en la ciudad de Cajamarca (distrito, provincia y departamento de Cajamarca), en las coordenadas UTM: N 9206505, E 773507 y una altitud media de 2 750 m.s.n.m.

Figura 5

Mapa de ubicación del lugar de ejecución de la investigación.



Fuente: Adaptado de Google Maps (2023).

3.2 Materiales

Materia prima experimental:

Camote con piel y pulpa morada (*Ipomoea batatas*), al cual el Centro Internacional de la Papa (CIP) le asignó el código 441700.

Materiales:

- Cuchillo
- Tabla de picar
- Regla
- Papel aluminio
- Tamiz de chapa redonda, con luz O 1.5.
- Beaker
- Probetas
- Pipetas
- Pipeteador
- Pinzas
- Tubos de ensayo
- Rejilla para tubos de ensayo
- Matraz Erlenmeyer
- Matraz Kitasato
- Tapón perforado para matraz
- Fiolas 250 cc
- Pinzas
- Varillas agitadoras
- Embudo Büchner
- Papel Whatman N° 1
- Mangueras
- Frascos de vidrio color ámbar con tapa rosca

Equipos:

- Pocket refractómetro, Pal-3 Atago.
- Estufa HV Ovens.
- Molinillo universal, Landers & Cia S.A.
- Balanza analítica, Precisa LX 220A 5CS.
- High Accuracy Pen Type pH Meter (with temperature display) (pH-009 III) con soluciones buffer
- Cintas pH metras

- Bomba de vacío, Sartorius.
- Termómetro digital, Model: SH-132.
- Cronómetro
- Cocina eléctrica
- Centrífuga Rotofix 32 A. Hettich
- Espectrofotómetro modelo HALO DB-20 UV-VIS, Dynamica Ltd.
- Cubetas para espectrofotómetro
- Colorímetro Minolta
- Refrigeradora

Insumos químicos:

- Agua destilada desionizada
- Solución etanólica 96°
- Ácido cítrico anhidro
- KCl (Cloruro de potasio)
- $\text{CH}_3\text{COONa} + 3\text{H}_2\text{O}$ (Acetato de sodio trihidrato)
- HCL concentrado
- Hipoclorito de sodio 4%
- ClCa_2 (Cloruro de calcio anhidro)

3.3 Métodos

A. Tipo de investigación

El presente trabajo de investigación es del tipo experimental

B. Variables

Variable independiente:

- Tipo de disolvente de extracción:
 - Agua destilada
 - Etanol al 20%
 - Etanol al 20% acidificado con ácido cítrico 1%

Variable dependiente:

- Rendimiento de antocianinas (%)

C. Diseño experimental

La presente investigación se condujo mediante un diseño completamente al azar (DCA), un factor (tipo de disolvente) con tres niveles. El experimento se llevó a cabo bajo condiciones homogéneas de radio sólido/líquido, tiempo de extracción y temperatura de extracción.

Procedimiento:

- a. Determinación del número de unidades experimentales

$n = K \times X$, donde:

$K = \text{número de niveles} = 3$

$X = \text{número de observaciones} = 4$

$n = 3 \times 4 = 12$

Enumeración de las unidades experimentales en la muestra homogénea:

$X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}$

- b. Asignación de las unidades experimentales a cada tratamiento (tipo de disolvente) usando la tabla de números aleatorios.
- c. Distribución de las unidades experimentales en los tratamientos de acuerdo al número que les corresponde, mostrados en la tabla 7.

Tabla 7

Croquis de campo

	Disolventes			Total
	T ₁	T ₂	T ₃	
Observaciones	X ₈	X ₁₁	X ₂	
	X ₃	X ₅	X ₉	
	X ₁	X ₄	X ₆	
	X ₁₂	X ₁₀	X ₇	
Total	T. 1	T. 2	T. 3	T
N° observaciones	4	4	4	12

Promedio	$\bar{X}. 1 = \frac{T. 1}{4}$	$\bar{X}. 2 = \frac{T. 2}{4}$	$\bar{X}. 3 = \frac{T. 3}{4}$	\bar{X}
----------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-----------

Fuente: Adaptado de Vásquez (2014).

1. El modelo estadístico es de efectos fijos o de clasificación en un solo sentido, las conclusiones se dieron solo para los tres disolventes.

$$y_{ij} = \mu + \tau_j + e_{ij}, \text{ donde}$$

$$i = 1, 2, 3, 4$$

$$j = 1, 2, 3; \text{ modelo de efectos fijos}$$

y_{ij} : ij-ésima observación

μ : efecto medio verdadero, parámetro común a todos los tratamientos

τ_j : efecto del j-ésimo tratamiento

e_{ij} : efecto verdadero de la i-ésima unidad experimental sujeta al j-ésimo tratamiento, incluye los efectos de todos los otros factores extraños.

2. Suposiciones

- Normalidad

H_0 : Los datos provienen de una distribución normal

H_A : Los datos no provienen de una distribución normal

Estadístico de prueba: Shapiro-Wilk (W_c)

- Variaciones homogéneas:

$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2$

H_A : Al menos una varianza es diferente

Estadístico de prueba: Bartlett

3. Prueba de hipótesis

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

H_A : No todas las μ_j son iguales

4. Nivel de significación = 0.05 (95% de confianza)

5. Prueba estadística

Usamos la siguiente estadística de prueba:

$$F = \frac{CM_{Trat}}{CM_{Error}} \longrightarrow F_{\alpha, t-1, t(n-1)} \text{ así tenemos } F_{0.05, 2, 9}$$

6. Regla de decisión

Si $F_c > F_{0.05, 2, 9}$ entonces H_0 se rechaza, a un nivel de significancia del 0.05

Si $F_c \leq F_{0.05, 2, 9}$ entonces H_0 no se rechaza

7. Cálculos

Se realizaron los cálculos para obtener las estimaciones en la tabla ANOVA (ANalysis Of VARIance), la tabla 8 nos muestra el análisis generalizado para el diseño en mención.

Tabla 8

Análisis del rendimiento de antocianinas totales en el camote morado CIP 441700 (Ipomoea batatas)

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	F
Tratamientos	$t - 1 = 2$	SC_{Trat}	CM_{Trat}	CM_{Trat}/CM_{Error}
Error	$t(n-1) = 9$	SC_{Error}	CM_{Error}	
Total	$tn - 1 = 11$	SC_{Total}		

$t =$ tratamientos = 3

$n =$ tamaño de la muestra en cada tratamiento = 4

$SC_{Trat} =$ Suma de Cuadrados (SC) de tratamientos

$CM_{Trat} =$ Cuadrado Medio (CM) de tratamientos = $SC_{Trat} / (t-1)$

$SC_{Error} =$ Suma de Cuadrados (SC) del error

$CM_{Error} =$ Cuadrado Medio (CM) del error = $SC_{Error} / t(n-1)$

Una vez verificada H_A , se usará la prueba de Tukey para comparar las medias y verificar que μ_3 es la mayor.

D. Técnicas de procesamiento de análisis de datos

Se usó el software SAS (Statistical Analysis Systems) 9.4.

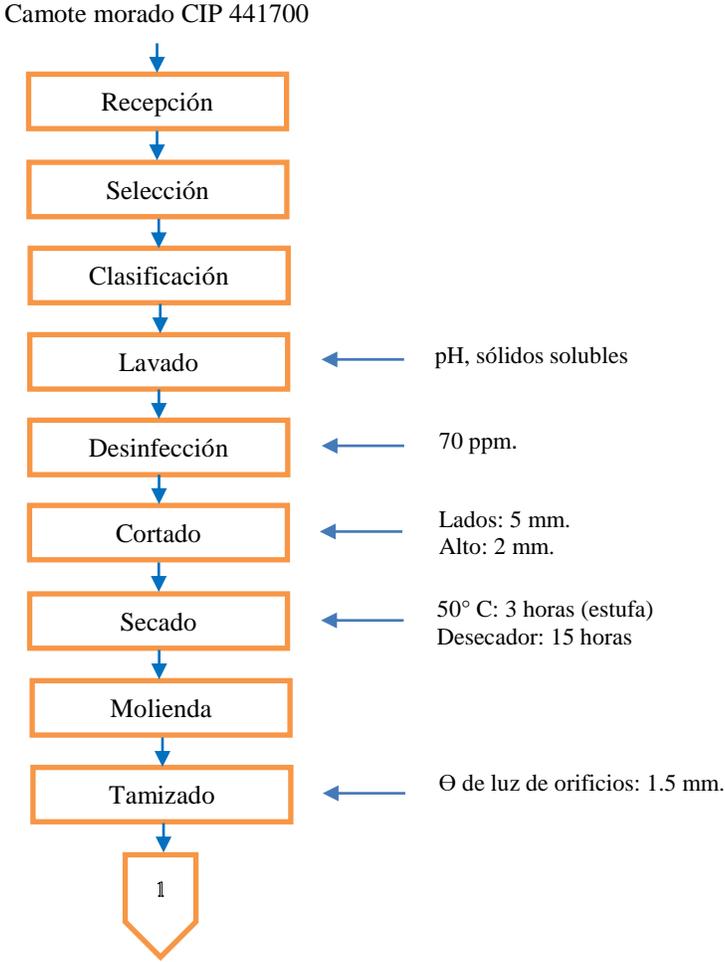
E. Trabajo de laboratorio

Obtención de extractos de antocianinas totales:

Para la obtención de los tres extractos diferentes de antocianinas totales a partir del camote morado CIP 441700 (*Ipomoea batatas*) se siguieron las mismas operaciones, solo variaron aquellas en las que se usaron los disolventes (agua destilada, etanol al 20%, etanol al 20% acidificado con ácido cítrico al 1%), lo cual se muestra en el siguiente flujograma continuo (figuras 6, 7 y 8).

Figura 6

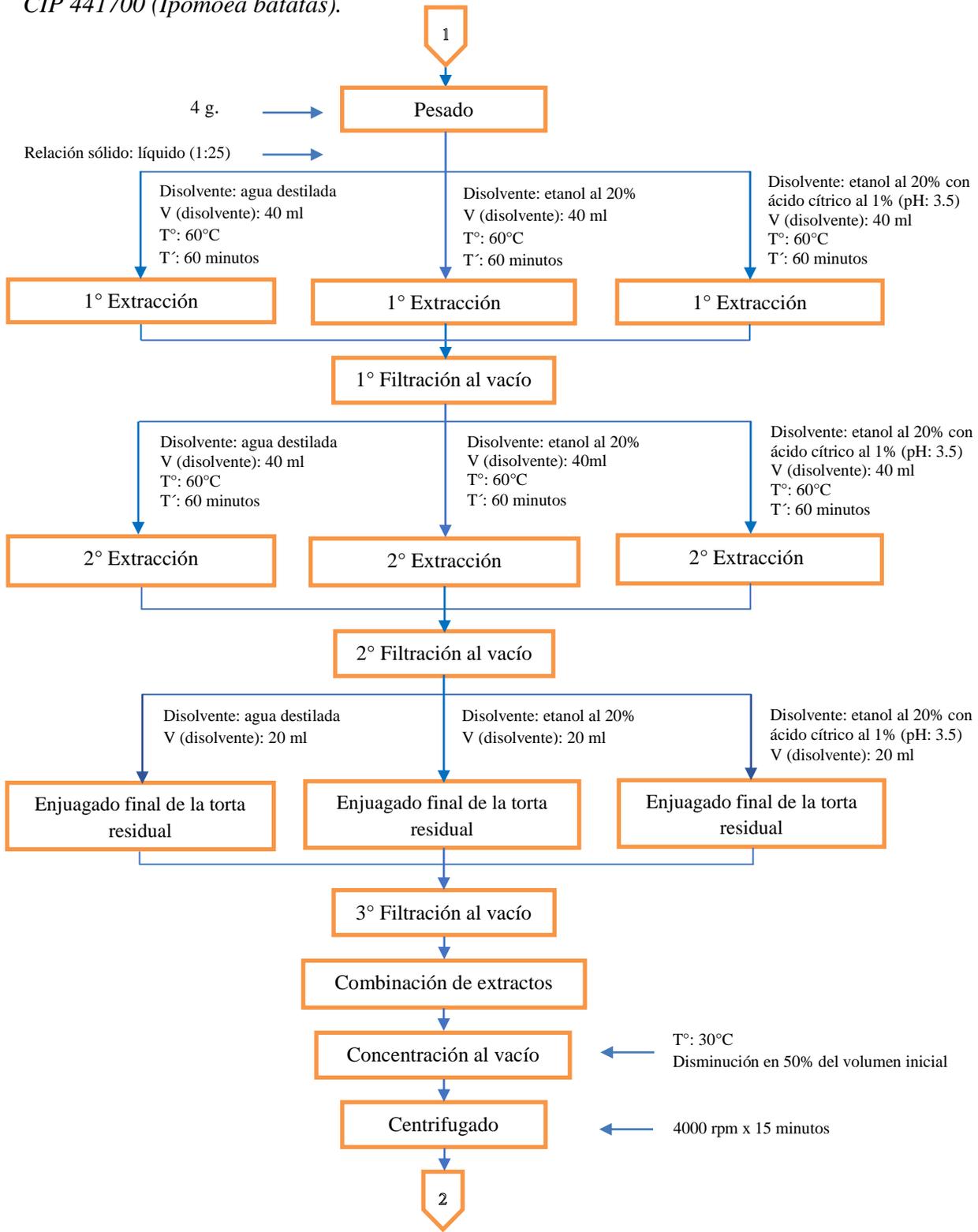
Operaciones de acondicionamiento del camote morado CIP 441700 (Ipomoea batatas).



Fuente: Adaptado de Martínez (2015); Herrera (2017).

Figura 7

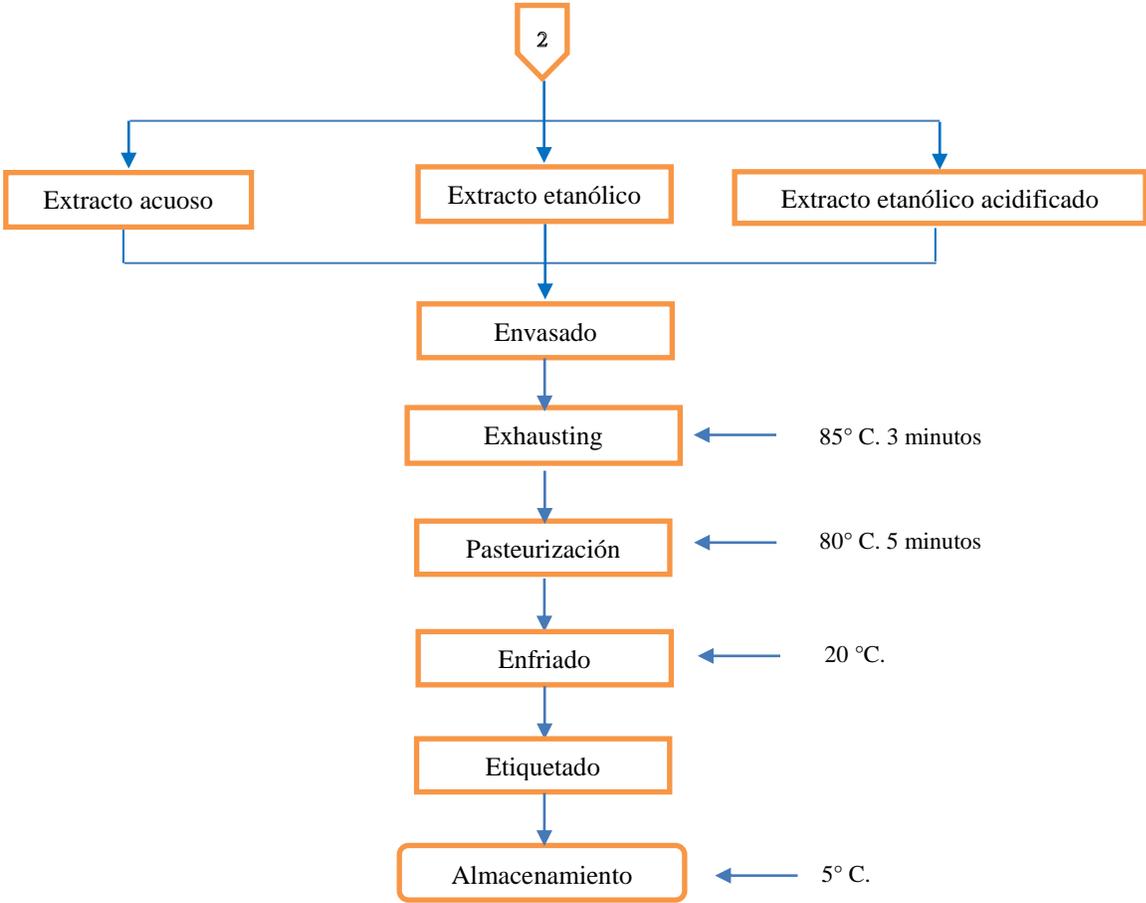
Operaciones de extracción y purificación de antocianinas en las muestras de camote morado CIP 441700 (Ipomoea batatas).



Fuente: Adaptado de Martínez (2015); Herrera (2017).

Figura 8

Operaciones finales de tratamiento a los extractos de antocianinas de camote morado CIP 441700 (Ipomoea batatas) hasta el almacenamiento.



Fuente: Adaptado de Martínez (2015); Herrera (2017).

1) **Recepción de la materia prima:**

Las muestras de camote morado CIP 441700 procedieron de la parcela de un agricultor ubicado en la comunidad campesina Morrope, sector La Frontera, distrito de Jayanca, provincia y departamento de Lambayeque, quién recibió la semilla de camote con pulpa morada del Centro Internacional de la Papa (CIP) ubicada en Perú en el año 2015.

2) **Selección:**

Esta operación se efectuó manualmente, con el fin de separar las raíces que presentaron signos de deterioro o con indicios de pudrición.

3) **Clasificación:**

Esto se hizo atendiendo el peso de las raíces, las unidades recibidas fueron pequeñas (peso menor a 450 gramos), eligiendo a aquellas con pesos parecidos.

4) **Lavado:**

Se realizó con agua a chorro, con la finalidad de remover los residuos de las raíces. Inicialmente se midieron los sólidos solubles y el pH.

5) **Desinfección:**

Según el MINSA (2017), la desinfección permitió en gran medida eliminar los microorganismos capaces de causar daño a la salud humana mediante un agente químico, para lo cual se siguieron los siguientes pasos:

- Medir el volumen del agua según la cantidad de solución que se desea preparar.
- Calcular el volumen del desinfectante teniendo en cuenta el volumen del agua, la concentración de hipoclorito de sodio y las 70 ppm requeridas.

$$\text{C.C. de hipoclorito de sodio} = \frac{\text{Volumen a preparar (litros)} \times \text{\#ppm}}{\text{Concentración de hipoclorito de sodio} \times 10}$$

- Añadir el desinfectante medido al recipiente que contiene el agua y mezclar para obtener una solución homogénea.

- Sumergir los camotes en la solución desinfectante durante 5 minutos.
- Retirarlos y lavarlos nuevamente con agua potable fría.

6) Cortado:

Se dividió el camote (piel y parénquimas) en piezas pequeñas y delgadas (aproximadamente 5 mm por lado, 2 mm de alto).

7) Secado:

Se colocaron las piezas sobre el papel aluminio, luego se las llevaron a la estufa a 50°C por 3 horas.

Se dejaron enfriar las piezas en un desecador por 15 horas. El agente desecante empleado fue el ClCa_2 (cloruro de calcio anhidro). Se cubrió externamente todo el desecador con papel aluminio.

8) Molienda:

Se lo realizó con ayuda de un molinillo universal Corona Landers & Cia S.A.

9) Tamizado:

Se pasaron las muestras molidas por un tamiz de chapa con perforaciones redondas, con luz O1.5, diámetro del tamiz 24 cm.

10) Pesado:

Se pesaron 4 g de camote morado tamizado para posteriormente realizar la extracción de antocianinas totales.

11) 1° Extracción:

Esta operación tuvo por finalidad separar las antocianinas totales del camote morado con los tres disolventes seleccionados: agua destilada, etanol al 20%, etanol al 20% acidificado con ácido cítrico al 1%, en los dos primeros disolventes se midió el pH durante el trabajo en laboratorio, en el último disolvente se ajustó el pH a 3.5. En cada una de las mezclas se emplearon una relación sólido : líquido 1:25. Para 4 gramos de

sólido se emplearon 100 ml de cada uno de los disolventes, el volumen del disolvente fue dividido en tres tiempos.

En la primera extracción se colocaron 4 g de la muestra con 40 ml del disolvente dentro de un beaker y se lo llevó a la estufa hasta los 60°C por 60 minutos.

12) 1° Filtrado al vacío:

Se buscó separar los restos sólidos del extracto de antocianinas, para esta operación se utilizó un embudo Büchner y papel Whatman N° 1 además de una bomba de vacío (-150 mbar) para facilitar el paso del extracto a través del papel filtro en menor tiempo.

13) 2° Extracción:

Se recuperó la torta residual del 1° filtrado y se lo colocó dentro de un beaker, se agregó 40 ml del disolvente y se lo llevó a la estufa hasta los 60°C por 60 minutos. Esto se hizo para rescatar las antocianinas que pueden haber quedado en la torta residual.

14) 2° Filtrado al vacío:

Igual que el primer filtrado.

15) Enjuagado final de la torta residual:

Se recuperó la torta residual del 2° filtrado y se lo colocó dentro de un beaker, luego se añadió 20 ml del disolvente.

16) 3° Filtrado al vacío:

Igual que el filtrado anterior.

17) Combinación de extractos:

Se juntaron los extractos de los tres filtrados

18) Concentración al vacío:

Se pretendió disminuir el volumen del disolvente para obtener un extracto de antocianinas más concentrado, la temperatura empleada fue 30°C, para lo cual se utilizó una bomba de vacío (-150 mbar). La concentración se realizó hasta disminuir el volumen inicial a la mitad.

Cuando la concentración de antocianinas alcanza valores altos, se presenta fenómenos de auto-asociación entre dos cationes flavilio, dos formas hemicetal, dos bases quinoidales, e inclusive, entre una base quinoidal y un catión flavilio, protegiendo la molécula de antocianina se mejora la intensidad del color y la estabilidad de las mismas (Garzón, 2008).

19) Centrifugado:

Esta operación se realizó solo con las muestras que se usaron para las lecturas en el espectrofotómetro. Se programó la centrifuga a 4000 rpm en 15 minutos. Después del procedimiento se separó el sobrenadante de los tubos de ensayo (para una mejor lectura en el espectrofotómetro).

20) Envasado:

En la presente investigación se emplearon frascos de vidrio de color caramelo para proteger a los extractos de la luz (Zapata, 2014), los frascos fueron esterilizados en agua hirviendo por 15 minutos. Con ayuda de pinzas se sacaron los frascos y se colocaron boca abajo sobre una servilleta limpia, procurando que ésta sea lo único con lo que entren en contacto.

Al llenarlos se dejó un espacio vacío, que equivale al 10% del tamaño interno del envase, luego se colocaron las tapas en la boca de los frascos, pero sin enroscar.

21) Exhausting (eliminación del aire):

Busca la eliminación del oxígeno y mejorar la prevalencia del color (Fennema, 2000). Los frascos conteniendo los extractos se colocaron en baño María (85°C por 3

minutos), inmediatamente después se cerraron completamente las tapas, cuando el producto se enfría se genera vacío.

22) Pasteurizado:

Los frascos se colocaron en baño María a 80°C por 5 minutos, para disminuir la concentración de hongos totales, responsables del deterioro microbiológico de este tipo de productos (Stückrath y Petzold, 2007). Se usó el proceso batch (lote), donde el líquido se calentó en un recipiente estanco (Guamán, 2013).

23) Enfriado:

El producto fue rápidamente enfriado colocando las muestras en agua fría, la temperatura en el producto al final del proceso debe llegar a 20°C (Herrera, 2017).

24) Etiquetado:

Consistió en el pegado de etiquetas, conteniendo la siguiente información:

- Nombre del producto.
- Ingredientes y aditivos empleados en la elaboración del producto.
- Contenido neto.
- Nombre y dirección del fabricante.
- Condiciones especiales de conservación (Presidencia de la República, 1998; INDECOPI, 2014).
- No se colocó fecha de vencimiento, porque es necesario realizar otro estudio sobre este particular.

25) Almacenamiento:

Los extractos envasados fueron almacenados a 5°C, protegidos del calor y luz (Zapata, 2014), sin embargo, es necesario realizar más estudios sobre este particular.

Protocolo básico para estimar las antocianinas monoméricas totales por el método pH diferencial.

Se aplicó el protocolo planteado por Giusti y Wrolstad (2001):

- Encender el espectrofotómetro al menos 30 minutos antes de tomar las medidas.
- Determinar el factor de dilución apropiado para la muestra diluyéndola de forma tal que a pH 1.0 la absorbancia a la longitud de onda a máxima absorbancia (510 nm.) se encuentre dentro del rango de 0.1 a 1.0.

Dividir el volumen final de la muestra entre el volumen inicial para obtener el factor de dilución (FD), cuidando que el extracto no exceda el 20% del volumen total, para no exceder la capacidad del buffer. Así: 0.5 ml de extracto es diluido con 2 ml de buffer, entonces $2.5 \text{ ml}/0.5 \text{ ml} = 5$, $FD = 5$

- Llevar el espectrofotómetro a cero con agua destilada a las longitudes de onda que serán usadas (λ vis-max y 700 nm.)
- Preparar 2 disoluciones con el extracto y con el buffer a pH 1.0 y con el buffer a pH 4.5. Dejar equilibrar las disoluciones por 15 minutos.
- Medir las absorbancias de cada disolución a 510 y 700 nm., contra un blanco (agua destilada en una cubeta)
- Calcular la absorbancia neta (A_{neta}) así:

$$A_{neta} = (A_{510} - A_{700})_{pH=1,0} - (A_{510} - A_{700})_{pH=4,5} \quad (1)$$

- Calcular la concentración de antocianinas monoméricas en la muestra original empleando la siguiente ecuación:

$$[\text{Antocianinas totales}] = \frac{A_{neta} \cdot M \cdot FD \cdot 10^3}{\epsilon \cdot l} \quad (2)$$

Donde:

$[\text{Antocianinas totales}] = \text{concentración de antocianinas totales en } mg \text{ L}^{-1}$

$M = \text{masa molar de la cianidina-3-glucósido} = 449.2 \text{ g mol}^{-1}$

$FD = \text{factor de dilución (1 en 50)}$

$10^3 = \text{factor para convertir g a mg}$

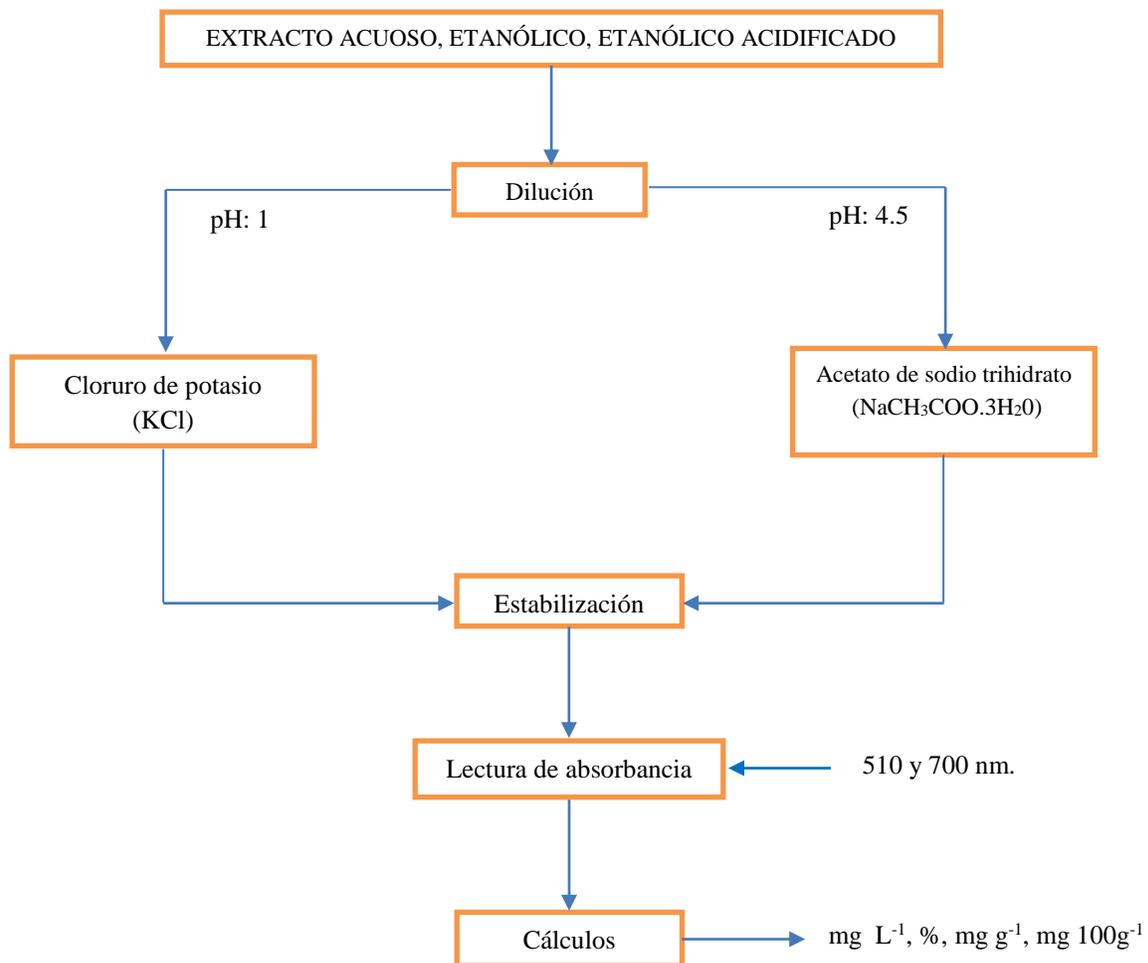
$\epsilon = \text{absortividad molar de la cianidia-3-glucósido} = 26 \ 900 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$

$l = \text{longitud del paso de celda} = 1 \text{ cm}$

Lo descrito anteriormente se esquematiza en la figura 9.

Figura 9

Operaciones para la determinación de antocianinas totales.



Fuente: Adaptado de Fernández (1995).

F. Trabajo de gabinete

Procedimiento para el cálculo del rendimiento de extracción de antocianinas.

- Manzano (2016), propuso la ecuación que se presenta a continuación para calcular el rendimiento de extracción de antocianinas (%) con respecto a la materia vegetal utilizada.

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{C^* (\text{mg L}^{-1}) * 100}{C^{**} (\text{mg L}^{-1})} \quad (3)$$

Donde:

C^* = Concentración obtenida de antocianinas (mg L^{-1})

C^{**} = Concentración de materia vegetal en relación al volumen del disolvente (mg L^{-1})

Después se sustituyeron los datos obtenidos del trabajo de laboratorio en la ecuación 3.

CAPITULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Pesos promedio de los camotes morados CIP 441700 (*Ipomoea batatas*) seleccionados.

Tabla 9

*Peso promedio de los camotes morados CIP 441700 (*Ipomoea batatas*) seleccionados, según el tratamiento al que fueron destinados*

Para los tratamientos	Peso de los camotes enteros (g)
Agua destilada	136.750 ± 10.563
Etanol al 20%	139.000 ± 8.485
Etanol al 20% acidificado	139.500 ± 8.103

Nota: Peso promedio de 4 camotes para cada tratamiento ± desviación estándar.

Fuente: Ficha de laboratorio.

La tabla 9 muestra los pesos promedio ± desviación estándar de 4 camotes morados CIP 441700 (*Ipomoea batatas*) que fueron utilizados para cada uno de los tratamientos, así tenemos 136.750 ± 10.563 gramos para el agua destilada, 139 ± 8.485 gramos para el etanol al 20% y 139.5 ± 8.103 gramos para el etanol al 20% acidificado.

4.2 Pesos promedio de los productos obtenidos del acondicionamiento de los camotes morados CIP 441700 (*Ipomoea batatas*) seleccionados.

Tabla 10

*Peso promedio de las láminas frescas y deshidratadas de los camotes morados CIP 441700 (*Ipomoea batatas*) seleccionados, según el tratamiento al que fueron destinados*

Para los tratamientos	Peso de las láminas frescas de camote (g)	Peso de las láminas frescas de camote tomadas para secar (g)	Peso de las láminas secas de camote (g)
Agua destilada	131.750 ± 8.884	120.000 ± 0.000	45.750 ± 3.304
Etanol al 20%	134.000 ± 8.869	120.000 ± 0.000	46.500 ± 3.873
Etanol al 20% acidificado	134.750 ± 7.632	120.000 ± 0.000	47.250 ± 2.217

Nota: Peso promedio de 4 camotes cortados en láminas y luego deshidratados por cada tratamiento ± desviación estándar.

Fuente: Ficha de laboratorio.

A cada camote seleccionado se le retiraron las raíces adventicias, luego fueron cortadas en láminas y pesadas, en la tabla 10 se observan los pesos promedios ± desviación estándar de 4 camotes cortados en láminas frescas por cada uno de los tratamientos, siendo 131.750 ± 8.884 gramos para el agua destilada, 134.000 ± 8.869 gramos para el etanol al 20% y 134.750 ± 7.632 gramos para el etanol al 20% acidificado.

Se tomaron 120 gramos de las láminas frescas de camote para cada tratamiento, posteriormente éstas láminas fueron deshidratadas, tratando de evitar que las superficies externas de las mismas se quemen, para lo cual se siguieron las pautas planteadas en la figura N° 6, a continuación fueron pesadas, obteniéndose 45.750 ± 3.304 gramos para el

agua destilada, 46.500 ± 3.873 gramos para el etanol al 20% y 47.250 ± 2.217 gramos para el etanol al 20% acidificado, como lo muestra la tabla 10.

Tabla 11

Peso promedio de las muestras molidas y tamizadas de los camotes morados CIP 441700 (Ipomoea batatas) seleccionados, según el tratamiento al que fueron destinados

Para los tratamientos	Muestras molidas y tamizadas empleadas (g)
Agua destilada	4.0207 ± 0.011
Etanol al 20%	4.0177 ± 0.004
Etanol al 20% acidificado	4.0191 ± 0.011

Nota: Peso promedio de 4 muestras molidas y tamizadas usadas por cada tratamiento \pm desviación estándar.

Fuente: Ficha de laboratorio.

Las láminas deshidratadas de cada camote fueron molidas y tamizadas, luego se tomó una muestra de cada una de ellas. En la tabla 11 se observa el peso promedio \pm desviación estándar de las 4 muestras tomadas para cada tratamiento, así tenemos 4.0207 ± 0.011 gramos para el agua destilada, 4.0177 ± 0.004 gramos para el etanol al 20%, y 4.0191 ± 0.011 gramos para el etanol al 20% acidificado.

4.3 Volumen promedio de los extractos de camote morado CIP 441700 (*Ipomoea batatas*) obtenidos.

Tabla 12

*Volumen promedio de los extractos de camote morado CIP 441700 (*Ipomoea batatas*), según el tratamiento empleado*

Tratamientos	Extracto diluido (ml)	Extracto concentrado (ml)
Agua destilada	78.500 ± 0.577	39.000 ± 0.408
Etanol al 20%	68.000 ± 0.816	33.875 ± 0.479
Etanol al 20% acidificado	71.000 ± 0.816	35.500 ± 0.408

Nota: Volumen promedio de 4 extractos diluidos y 4 extractos concentrados por cada tratamiento ± desviación estándar.

Fuente: Ficha de laboratorio.

De las 4 extracciones que se realizaron por tratamiento, se obtuvieron 4 extractos, a los cuales llamaremos diluidos, posteriormente cada extracto fue concentrado.

Respecto a los extractos diluidos, la tabla 12 muestra los volúmenes promedio ± desviación estándar de los 4 extractos según el tratamiento recibido, los cuales fueron 78.500 ± 0.577 mililitros para el agua destilada, 68.000 ± 0.816 mililitros para el etanol al 20% y 71.000 ± 0.816 mililitros para el etanol al 20% acidificado.

En relación a los extractos concentrados, se observa que estos valores fueron 39.000 ± 0.408 mililitros para el agua destilada, 33.875 ± 0.479 mililitros para el etanol al 20% y 35.500 ± 0.408 mililitros para el etanol al 20% acidificado.

Se aprecia que los volúmenes promedio de los extractos obtenidos con los tres disolventes presentaron variaciones, a pesar de haber empleado las mismas condiciones de tiempo, temperatura y volumen del disolvente durante la extracción, esto puede estar relacionado con las características de los disolventes.

El agua y etanol son compuestos polares, poseen fuerzas intermoleculares, en ambos la mayor fuerza se da a través de los puentes de hidrógeno, pero el agua tiende a formar más puentes de hidrógeno que el etanol, así, la temperatura de ebullición es más alta (Sears et al., 2004).

En la vaporización, al calentar un líquido se transforma en gas. Las moléculas de un líquido se mueven con libertad en diferentes velocidades. En un instante dado, algunas de las moléculas que están en la superficie del líquido poseen suficiente energía para vencer las fuerzas de atracción de sus vecinas y escapar a la fase gaseosa, si la temperatura aumenta, el número de partículas que se escapan es mayor. Cuando la vaporización ocurre en toda la masa de líquido, formándose burbujas de vapor en su interior, se denomina ebullición (Alfaro, 2015).

La presencia de solutos en los disolventes incrementa su punto de ebullición, pues las moléculas de soluto interaccionan o interfieren en el normal movimiento de las moléculas del disolvente (Alfaro, 2015).

Según los datos obtenidos en laboratorio, en la ciudad de Cajamarca (altura: 2 750 m.s.n.m., presión atmosférica: 552 mmHg o 0.714 atm), el agua destilada hierve a 91.0°C, el etanol al 20% acidificado a 88.9°C y el etanol al 20% lo hace a 81.0°C (anexo 7), lo cual puede dar a entender porque el extracto que usó agua destilada tuvo un volumen promedio mayor al final del proceso, seguido del extracto con etanol al 20% acidificado y luego por el extracto con etanol al 20%.

4.4 Cantidades promedio de las antocianinas extraídas del camote morado CIP 441700 (*Ipomoea batatas*).

Las antocianinas desarrollan transformaciones estructurales reversibles con el cambio de pH, manifestado por un espectro de absorbancia diferente. La forma coloreada predomina a pH 1, y la forma incolora a pH 4.5. La longitud de onda de máxima absorbancia para la cianidina es 510 nm. La absorbancia a 700 nm se mide para efectuar la corrección de la medida debida a la presencia de compuestos degradados o sustancias interferentes (Mejía, 2016).

El método pH diferencial emplea estas reacciones para estimar las antocianinas totales de manera rápida (Mejía, 2016).

Tabla 13

Medidas de la absorbancia y cantidad de antocianinas totales en los extractos de camote morado CIP 441700 (Ipomoea batatas) empleando tres disolventes

N°	Tipo de disolvente	pH 1.0		ΔA pH 1	pH 4.5		ΔA pH 4.5	A_{neta}	Antocianinas totales (mg L ⁻¹)
		A510	A700		A510	A700			
1	Agua destilada	0.363 ± 0.016	0.096 ± 0.002	0.267 ± 0.015	0.284 ± 0.006	0.083 ± 0.003	0.201 ± 0.004	0.066 ± 0.011	5.538 ± 0.920
2	Agua destilada	0.348 ± 0.009	0.095 ± 0.003	0.253 ± 0.007	0.285 ± 0.005	0.085 ± 0.003	0.200 ± 0.003	0.053 ± 0.010	4.425 ± 0.822
3	Agua destilada	0.346 ± 0.004	0.096 ± 0.001	0.249 ± 0.005	0.285 ± 0.002	0.083 ± 0.002	0.202 ± 0.004	0.047 ± 0.009	3.924 ± 0.742
4	Agua destilada	0.371 ± 0.016	0.097 ± 0.002	0.274 ± 0.014	0.288 ± 0.004	0.086 ± 0.001	0.202 ± 0.003	0.072 ± 0.011	6.039 ± 0.893
		0.357 ± 0.012	0.096 ± 0.001	0.261 ± 0.012	0.285 ± 0.002	0.084 ± 0.002	0.201 ± 0.001	0.060 ± 0.012	4.982 ± 0.976
1	Etanol al 20%	0.406 ± 0.009	0.071 ± 0.005	0.335 ± 0.011	0.265 ± 0.001	0.085 ± 0.001	0.180 ± 0.001	0.155 ± 0.011	12.942 ± 0.948
2	Etanol al 20%	0.408 ± 0.004	0.083 ± 0.003	0.325 ± 0.007	0.256 ± 0.001	0.079 ± 0.002	0.177 ± 0.003	0.148 ± 0.010	12.357 ± 0.805
3	Etanol al 20%	0.421 ± 0.011	0.081 ± 0.001	0.340 ± 0.010	0.261 ± 0.003	0.086 ± 0.003	0.175 ± 0.002	0.165 ± 0.012	13.804 ± 0.978
4	Etanol al 20%	0.450 ± 0.010	0.067 ± 0.002	0.383 ± 0.009	0.295 ± 0.007	0.084 ± 0.002	0.211 ± 0.005	0.173 ± 0.011	14.417 ± 0.923
		0.421 ± 0.020	0.075 ± 0.008	0.346 ± 0.026	0.269 ± 0.017	0.084 ± 0.003	0.186 ± 0.017	0.160 ± 0.011	13.380 ± 0.912
1	Etanol acidificado	0.469 ± 0.021	0.063 ± 0.012	0.407 ± 0.009	0.214 ± 0.003	0.077 ± 0.001	0.137 ± 0.002	0.269 ± 0.011	22.488 ± 0.916
2	Etanol acidificado	0.474 ± 0.017	0.071 ± 0.012	0.403 ± 0.005	0.212 ± 0.007	0.073 ± 0.002	0.139 ± 0.005	0.264 ± 0.010	22.070 ± 0.819
3	Etanol acidificado	0.484 ± 0.008	0.072 ± 0.009	0.412 ± 0.005	0.212 ± 0.005	0.077 ± 0.005	0.135 ± 0.001	0.277 ± 0.006	23.100 ± 0.489
4	Etanol acidificado	0.492 ± 0.017	0.072 ± 0.009	0.420 ± 0.008	0.215 ± 0.002	0.081 ± 0.001	0.134 ± 0.002	0.286 ± 0.009	23.907 ± 0.758
		0.480 ± 0.010	0.069 ± 0.004	0.411 ± 0.008	0.213 ± 0.001	0.077 ± 0.003	0.136 ± 0.002	0.274 ± 0.010	22.891 ± 0.798

Nota: Valores promedio de 4 extracciones con cada disolvente y 3 repeticiones en cada extracción ± desviación estándar.

Fuente: Ficha de laboratorio.

Se han realizado 4 extracciones de antocianinas de camote morado CIP 441700 con cada disolvente (agua destilada, etanol al 20% y etanol al 20% acidificado) bajo las mismas condiciones de extracción, se efectuaron tres repeticiones en cada extracción, luego se estimaron las absorbancias netas y las antocianinas totales, finalmente, se calcularon las medias por cada extracción, las cuales se presentaron en la tabla 13.

Tabla 14

*Resultados promedio de la cantidad de antocianinas extraídas de camote morado CIP 441700 (*Ipomoea batatas*) expresado en mg L⁻¹ y rendimiento (%), bajo el efecto de tres disolventes*

n _i	mg L ⁻¹			Rendimiento (%)		
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₁	T ₂	T ₃
1	5.538	12.942	22.488	0.014	0.032	0.056
2	4.425	12.357	22.070	0.011	0.031	0.055
3	3.924	13.804	23.100	0.010	0.035	0.058
4	6.039	14.417	23.907	0.015	0.036	0.060

Nota: T₁= Agua destilada, T₂ = Etanol al 20%, T₃ = Etanol al 20% acidificado

En la tabla 14 se muestran los resultados promedio de antocianinas de camote morado CIP 441700 (*Ipomoea batatas*) en las extracciones realizadas, empleando tres disolventes, expresados en mg L⁻¹ y rendimiento (%), a partir de las evaluaciones en laboratorio.

Los cálculos de los estadísticos de los supuestos de normalidad de los errores, homogeneidad de varianzas, análisis de varianza (ANOVA) y prueba de comparación de medias, se obtuvieron con los datos de la tabla 14.

4.4.1 Prueba Shapiro-Wilk (Wc).

Tabla 15

Prueba de normalidad para los tres disolventes utilizados en la extracción de antocianinas en camote morado CIP 441700 (Ipomoea batatas) en. mg L⁻¹ y rendimiento (%)

Disolvente	Shapiro-Wilk		
	Estadístico Wc	g.l.	P- valor
Agua destilada	0,940	4	0,656
Etanol al 20%	0,975	4	0,871
Etanol al 20% acidificado	0,973	4	0,861

Fuente: Ficha de laboratorio

Los valores que muestra la tabla 15 son iguales en todas las unidades de expresión (mg L⁻¹, %)

Según la prueba Shapiro-Wilk (Wc) para el contenido de antocianinas en los tres disolventes, los P-valores fueron mayores a $\alpha=0,05$ u 5% (nivel de significancia al 5%), indicando que se acepta el Ho: los datos siguen una distribución normal.

4.4.2 Prueba Bartlett.

Tabla 16

Prueba de homogeneidad de varianzas para los tres disolventes utilizados en la extracción de antocianinas en camote morado CIP 441700 (Ipomoea batatas) en. mg L⁻¹ y rendimiento (%)

Test	D.F.	Chi-cuadrado	P-valor
Bartlett	2	0.11	0.948

Fuente: Ficha de laboratorio

Los valores que muestra la tabla 16 son iguales en todas las unidades de expresión (mg L⁻¹, %)

La prueba Bartlett para el contenido de antocianinas en los tres disolventes alcanzó un P-valor mayor a $\alpha=0.05$ (nivel de significancia al 5%), por lo tanto, no se rechaza Ho,

indicando que se acepta la $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2$, satisfaciendo el supuesto que las tres varianzas son homogéneas. Por lo tanto, se procedió a realizar el análisis de varianza.

4.4.3 Análisis de varianza (ANOVA).

Tabla 17

*Análisis de varianza (ANOVA) para los tres disolventes utilizados en la extracción de antocianinas en camote morado CIP 441700 (*Ipomoea batatas*) en mg L^{-1} y rendimiento (%)*

Unidad	Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F_c	$F_{\text{tab}} F_{0.05}$	Valor-P
mg L^{-1}	Disolvente	2	642.3305	321.1652**	398.0087	4.256	0.0001
	Error	9	7.2624	0.8069			
	Total	11	649.5928				
Rendimiento (%)	Disolvente	2	0.0040	0.0020**	398.0087	4.256	0.0001
	Error	9	0.0000	0.0000			
	Total	11	0.0041				

En la tabla 17 se muestra que en las 2 unidades (mg L^{-1} y %) se encontraron que el valor del $F_c > F_{\text{tab}}$ al nivel de probabilidad del 0.05; entonces se verificó H_A : No todas las μ_j son iguales, representándose por dos asteriscos.

Así mismo se hallaron significación estadística ($\text{valor-P}=0.0001 < \alpha=0.05$) para la fuente de variación disolventes, entonces se rechaza H_0 : todos los tratamientos tienen el mismo efecto o resultado, y se considera como válido H_A : No todas las μ_j son iguales, indicando que hay diferencias reales entre los promedios del contenido de antocianinas de camote morado CIP 441700 (*Ipomoea batatas*) extraídos con tres disolventes (tratamientos).

El coeficiente de determinación (R^2) fue igual en las 2 unidades de medición: $R^2=0.986$ o 98,6%. El coeficiente de determinación fue alto, indica que el 98.6% de la respuesta se debió al efecto de los disolventes (tratamientos) y que el 1.4 se debió a otras

causas o el azar. Además, si R^2 es mayor a 80% las conclusiones para el diseño del experimento de un factor con pruebas de laboratorio son válidas.

Los \bar{Y}_i , representan los promedios de los valores de la concentración de antocianinas en todos los tratamientos, así tenemos en las diferentes unidades:

$$\bar{Y}_i: 13.751 \text{ mg L}^{-1}$$

$$\bar{Y}_i: 0.034\%$$

El coeficiente de variación (CV) fue igual en las 2 unidades de medición:

$$CV = \frac{\sqrt{CM_{error}}}{\bar{y}_i} = 6.533\%$$

El coeficiente de variación, $CV = 6.533\%$, es un valor bajo que da confiabilidad a los resultados del experimento. Un ensayo se considera con un nivel de precisión aceptable cuando el coeficiente de variación no supera el 20%, en trabajos de laboratorio se puede exigir coeficientes de variación menores al 10% (Dicovski, 2010)

4.4.4 Prueba de comparación de medias (Tukey).

Una vez que se evidencia que al menos un promedio de tratamiento es diferente, es necesario identificar que tratamiento específico (disolvente) tiene el mejor o mayor efecto.

Tabla 18

Prueba de comparación de medias (Tukey) del contenido de antocianinas en camote morado CIP 441700 (Ipomoea batatas) expresado en mg L^{-1} , rendimiento (%), bajo el efecto de tres disolventes

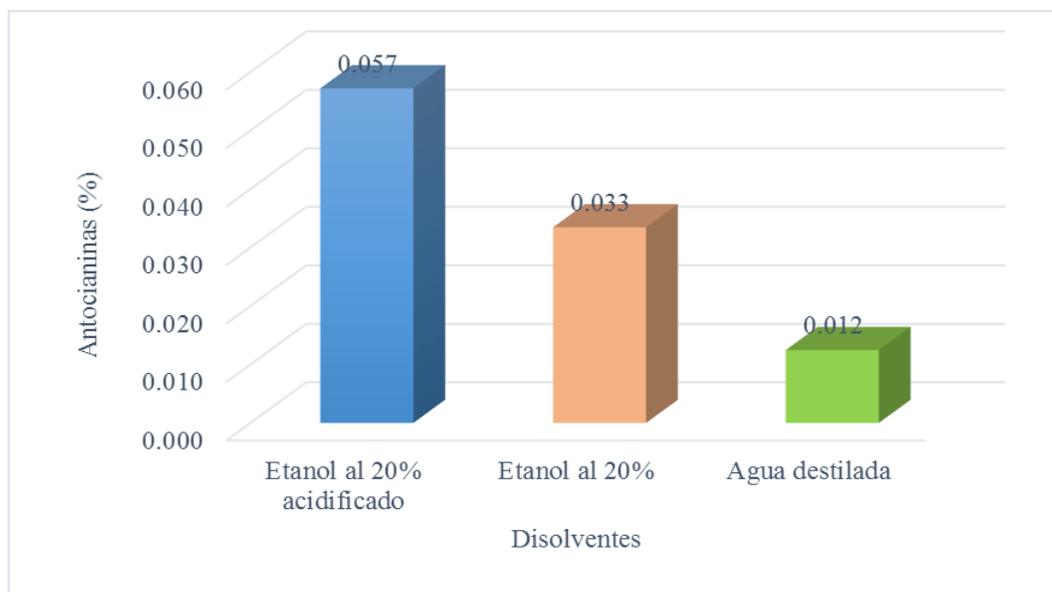
Unidad	Tratamiento (disolventes)	Promedio de antocianinas	Comparaciones en parejas de Tukey (al 95% de confianza)
mg L^{-1}	Etanol al 20% acidificado	22.891	A
	Etanol al 20%	13.380	B
	Agua destilada	4.982	C

Rendimiento (%)	Etanol al 20% acidificado	0.057	A
	Etanol al 20%	0.033	B
	Agua destilada	0.012	C

En la tabla 18 se visualiza que la media de antocianinas en cada tratamiento (disolvente) tiene una letra diferente, las cuales están ubicadas en columnas diferentes, por lo tanto, al usar la prueba de Tukey ($1-\alpha = 0.95$ o confianza 95%), se puede demostrar que las medias de antocianinas en los tres tratamientos son significativamente diferentes, lo cual se repite en cada unidad de expresión (mg L^{-1} , %), resultando que la mejor concentración de antocianinas lo tiene el disolvente etanol al 20% acidificado.

Figura 10

*Rendimiento (%) de extracción de antocianinas en el camote morado CIP 441700 (*Ipomoea batatas*) bajo el efecto de tres disolventes.*



La figura 10 muestra que el mayor rendimiento de extracción de antocianinas lo obtuvo el extracto que empleó el disolvente etanol al 20% acidificado, el cual fue 0.057%, superando estadísticamente a los promedios obtenidos con los disolventes etanol al 20% y agua destilada, cuyos valores fueron 0.033% y 0.012% respectivamente.

Para entender mejor estos resultados, consideramos algunas características de la materia prima y de los disolventes empleados.

Los sólidos solubles de la raíz de camote morado CIP 441700 fueron 9.90°Bx (anexo 4), un valor cercano se encontró en otra investigación realizada en camote morado ($12.5^{\circ}\text{Bx} \pm 0.5$) (Albán y Figueroa, 2011).

El pH de la raíz de camote morado CIP 441700 fue 6.52 ± 0.026 (anexo 4), mismo que es cercano a los valores obtenidos en la Estación Experimental Portoviejo con 6.8 (Cobeña et al., 2017) y Zhindón (2013) con 6.50 ± 0.014 , lo cual nos lleva a mencionar que el camote tiene un pH cercano al neutro, que es 7.

El pH obtenido por el agua destilada fue 5.56 (anexo 6). El agua destilada tiene un pH ácido por debajo de 7.0, casi llegando a 5.5, el motivo es que el agua destilada disuelve el dióxido de carbono del aire, hasta que está en equilibrio dinámico con la atmósfera (Lenntech, 2013)

En relación al pH del etanol al 20% se halló 6.14 (anexo 6), no se han encontrado reportes de pH del etanol a esta concentración, sin embargo, se observó que el pH del etanol al 20% tuvo un valor intermedio entre el pH del agua destilada (5.56) y el del etanol al 96% (7.31), por lo tanto, el pH del etanol al 20% se acercó más al pH neutro. En uno de los disolventes empleados, el alcohol al 20% acidificado con ácido cítrico al 1% se llevó el pH a 3.5.

En nuestra investigación el disolvente etanol al 20% acidificado con ácido cítrico al 1% tuvo un pH menor que los otros disolventes, la acidez tuvo un efecto protector sobre la molécula, por lo cual las antocianinas fueron más estables, obteniéndose así una mayor cuantificación, a mayor pH aparecen estructuras inestables que se degradan con rapidez (Aguilera et al., 2011).

Analizando los disolventes, el agua es considerada el disolvente universal, es de carácter polar, excelente disolvente para solutos polares e iónicos, tiene buena capacidad de extracción en la fase sólido-líquido (Ullari, 2010) por lo cual fue considerada como

disolvente en esta investigación, obteniéndose: 4.982 mg L⁻¹, 0.012%, 0.125 mg g⁻¹, 12.455 mg 100g⁻¹ (anexo 3)

En el disolvente hidro-etanólico al 20%, el carácter polar de la molécula de antocianina permite su solubilidad en disolventes como el etanol y el agua (Zapata, 2014). En la presente investigación la extracción con este disolvente encontró: 13.380 mg L⁻¹, 0.033%, 0.334 mg g⁻¹, 33.450 mg 100g⁻¹ (anexo 3), generalmente se usa etanol para la extracción de los principios activos de las plantas, observándose que hay una mejor extracción agregando etanol, debido a que las antocianinas por su naturaleza orgánica tienen una mejor afinidad por los disolventes orgánicos (Moreno, 2017).

Se usó etanol en la extracción de antocianinas porque es un solvente no tóxico y económico, se añadió el agua para mejorar la extracción de antocianinas hidrofílicas (Zapata, 2014). Se empleó alcohol al 20%, para que no interfiera con las características organolépticas del alimento al cual se le va a añadir.

Se están realizando extracciones de antocianinas con metanol o etanol acidificado, puesto que se consigue la estabilidad de la aglicona a pH inferiores de 3,5. No obstante, se debe tener cuidado en evitar medios fuertemente ácidos, debido a que las antocianinas pueden sufrir hidrólisis ácida rompiendo los enlaces 3-monósidos (Castañeda et al., 2009).

En esta investigación el extracto que empleó etanol al 20% con ajuste de PH a 3.5, obtuvo 22.891 mg L⁻¹, 0.057%, 0.572 mg g⁻¹, 57.228 mg 100g⁻¹ (anexo 3), lo cual muestra mayor contenido de antocianinas, probablemente porque el disolvente propició una mayor actividad antioxidante, por el contrario, en los extractos con disolventes con pH mayor (sin ajustar) hay mayor probabilidad de perder la actividad antioxidante por la inestabilidad estructural que se genera en las antocianinas (Moreno, 2017).

En la bibliografía consultada los autores presentan la cantidad de antocianinas en materia fresca (pulpa) y otros en materia seca (peso seco), por ello he tratado de ser cuidadosa al establecer comparaciones.

Saavedra (2023), evaluó el contenido de antocianinas en la cáscara de camote morado, para ello tomó 100 gramos de la cáscara después añadió 200 ml de etanol a 85° G.L. acidificado, luego licuó y realizó la extracción por lixiviación, seguido de la filtración y concentración. Para estimar el rendimiento de extracción de antocianinas en el estudio de Saavedra se reemplazaron la concentración de antocianinas (55.32 mg L⁻¹) y la concentración de materia vegetal en relación al volumen del disolvente (100 g cáscara / 200 ml del disolvente) en la ecuación 3 de la presente investigación, obteniéndose un rendimiento de 0.011%.

En Saavedra (2023) y la presente investigación se emplearon etanol acidificado con ácido cítrico, a un pH similar (3.5), Saavedra realizó la extracción en la cáscara fresca licuada con etanol a mayor concentración (hay 170 ml de etanol en 200 ml de etanol a 85° G.L) y en este estudio se usó harina de camote con etanol al 20% (existen 20 ml de etanol en los 100 ml), no obstante, el rendimiento de extracción en Saavedra fue 0.011% y en el presente estudio 0.057%, el menor rendimiento en Saavedra podría deberse a que empleó una relación materia prima solvente de 1:2 y nosotros 1:25, además Saavedra realizó la concentración del extracto a una temperatura alta (80°C), en contraste con la temperatura que se usó en este estudio (30°C).

En nuestra investigación el mejor contenido de antocianinas fue de: 22.891 mg L⁻¹ o 0.057%, 0.572 mg g⁻¹, 57.228 mg 100g⁻¹ (anexo 3) (en harina de camote), usando la raíz entera (piel y parénquimas) en el acondicionamiento de la materia prima, en la extracción se empleó etanol al 20% con ácido cítrico al 1% (pH 3.5), la medición del contenido de antocianinas se hizo en el extracto concentrado. Martínez (2015), empleó epidermis de un cultivar de camote morado y obtuvo 9.75 mg L⁻¹, la medición la hizo en un extracto sin concentrar, expresadas en otras unidades tenemos: 0.975 mg g⁻¹ y 0.098% p/p, estos dos últimos valores son mayores posiblemente porque Martínez (2015) usó durante la extracción etanol al 80% acidificado con HCl a un pH 2.0, además la relación materia prima/disolvente empleada fue 5 gramos materia seca en 500 ml del disolvente, en cambio en nuestro estudio se usó 4 gramos en 100 ml, es decir Martínez empleó más disolvente, etanol más concentrado, además usó un ácido fuerte a un pH menor.

En relación a las diferencias de valores de antocianinas por el tipo de ácido usado durante la extracción, en el estudio de Sangoluisa et al. (2017) se prepararon las disoluciones metanol-HCl 0,01% v/v (pH 3.6), metanol-ácido cítrico 1,05% w/v (pH 3.0). Se pesaron 20 g de flor de Jamaica deshidratada y pulverizada, luego se añadieron 100 mL de metanol acidificado, se mantuvo en agitación por una hora y se filtró en un embudo Büchner al vacío. Se realizaron 5 extracciones consecutivas añadiendo 100 mL de metanol en cada extracción, luego se concentró el pigmento a 100 mL en un rotavapor a -150 mbar y 40°C. Se cuantificó el contenido total de antocianinas monoméricas por el método pH diferencial, encontrando que cuando se empleó HCL en la extracción se obtuvo en promedio 1076.4 ± 6.7 mg de antocianinas en 100 g de muestra seca, en cambio cuando se usó ácido cítrico el valor bajó a 997.4 ± 1.9 mg de antocianinas en 100 g de muestra seca. Por lo tanto, en el extracto con HCL hay un aumento en la concentración de antocianinas, lo cual indica que es un medio más estable para las antocianinas, diferencias similares a las obtenidas al comparar los resultados de nuestro estudio con el de Martínez.

Finalmente, esta investigación contribuirá a identificar el método de extracción de antocianinas en el camote morado CIP 441700 (*Ipomoea batatas*) que brinde más antocianinas y así aprovechar mejor sus propiedades en beneficio de la humanidad. Los extractos concentrados de antocianinas facilitarán su consumo y aplicación en la industria farmacéutica y de alimentos. Además, los agricultores organizados podrán ofrecer un producto con valor agregado y con ello incrementar sus ingresos económicos.

4.5 Contrastación de las hipótesis de investigación

Según los resultados de investigación los extractos obtenidos a partir del camote morado CIP 441700 (*Ipomoea batatas*) empleando tres disolventes tuvieron diferentes rendimientos de antocianinas, siendo mayor el rendimiento en el extracto de camote morado que utilizó etanol al 20% acidificado con ácido cítrico al 1%, por lo tanto, se rechaza la H_0 y se acepta la H_A .

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Los volúmenes promedio finales de los extractos de antocianinas de camote morado CIP 441700 (*Ipomoea batatas*) con cada disolvente fueron: 39.0 ml con agua destilada, 33.9 ml con etanol al 20% y 35.5 ml con etanol al 20% acidificado con ácido cítrico al 1%.
- Las concentraciones promedio de antocianinas totales en los extractos fueron: 4.982 mg L⁻¹ en el agua destilada, 13.380 mg L⁻¹ en el etanol al 20% y 22.891 mg L⁻¹ en el etanol al 20% acidificado con ácido cítrico al 1%
- Los rendimientos promedio de antocianinas totales en los extractos fueron: 0.012% en el agua destilada, 0.033% en el etanol al 20% y 0.057% en el etanol al 20% acidificado con ácido cítrico al 1%

5.2 RECOMENDACIONES

- Realizar el tamizado de la harina de camote morado con diferentes tamices, cada uno con orificios de un diámetro determinado para evaluar la extracción con distinto tamaño de partículas.
- Efectuar estudios para determinar las mejores condiciones de almacenamiento de los extractos antociánicos del camote morado CIP 441700 (*Ipomoea batatas*), así como para estimar su tiempo de vida en anaquel con concentraciones aceptables del pigmento.
- En futuras investigaciones realizar aplicaciones de diferentes dosis del extracto de antocianinas considerando el disolvente empleado, a continuación, se plantean algunas:
 - Extracto con agua destilada acidificada con ácido cítrico al 1% (pH ≤ 3.5) en la formulación de papillas con frutas y hortalizas para infantes.
 - Extracto con etanol al 20% o agua destilada acidificada con ácido cítrico al 1% en la impregnación al vacío de cubos de llacón, manzanas o duraznos a distinta presión, temperatura y tiempo; así como extractos con los disolventes

mencionados en bebidas isotónicas a diferentes concentraciones de azúcar y cloruro de sodio.

- Extracto con etanol al 20% sin acidificar o etanol al 20% acidificado con ácido cítrico al 1% en bebidas fermentadas o destiladas a diferentes grados de alcohol.
- Extracto con ácido acético a distinta concentración en la formulación de salsas y chucrut.
- Llevar a cabo estudios microbiológicos de los extractos, así como de los productos en los cuales se aplican.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abril, N., Bárcena, A., Fernández, E., Galván, A., Jorrín, J., Peinado, J., Meléndez-Valdés, F. y Túnez, I. (2005). *Espectrofometría: Espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas*. España (pp. 1-3).
- Aguilera Ortiz, M., Reza Vargas, M.C., Chew Madinaveitia, R.G. y Meza Velásquez, J.A. (2011). Propiedades funcionales de las antocianinas. *Revista de ciencias biológicas y de la salud de la universidad de Sonora*, 13(2),16-22.
- Albán, C., Figueroa, A. y Cornejo, F. (2011). *Elaboración de sopa instantánea a partir de harina de camote (Ipomoea batatas)*. Escuela Superior Politécnica del Litoral de Ecuador. DSpace en ESPOL. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/14784>
- Alfaro, A. (2015). *Ensayos físico químicos. Puntos de fusión, ebullición, calor latente*. España (pp. 29 – 40). <https://laboratoriosuperior.files.wordpress.com/2015/10/tema-7-puntos-de-fusic3b3n-y-ebullicic3b3n-calor-latente.pdf>
- Angurell, I., Casamitjana N., Caubet, A., Dinarés I., Llor, N., Muñoz, D., Nicolás, E., Pérez, M., Dolors, M., Rosell, G., Seco, M. y Velasco, D. (2021). *Operaciones básicas en el laboratorio de química*. España. https://www.ub.edu/oblq/oblq%20castellano/extraccio_fona.html
- Badui. S. (2006). *Química de los alimentos*. (4ta ed.) (pp. 403 – 426). Editorial Pearson Educación.
- Bastidas, S. y De La Cruz, S. (2010). *Utilización de la harina de camote (Ipomoea batatas) en la elaboración de pan*. [Tesis de pregrado. Escuela Superior Politécnica del Litoral de Ecuador] DSpace en ESPOL. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/14430>
- Bolivar, G. (2019, 25 de junio). *Acetato de sodio*. <https://www.lifeder.com/acetato-de-sodio/>

- Brennam, R.M. (1996). *Currants and Goose Berries Ribes Species Saxifragaceae*. Scottish Crop Research Institute.
- Bridgers, E.N., Chinn, M.S. & Truong, V.D. (2010). Extraction of anthocyanins from industrial purple fleshed sweet potatoes and enzymatic hydrolysis of residues for fermentable sugars. *Industrial Crops and Products*, 32(3), 613-620.
- Bridle, P. & Timberlake, C. (1997). Anthocyanins as natural food colours - selected aspects. *Food Chemistry*, 58 (1-2): 103 – 109.
- Cabezudo, G. (1973). *Extracción de colorantes a partir de Achiote*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina del Perú].
- Cardona, L, y Orozco, L. (2014, 19 de febrero). *Cerrado hermético y espacio de cabeza* [presentación de diapositivas]. Slideshare. <https://prezi.com/9-vgwcx5wqvp/cerrado-hermetico-y-espacio-de-cabeza/>
- Castaños E. (2015, 11 de agosto). *Detectores empleados en HPLC de España* [blog] <https://cienciaonthecrest.com/2015/08/11/detectores-empleados-en-hplc/>
- Castañeda Rojas, L.K. y Vásquez Ramos, C.E. (2018). *Determinación del contenido de antocianinas totales del camote morado (Ipomoea batatas L.), provenientes de Virú y Chiclayo, 2017* [Tesis de pregrado, Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo] Repositorio institucional. <http://repositorio.upagu.edu.pe/handle/UPAGU/909>
- Cloruro de potasio (6 de febrero del 2023). En Wikipedia. https://es.wikipedia.org/wiki/Cloruro_de_potasio.
- Cobeña, G., Cañete, E., Mendoza, A., Cárdenas, F. y Guzmán, A. (2017). *Manual técnico del cultivo del camote del Ecuador. Manual N° 106*. Humus editorial. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/4789>
- Cova, V. (2018). *Físico Química Biológica*. http://www.unl.edu.ar/ingreso/cursos/medicina/wp-content/uploads/sites/8/2017/10/Quimica_05.pdf

- Chávez, S. (2014). *Efecto de la temperatura de secado por convección sobre el porcentaje de retención de antocianinas en harina de Ipomoea batatas L. (camote) Var. Morado. Trujillo - Perú.* [Tesis, Universidad César Vallejo]
- Chiriboga, C. & Francis, F. (1973). Ion Exchange Purified Anthocyanin Pigments as a Colorant for Cranberry Juice Cocktail. *Journal of Food Science*, 38(3), 464-467.
- Decreto Supremo n° 007. Reglamento sobre Vigilancia Sanitaria de Alimentos y Bebidas. (1998, 25 de setiembre). Presidente de la República del Perú. Diario Oficial El Peruano.
- Delgado Vargas, F., Jiménez A.R. y Paredes López, O. (2000). Natural pigments, carotenoids, anthocyanins, betalains characteristics, biosynthesis, processing and stability. *Food Science and Nutrition*, 40 (3).
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10408690091189257>
- Dicovski, Luis. 2010. Introducción al Diseño Experimental (pp. 11).
<https://luisdi.files.wordpress.com/2008/08/unidad-3.pdf>
- Dynamica Scientific Ltd. (s. f.). *Instruction manual. Model HALO DB-20 UV-VIS Spectrophotometer. Version N° VI.1.*
<https://hk.techcomp.com.hk/upload/file/ce8d586f71f448a69c960f024f4c65e6.pdf>
- Euro Lab. (s. f.). *User's Guide: Pen type pH meter with temperature display, pH-009(III), Germany.*
- Fennema, O.R. (1993). *Química de los alimentos.* (1ª ed.) Editorial Acribia S.A.
- Fennema, O.R. (2000). *Química de los alimentos.* (2ª ed.) Editorial Acribia S.A.
- Fernández, N.A. (1995). *Estudio de la extracción y pre-purificación de antocianinas de maíz morado (Zea mays L.)* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina del Perú]
- Fuleki, T. & Francis, F. (1968). Quantative methods for analysis. Extraction and determination of total anthocyanin in cranberries. *Journal of Food Science*, 33 (1), 72-77.

- Garzón, G.A. (2008). Las antocianinas como colorantes naturales y compuestos bioactivos: revisión. *Acta biológica Colombiana*. 13(3), 27-36.
- Giusti, M.M. & Wrolstad, R.E. (2001). Characterization and Measurement of Anthocyanins by UV-Visible Spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. 00(1) F1.2.1- F1.2.11
- Gonzales Gonzales, M. (2011, 17 de febrero). *Reconocimiento e inspección de alimentos de origen vegetal. Parámetros indicadores de calidad* [presentación de diapositivas]. Slideshare. <https://es.slideshare.net/monicaglezglez/frutas-y-hortalizas-6965719>
- Gonzales, M. (2010, 08 noviembre). *La guía de química. Transmitancia y absorbancia* [blog] <https://quimica.laguia2000.com/conceptos-basicos/transmitancia-y-absorbancia>
- Guamán Lema, A. (2013). *Validación técnica de la producción de las chichas (jora y morada) elaboradas por la fundación Andinamarca, Calpi – Riobamba. Riobamba – Ecuador*. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/261>
- Herrera Aliaga, M.A. (2017). *Estabilización térmica del extracto colorante de orujos de uva (Vitis aestivalis - cinérea x vitis vinifera) en una bebida modelo*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina del Perú]. Repositorio institucional. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/2968/Q05-H47-T.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Hidalgo Salazar, J.F. (2014). *Estudio del efecto del secado y la fritura al vacío sobre el contenido de antioxidantes de camote (Ipomoea batatas)* [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica Equinoccial del Ecuador]. Archivo digital. <https://1library.co/document/qo3r10jq-estudio-efecto-secado-fritura-vacio-contenido-antioxidantes-ipomoea.html>
- Hrazdina, G. (1974). Reaction of anthocyanin in food products. *Lebesm. Wiss Technol*. 7(4), 193-198.
- Huamán, Z. (1992). Botánica sistemática y morfología de la planta de batata o camote. *Boletín de información técnica 25 del Perú*. 4 – 21.

- Jilin Test Bio-Electron Co., Ltd. (s. f.). *Guía del Usuario: Universal pH Test Strips. China.*
- Laboratorio Matraz.pe. (2019). *Ficha comercial. Agua destilada. Perú.*
- Lardizábal, R. (2003). *Manual de producción de camote, Honduras* (pp. 14 – 17). Fintrac Centro de Desarrollo de Agronegocios. https://hortintl.cals.ncsu.edu/sites/default/files/articles/Manual_de_Produccion_de_Camote.pdf
- Lenntech B.V. (2023) *Agua desionizada/desmineralizada. Estados Unidos.* <https://www.lenntech.es/aplicaciones/proceso/desmineralizada/agua-desionizada-desmineralizada.htm>
- Manzano Naranjo, P.A. (2016). *Extracción de antocianinas a partir de coronta de maíz morado (Zea mays L.) para el aprovechamiento de residuos agrícolas.* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato del Ecuador] Repositorio institucional. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/24479>
- Marín, S; Mejía, C. (2012). *Extracción de colorante a partir de la flor de Jamaica.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería de Nicaragua]. Repositorio Centroamericano SIIDCA-CSUCA. <http://ribuni.uni.edu.ni/619/>
- Martínez, F., Gonzáles, G., Culebras, J. y Tuñón, M. (2002). Los flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes. *Nutrición hospitalaria*, XVII (6) 271 – 278.
- Maza, G. Miniati, E. (1993). *Las antocianinas en frutas, verduras y granos* (1ª ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781351069700>
- Martí, H., Corbino, G. y Chlaudil, H. (2011). La batata: El redescubrimiento de un cultivo. *Ciencia Hoy*. 21 (121), 17-23. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4316128>
- Martínez Rivera, H. (2015). *Técnica de análisis espectrofotométrico de antocianinas en materias primas de la Región Ayacucho.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional san Cristóbal de Huamanga]. Archivo digital. http://209.45.73.22/bitstream/UNSCH/946/1/Tesis%20AI157_Mar.pdf

- Medina, G. (2012). *Extracción de colorante antocianina a partir del maíz morado y su aplicación en la industria alimentaria*. [Monografía de pregrado, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión de Perú]. Archivo digital. <https://vdocuments.mx/monografia-extraccion-de-antocianina.html?page=1>
- Mejía Abanto, D.M. (2016). *Extracción y cuantificación de antocianinas en frambuesa (Rubus idaeus L.) a diferentes temperaturas y tiempos de extracción*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca, Perú] Repositorio institucional. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/1725>
- Mera Morillo, C. (2015). *Desarrollo de técnicas de extracción y análisis de antocianinas y compuestos fenólicos en Jaboticaba (Myrciaria cauliflora)*. [Tesis de pregrado, Universidad de Cadiz] Archivo digital. <https://rodin.uca.es/bitstream/handle/10498/17722/TFG%20Celia%20Final.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Merck KgaA. (2021). *Ficha de datos de seguridad: acetato de sodio trihidrato*. Darmstadt, Alemania.
- Merck KgaA. (2021). *Ficha de datos de seguridad: cloruro de potasio*. Darmstadt, Alemania.
- Molina, J.P. (2004). *Manual del cultivo de camote en el Perú*.
- Moreno Saboya, A.M. (2017). *Extracción química de antocianinas del fruto ACAÍ colombiano (Euterpe Oleracea Mart)*. [Tesis de pregrado, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano de Colombia] Repositorio institucional. <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/bitstream/handle/20.500.12010/2685/EXTRACCI%C3%93N%20QU%C3%8DMICA%20DE%20ANTOCIANINAS%20DEL%20FRUTO%20A%C3%87A%C3%8D%20COLOMBIANO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Norma Metrológica Peruana n° 001. Requisitos para el etiquetado de productos pre-ensados. (2014, 01 de setiembre). Servicio Nacional de Metrología - INDECOPI. Diario Oficial El Peruano.
- Pan Reac Appli Chem ITW Reagents Division. (2021). *Etanol 96% v/v, datos técnicos*. Darmstadt, Alemania. <https://www.itwreagents.com/iberia/es/product/ga-para-analisis->

acs-

isoetanol+96%25+vv+%28reag.+usp%2C+ph.+eur.%29+para+an%C3%A1lisis%2C+acs/131085

Quinatoa, M. A. (2009). Caracterización físico química y nutricional de dos variedades de camote (*Ipomoea batatas* L.) cultivados en un mismo suelo edafoclimático del Ecuador. [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica Equinoccial del Ecuador] Repositorio digital. <http://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/5189>

Qmax S.A. (2011). *Hoja de seguridad de sustancias: Agua destilada. Veracruz. México.*

Rafael Sánchez, E. (2017). *Extracción y cuantificación de antocianinas de maíz morado (Zea mays L.) usando dos solventes a diferentes temperaturas y tiempos de extracción.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca del Perú]. Repositorio institucional. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/1726>

Rein, M. (2005). *Copigmentation reactions and color stability of berry anthocyanins.* [PhD thesis, University of Helsinki, Russia].

Resolución Directoral n° 143. Manual de procedimientos de higiene y saneamiento para la elaboración de alimentos. (2017, 12 noviembre). Ministerio de Salud. Instituto Nacional de Salud Mental. Honorio Delgado – Hideyo Noguchi.

Rodas, Duas. (2020, 23 de julio). *Conozca los principales procesos de fabricación de extractos vegetales en la industria alimentaria.* <https://www.duasrodas.com/blog/es/conozca-los-principales-procesos-de-fabricacion-de-extractos-vegetales-para-la-industria-alimenticia/>

RZBC Grupo Co. LTD. Rizhao. (2017). *Hoja de seguridad: ácido cítrico anhidro. China.* https://www.quidelta.com.mx/archivos/MSDS%20ACIDO%20CITRICO.pdf2018-1211_17_48_07_SyP_sga.pdf

Saavedra Calle, R. (2023). *Extracción de antocianinas a partir de la cáscara de camote (Ipomoea batatas (L.) Lam) y su aplicación como colorante natural en yogur.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Piura]. Repositorio Institucional UNP. <https://repositorio.unp.edu.pe/handle/20.500.12676/4290?locale-attribute=es>

- Salas, D. y Tovalino, S. (2018). *Obtención de antocianinas de papa nativa “yawar wayku” (solanum stenotomum) para la elaboración de un colorante natural aplicable a alimentos*. [Tesis pregrado, Universidad San Ignacio de Loyola del Perú] Repositorio institucional. <https://repositorio.usil.edu.pe/server/api/core/bitstreams/fa8adc6d-7764-45b1-b5d8-7060e2184227/content>
- Sangoluisa, M., Santacruz, C. y Salvador, M. (2017). Efecto del método de extracción de antocianinas de la flor de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) en la eficiencia de celdas solares sensibilizadas. *Avances en ciencias e ingeniería. Sección B*. 11 (17): 352 – 369.
- Sears, F., Zemansky, M., Young, H., Freedman, R. y Ford, L. (2004). *Física Universitaria*. (11ª ed.). Vol.1. (pp. 658 - 659). Pearson Education.
- Shipp, J. & Abdel-Aal, E. (2010). Food Applications and Physiological Effects of Anthocyanins as Functional Food Ingredients. *The Open Food. Science Journal*. 4(1), 7-12.
- Stückrath, R. Petzold, G. (2007). Formulación de una pasta gelificada a partir del descarte de arándanos (*Vaccinium Corymbosum*). *Revista Información Tecnológica*. 18(2), 53-60.
- Ullari, P. (2010). Transporte de masa en extracción fase sólido líquido. Cali. Colombia. *ReCiTerIa*. 10(2)
- Vásquez, A.V. (2014). Diseños experimentales con SAS. (1ª ed.) (pp. 182 – 184, 206 - 207). Edita CONCYTEC-FONDECYT.
- Velarde Cárdenas, A.X. (2018). *Determinación de parámetros tecnológicos para la obtención por evaporación de antocianinas a base de un extracto hidro-alcohólico de coronta de maíz morado (Zea mays) variedad arequipeña*. [Tesis pregrado, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann del Perú]. Repositorio institucional. http://repositorio.unjbg.edu.pe/bitstream/handle/UNJBG/3244/1347_2018_velarde_cardenas_ax_fcag_alimentarias.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Xiu-li, H.E., Xue-li, Li., Yuang-ping, L.V. y Qiang, H.E. (2015). Composition and color stability of anthocyanin-based extract from purple sweet potato. China. *Food Sci. Technol (Campinas)* 35(3), 468-473.
- Yúfera, E. (1979). *Química Agrícola III. Alimentos*. España. (1° ed.). Editorial Alhambra S.A.
- Zapata, S. (1996). *Colorantes Naturales. Exportación de productos procesados*. Perú. *Agroenfoque*. (pp. 83 – 43).
- Zapata, L.M. (2014). *Obtención del extracto de antocianinas a partir de arándanos para ser usado como antioxidante y colorante en la industria alimentaria*. [tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia de España].
- Zhindón, L. M. (2013). *Obtención de harina precocida de camote (Ipomoea batatas L.) para su uso tecnológico en la industria alimentaria*. [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica Equinoccial del Ecuador]. Repositorio institucional. https://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/5041/1/53886_1.pdf

CAPÍTULO VII

ANEXOS

Anexo 1

Cálculo del rendimiento de extracción de antocianinas y de la cantidad de antocianinas en relación a la materia vegetal empleada.

A continuación, brindamos un ejemplo:

Reemplazando las lecturas del espectrofotómetro (absorbancia) en la ecuación 1, tenemos:

$$A_{neta} = (A_{510} - A_{700})_{pH=1,0} - (A_{510} - A_{700})_{pH=4,5} \quad (1)$$

$$A_{neta} = (0.382 - 0.098)_{pH=1,0} - (0.290 - 0.085)_{pH=4,5}$$

$$A_{neta} = 0.284_{pH=1,0} - 0.205_{pH=4,5}$$

$$A_{neta} = 0.079$$

Sustituyendo los datos en la ecuación 2, tenemos:

$$[\text{Antocianinas totales}] = \frac{A_{neta} \cdot M \cdot FD \cdot 10^3}{\epsilon \cdot \ell} \quad (2)$$

$$[\text{Antocianinas totales}] = \frac{0.079 \times 449.2 \text{ mg mol}^{-1} \times 5 \times 10^3}{26900 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1} \times 1 \text{ cm}}$$

$$26900 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1} \times 1 \text{ cm}$$

$$[\text{Antocianinas totales}] = \mathbf{6.59605948 \text{ mg L}^{-1}}$$

Reemplazando el valor de las antocianinas totales y otros datos obtenidos en el laboratorio en la ecuación 3, estimamos el rendimiento de extracción de antocianinas (%) con respecto al camote morado CIP 441700 (*Ipomoea batatas*) seco molido.

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{C^* (\text{mg L}^{-1})}{C^{**} (\text{mg L}^{-1})} * 100 \quad (3)$$

Donde:

C* = Concentración obtenida de antocianinas (mg L⁻¹)

C**= Concentración de materia vegetal en relación al volumen del disolvente (mg L⁻¹)

Estimando C**, en la presente investigación este valor corresponde a 1:25

$$C^{**} = \frac{4 \text{ g camote molido}}{100 \text{ ml del disolvente}} = 0.04 \text{ g ml}^{-1}$$

Convirtiendo g ml⁻¹ a mg L⁻¹

$$C^{**} = \frac{0.04 \cancel{\text{g}}}{\cancel{\text{ml}}} \times \frac{1000 \cancel{\text{ml}}}{1\text{L}} \times \frac{1000 \text{mg}}{\cancel{1\text{g}}} = 40\,000 \text{ mg L}^{-1}$$

Sustituyendo los datos en la ecuación 3:

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{6.59605948 \cancel{\text{mg L}^{-1}} * 100}{40\,000 \cancel{\text{mg L}^{-1}}} = \mathbf{0.0164901487\%}$$

Dado que existen trabajos de investigación que expresan la cantidad de antocianinas por gramo de materia vegetal empleada (mg g⁻¹), para poder compararlos con nuestros resultados, se usó el procedimiento propuesto por Manzano (2016):

Reemplazando el valor de antocianinas totales y otros datos obtenidos del laboratorio en la ecuación 4.

$$\frac{\text{mg antocianinas}}{\text{g camote molido}} = \frac{C^* (\text{mg L}^{-1})}{C^{**} (\text{g L}^{-1})} \quad (4)$$

Donde:

C* = Concentración obtenida de antocianinas en el extracto (mg L⁻¹)

Ejemplo: Antocianinas totales = 6.59605948 mg L⁻¹

C** = Concentración de materia vegetal en relación al volumen del disolvente (g L⁻¹)

Estimando C**, en la presente investigación este valor corresponde a 1:25

$$C^{**} = \frac{4 \text{ g camote molido}}{100 \text{ ml del disolvente}} = 0.04 \text{ g ml}^{-1}$$

Convirtiendo g ml⁻¹ a g L⁻¹

$$C^{**} = \frac{0.04 \text{ g}}{\cancel{\text{ml}}} \times \frac{1000 \cancel{\text{ml}}}{1\text{L}} = 40 \text{ g L}^{-1}$$

Sustituyendo los datos en la ecuación 4:

$$\frac{C^* (\text{mg L}^{-1})}{C^{**} (\text{g L}^{-1})} = \frac{6.59605948 \cancel{\text{mg L}^{-1}}}{40 \cancel{\text{g L}^{-1}}} = \mathbf{0.164901487 \text{ mg g}^{-1}}$$

Anexo 2

Resultados promedio de la cantidad de antocianinas extraídas de camote morado CIP 441700 (Ipomoea batatas) expresado en mg g⁻¹ y mg 100g⁻¹, bajo el efecto de tres disolventes

n _i	mg g ⁻¹			mg 100g ⁻¹		
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₁	T ₂	T ₃
1	0.138	0.324	0.562	13.846	32.354	56.220
2	0.111	0.309	0.552	11.063	30.893	55.176
3	0.098	0.345	0.578	9.811	34.511	57.750
4	0.151	0.360	0.598	15.099	36.042	59.768

Nota: T₁= Agua destilada, T₂ = Etanol al 20%, T₃ = Etanol al 20% acidificado

Anexo 3

Contenido de antocianinas en los extractos de camote morado CIP 441700 (Ipomoea batatas) empleando tres disolventes y expresados en diferentes unidades

Tipo disolvente	Unidades	Media	Desviación estándar	Coefficiente variación %	Mediana
Agua destilada	mg L ⁻¹	4.982	0.976	19.588	4.982
	%	0.012	0.002	19.588	0.012
	mg g ⁻¹	0.125	0.024	19.588	0.125
	mg 100g ⁻¹	12.455	2.440	19.588	12.455
Etanol al 20%	mg L ⁻¹	13.380	0.912	6.813	13.373
	%	0.033	0.002	6.813	0.033
	mg g ⁻¹	0.334	0.023	6.813	0.334
	mg 100g ⁻¹	33.450	2.279	6.813	33.433
Etanol al 20% acidificado	mg L ⁻¹	22.891	0.798	3.488	22.794
	%	0.057	0.002	3.488	0.057
	mg g ⁻¹	0.572	0.020	3.488	0.570
	mg 100g ⁻¹	57.228	1.996	3.488	56.985

Nota: Valores promedio de 4 extracciones con cada disolvente y 3 lecturas en cada extracción.

Anexo 4

Características físico-químicas del camote morado CIP 441700 (Ipomoea batatas)

Muestras	PH	Brix (°Bx)
1	6.53	9.80
2	6.49	9.90
3	6.54	10.00
Media	6.52	9.90
Desviación estándar	0.026	0.100

Fuente: Ficha de laboratorio

Anexo 5

Colorimetría del corte transversal del camote morado CIP 441700 (Ipomoea batatas)

Muestras	L*	a*	b*	C*	h*
1	14.03	15.25	-4.95	16.03	-17.98°
2	12.70	15.52	-4.97	16.30	-17.76°
3	17.59	18.25	-4.58	18.82	-14.09°
Media	14.77	16.34	-4.83	17.05	-16.61°
Desviación estándar	2.53	1.66	0.22	1.54	2.19

Fuente: Ficha de laboratorio

Anexo 6

pH de los disolventes y del alcohol al 96%

Muestras	Agua destilada	Alcohol al 20%	Alcohol al 96%
1	5.51	6.04	7.29
2	5.52	6.18	7.31
3	5.64	6.19	7.32
Media	5.56	6.14	7.31
Desviación estándar	0.072	0.084	0.015

Fuente: Ficha de laboratorio

Anexo 7

Temperatura (°C) de ebullición según los disolventes empleados (lugar: ciudad Cajamarca, altura: 2750 m.s.n.m., presión atmosférica: 552 mm.Hg.)

Muestras	Agua destilada	Etanol al 20%	Etanol al 20% acidificado
1	91.2	81.2	89.1
2	91.0	80.9	89.0
3	90.9	81.0	88.7
Media	91.0	81.0	88.9
Desviación estándar	0.2	0.2	0.2

Fuente: Ficha de laboratorio

Anexo 8

Preparación de algunos disolventes

Preparación de etanol al 20%

$$V_1C_1 = V_2C_2$$

$$V_1 \times 96\% = 100 \text{ ml} \times 20\%$$

$$V_1 = \frac{100 \text{ ml} \times 20\%}{96\%}$$

$$V_1 = 20.86 \text{ ml de alcohol al 96\%}$$

$$100 \text{ ml} - 20.86 \text{ ml} = 79.17 \text{ ml}$$

Se agregó 79.17 ml de agua destilada a los 20.86ml de alcohol al 96% para obtener 100 ml de alcohol al 20%

Preparación de ácido cítrico al 1%

Procedimiento general:

1. Pesar en una balanza analítica 1 gramo de ácido cítrico anhidro y disolverlo en 25 ml de agua destilada contenidas en un beaker de 50 ml, agitar hasta completar la disolución haciendo uso de un agitador de vidrio.
2. Transferir la solución a un frasco volumétrico de 100 ml y diluir con agua destilada hasta llegar al volumen.
3. Homogeneizar, envasar y rotular.

Preparación de una disolución de etanol al 20% con ácido cítrico al 1%

Procedimiento general:

1. Colocar etanol al 20% en un frasco volumétrico de 1000 ml, mediante una pipeta volumétrica de 20 ml transferir ácido cítrico al 1% al frasco hasta llegar a un pH 3.5.

Anexo 9

Operación y calibración de pH metro

pH METRO (pH-009 III). High Accuracy Pen Type pH Meter

(with temperature display)

Euro Lab. (s. f.), señala las siguientes instrucciones:

Operación:

1. Remover la tapa protectora.
2. Primero enjuagar el electrodo con agua destilada y secarlo con papel filtro.
3. Activar el pHmetro desplazando el interruptor de encendido/apagado localizado en la parte superior de la caja de batería.
4. Sumergir el electrodo del pH metro en una solución muestra, la solución muestra debe cubrir la señal del nivel de inmersión del pH metro.
5. Mover delicadamente el pH metro y esperar la estabilización de la lectura.
6. Después de usar, apagar el pH metro, usar el agua destilada para lavar el electrodo y recolocar la tapa.

Calibración del pH:

1. Sumergir el electrodo en una solución buffer estándar de fosfato pH 6.86 (a los 25°C) y mover suavemente el electrodo.
2. Manipular suavemente el tornillo regulador con un destornillador hasta que el valor de la solución buffer corresponda al valor de la temperatura obtenida.
3. Sumergir el electrodo en una solución buffer estándar de bórax pH 4.01
4. Esperar al menos un minuto, hasta que el valor de la solución buffer corresponda a la medida de la temperatura obtenida.

pH TEST STRIP (Super sensitive wide range: pH0 - pH14)

Jilin Test Bio-Electron Co., Ltd. (s. f.), brinda las siguientes instrucciones:

1. Tomar una tira de la caja y sumergirla en una solución, asegurando que cubra los 4 paneles.
1. Luego observar el cambio de color (en 15 segundos).
2. Comparar los resultados con los colores de la tarjeta estándar de colores.

Anexo 10

Insumos químicos usados en los buffers del método pH diferencial

- **Cloruro de potasio (fórmula química: KCl, masa molar: 74.55 g mol⁻¹):** El cloruro de potasio puede reaccionar como una fuente de ion cloruro. Se utiliza en medicina, aplicaciones científicas y procesamiento de alimentos (Wikimedia Foundation Inc. 2021). El anexo 10.1 muestra algunas características generales del cloruro de potasio.

Anexo 10.1.

Características generales del cloruro de potasio

Característica	Descripción
Estado de agregación	Sólido
Apariencia	Blanco cristalino
Estructura cristalina	Cúbica centrada en las caras
Densidad	1.987 g cm ⁻³ (20 °C)
Almacenamiento	5-30°C

Fuente: Adaptado de Merck KgaA (2021).

- **Acetato de sodio trihidrato (fórmula química: CH₃COONa * 3 H₂O Masa molar: 136.08 g mol⁻¹):** Es una sal formada a partir del sodio del ácido acético. Se usa como reactivo para la realización de análisis de laboratorio, de investigación y química fina.

Así se destaca su función amortiguadora del pH, junto con el ácido acético. El amortiguador acetato tiene un pKa = 4,7; lo que le confiere una alta eficiencia en la regulación del pH en un medio ácido con valores de pH comprendidos entre 3 y 6. En el anexo 10.2 se presentan algunas características generales del acetato de sodio trihidrato (Bolívar, 2019).

Anexo 10.2.

Características generales del acetato de sodio trihidrato

Característica	Descripción
Estado físico	Sólido
Color	Blanco granulometría
Olor	Característico
Densidad	1.42 g cm ⁻³ (20 °C)
Almacenamiento	5-30°C

Fuente: Adaptado de Merck KgaA (2021).

Anexo 11

Preparación de las soluciones amortiguadoras para el método pH diferencial

Se necesitó disponer de un pH metro calibrado. Para la evaluación espectrofotométrica del contenido de antocianinas en el extracto, se requirió la preparación de las soluciones tampón o buffer para las lecturas a pH 1.0 y pH 4.5, para lo cual se aplicó el protocolo planteado por Giusti y Wrolstad (2001):

1. Buffer pH 1.0 (cloruro de potasio 0.025M)

Se pesó 1.86 g de KCL y se colocó en un beaker, se añadió 980 ml de agua destilada para su disolución, se ajustó el pH a 1.0 (+/-0.05) con HCL concentrado con la ayuda de una pipeta, el volumen adicionado fue de aproximadamente 6.3 – 6.5 ml, se trasvasó a una fiola de 1 litro y se enrasó con agua destilada. Esta solución es estable a temperatura de la habitación por pocos meses, el pH fue verificado y ajustado antes de usarse.

2. Buffer pH 4.5 (acetato de sodio trihidrato 0.4M)

Se pesó 54.43 gramos de acetato de sodio trihidrato (CH₃COONa.3H₂O), se colocó en un beaker, se añadió 960 ml de agua destilada para su disolución, se midió el pH y se ajustó a 4.5 (+/-0.05) con HCL concentrado (20 ml), se trasvasó a una fiola de 1 litro y se enrasó con agua destilada. Esta solución es estable a temperatura de la habitación por pocos meses, el pH fue verificado y ajustado antes de usarse.

Anexo 12

Manejo del espectrofotómetro modelo HALO DB-20 UV-VIS

Dynamica Scientific Ltd. (s. f.), señala lo siguiente:

- Mirar que esté conectado a una fuente de energía eléctrica
- Presionar el botón de power, dejar correr la pantalla de iniciación
- Aparecerá una pantalla con el menú principal, esta pantalla te ofrece 7 alternativas, presiona la tecla con el número 2 (Wavelength Scan) del panel de funciones, números/letras. A continuación, presionar la tecla 1 (Parameter Setup) del panel de funciones, números/letras. Apareció un sub menú en la parte derecha de la pantalla, presionar 2 (Start WL, nm.) en el panel de funciones, números/letras, ingresar 700. Después presionar 3 (Stop WL, nm.) ingresar 510.
- Luego regresar a la pantalla con el menú principal, esta pantalla te ofrece 7 alternativas, presionar la tecla con el número 1 (Photometry) del panel de funciones, números/letras. Hay un sub menú con 7 alternativas, elige el número 1 (Parameter Setup), apareció otro sub menú en la parte derecha de la pantalla con 2 alternativas, elegir el número 1 (Data Mode)
- Abrir la puerta del compartimiento de muestras, sacar las cubetas de la porta-cubetas y verificar que estén limpias, colocar en una cubeta la muestra y en la otra agua destilada (blanco) y fíjalas en el porta-cubiertas (el haz de luz debe entrar y salir por las caras lisas de las cubetas) cerrar la puerta del compartimento.
- En el panel de funciones, números/letras, marcar el número 0, para empezar a leer la muestra.
- Finalmente se copiaron las absorbancias a 510 y 700 nm.
- Regresar a la pantalla con el menú principal y apagar la máquina presionando power.

Anexo 13

Informe del análisis proximal del camote morado CIP 441700 (*Ipomoea batatas*)


UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS PECUARIAS
LABORATORIO DE ANÁLISIS Y CONTROL DE ALIMENTOS
CIUDAD UNIVERSITARIA AV. ATAHUALPA N° 1050 - EDIFICIO 2A - 204 - FIJO 076365974 - CELULAR N° 993066941

INFORME DEL ANÁLISIS PROXIMAL: BROMATOLÓGICO (2019)

SOLICITANTE: GHICEL Y ESMILA FLORÍNDEZ CHÁVEZ – TESISISTA DE LA EAP INDUSTRIAS ALIMENTARIAS - FCA
PRODUCTO: CAMOTE MORADO CIP 441700 (*Ipomoea batata*) - DENOMINACIÓN RESPONSABILIDAD DE LA TESISISTA
PROCEDENCIA: DISTRITO, PROVINCIA Y REGIÓN LAMBAYEQUE, PERÚ
PRESENTACIÓN: PRODUCTO CONTENIDO EN BOLSA DE PLÁSTICO.

CÓDIGO DE REGISTRO SANITARIO : -----
FECHA DE PRODUCCIÓN : -----
FECHA DE VENCIMIENTO : -----

RESPONSABLE DEL MUESTREO: LA SOLICITANTE, MUESTRA PROPORCIONADA POR LA TESISISTA.
TAMAÑO O N° DE LOTE : -----
FECHA DE RECEPCIÓN EN LABORATORIO : 22/07/2019
FECHA DE INICIO DEL ANÁLISIS : 23/07/2019
FECHA DE FINALIZACIÓN DEL ANÁLISIS : 31/07/2019

EXÁMEN SOLICITADO: BROMATOLÓGICO - MÉTODO OFICIAL DE ANÁLISIS "ASSOCIATION of OFFICIAL ANALYTICAL CHEMIST - AOAC - 1997"

RESULTADOS: EXÁMEN FÍSICO QUÍMICO (BASE SECA)

PARÁMETROS EVALUADOS (%)	CAMOTE MORADO CIP 441700
MATERIA SECA	30.89
PROTEÍNA BRUTA	2.14
EXTRACTO ETÉREO (GRASA BRUTA)	0.32
FIBRA CRUDA	3.59
CENIZAS (MINERALES TOTALES)	2.07
EXTRACTO LIBRE DE NITRÓGENO (CHOS)	91.87
ENERGÍA BRUTA (Kcal / Kg.)	4113.06


UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS PECUARIAS
LABORATORIO DE ANÁLISIS Y CONTROL DE ALIMENTOS
Ing. Jorge L. Alcántara Mendoza
REG. CIP N° 120182
TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo 14

Matriz de consistencia

Título: “Obtención del extracto y su rendimiento de antocianinas en el camote morado CIP 441700 (<i>Ipomoea batatas</i>) utilizando tres disolventes diferentes de extracción”				
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA
<p>Formulación:</p> <p>¿Cuál es el extracto con mayor rendimiento de antocianinas a partir del camote morado CIP 441700 (<i>Ipomoea batatas</i>) utilizando tres disolventes?</p>	<p>Objetivo general:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Determinar el extracto y su rendimiento de antocianinas a partir del camote morado CIP 441700 (<i>Ipomoea batatas</i>) utilizando tres disolventes de extracción. <p>Objetivos específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Identificar los volúmenes de los extractos de antocianinas del camote morado CIP 441700 (<i>Ipomoea batatas</i>) por cada uno de los disolventes de extracción. - Medir la concentración de antocianinas totales presentes en el extracto conseguido por cada uno de los disolventes de extracción. - Determinar el rendimiento de antocianinas totales en el extracto conseguido por cada uno de los disolventes de extracción. 	<p>H₀:</p> <p>El extracto obtenido con uno de los disolventes no es el de mayor rendimiento de antocianinas en el camote morado CIP 441700 (<i>Ipomoea batatas</i>)</p> <p>H_A:</p> <p>El extracto obtenido con uno de los disolventes es el de mayor rendimiento de antocianinas en el camote morado CIP 441700 (<i>Ipomoea batatas</i>)</p>	<p>Variables independientes:</p> <p>Tipo de disolvente de extracción:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Agua destilada ○ Etanol 20% ○ Etanol 20% acidificado con ácido cítrico 1%: pH: 3.5 <p>Variable dependiente:</p> <p>Rendimiento de antocianinas (%)</p> <p>El resto de parámetros en las diferentes etapas del flujograma se han mantenido constantes en los tres disolventes.</p>	<p>Tipo de investigación:</p> <p>El presente trabajo de investigación es del tipo experimental</p> <p>Diseño de investigación:</p> <p>Se conducirá mediante un diseño completamente al azar (DCA), un factor (tipo de disolvente) con tres niveles.</p> <p>Técnicas de procesamiento de análisis de datos:</p> <p>Se uso el software SAS (Statistical Analysis Systems) 9.4.</p>

Anexo 15

Fotos

Figura 1
Camote en láminas



Figura 2
Camote con cortes más pequeños



Figura 3
Secado de las piezas pequeñas



Figura 4
Molido de las piezas secas



Figura 5
Pesado de la muestra molida



Figura 6
Medición del volumen del disolvente



Figura 7
Unión de la muestra molida con el disolvente



Figura 8
Extracción de antocianinas en la estufa



Figura 9
Filtración al vacío



Figura 10
Concentración al vacío



Figura 11
Centrifugación del extracto concentrado



Figura 12
Preparación del buffer a pH 1



Figura 13
Buffers a pH 1 y a pH 4.5



Figura 14
Estabilización de la alícuota del extracto



Figura 15
Lectura en el espectrofotómetro



Figura 16
Extractos de antocianinas con los tres disolventes



Figura 17
Extractos de antocianinas envasados y etiquetados





Dr. Salhuana Granados José Gerardo
Asesor
Cod. 02000