



Evaluación de propiedades nutricionales y biológicas del fruto de *Carica pentagona*

Heilborn (babaco) en varios estadios de madurez postcosecha.

Canchignia Guacollantes, Galo Mauricio

Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Ingeniería en Biotecnología

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en Biotecnología

Ph. D. Mihai, Raluca Alexandra

23 de agosto de 2023

## Informe de Originalidad



Galo .pdf



## Scan details

Scan time:  
August 21th, 2023 at 16:58 UTC

Total Pages:  
48

Total Words:  
11832

## Plagiarism Detection

|      | Types of plagiarism | Words   |
|------|---------------------|---------|
| 3.5% | Identical           | 0.3% 31 |
|      | Minor Changes       | 0.2% 20 |
|      | Paraphrased         | 3% 360  |
|      | Omitted Words       | 0% 0    |

## AI Content Detection

|     | Text coverage         |
|-----|-----------------------|
| N/A | AI text<br>Human text |

### Plagiarism Results: (11)

#### cqb201d.pdf

0.8%

<https://www.medigraphic.com/pdfs/revespciequibio/cqb-202...>

PUBLICACIÓN CONTINUA ARTÍCULO ORIGINAL © 2020 Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. Este es ...

#### 426360099004.pdf

0.7%

<https://www.redalyc.org/jatsrepo/4263/426360099004/4263...>

Revista Boliviana de Química ISSN: 0250-5460 ISSN: 2078-3949  
revbolquim@outlook.com Universidad Mayor de San Andrés Bolivia Ortiz S....

#### TESIS FAR618\_Qui.pdf

0.6%

<http://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/unsch/5166/1/tesi...>

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD ESCUELA PROFESIONAL DE FARMACIA Y BIOQUÍMIC...

.D.

## Certificación



**Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura**

**Carrera de Ingeniería en Biotecnología**

## Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: **“ Evaluación de propiedades nutricionales y biológicas del fruto de *Carica pentagona* Heilborn (babaco) en varios estadios de madurez postcosecha”** fue realizado por el señor **Canchignia Guacollantes Galo Mauricio** el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 23 de agosto de 2023



**Raluca Alexandra Mihai, Ph.D.**

**C.I. 1757487507**





Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Ingeniería en Biotecnología

Responsabilidad de autoría

Yo, Canchignia Guacollantes, Galo Mauricio, con C.C. 1725903585, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: "Evaluación de propiedades nutricionales y biológicas del fruto de *Carica pentagona* Heilborn (babaco) en varios estadios de madurez postcosecha" es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales y referenciado las citas bibliográficas.

Sangolquí, 23 de agosto de 2023

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Galo Mauricio Canchignia Guacollantes'.

Canchignia Guacollantes Galo Mauricio

C.C. 1725903585





Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Ingeniería en Biotecnología

**Autorización de publicación**

Yo, **Canchignia Guacollantes, Galo Mauricio**, con C.C. 1725903585, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **"Evaluación de propiedades nutricionales y biológicas del fruto de *Carica pentagona* Heilborn (babaco) en varios estadios de madurez postcosecha"** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 23 de agosto de 2023

A handwritten signature in blue ink, which appears to read 'Galo Mauricio'.

**Canchignia Guacollantes Galo Mauricio**

C.I. 1725903585

### **Dedicatoria**

El presente trabajo va dedicado a mis padres, Ana Guacollantes y Rafael Canchignia, a mis hermanos, Jaime, Wilson y Paola, y a mi sobrino Alexis, los cuáles con su apoyo y cariño incondicional me han acompañado durante toda mi etapa universitaria y sobre todo me han acompañado en mis éxitos y fracasos a lo largo de mi vida.

A mis padrinos, Gladys Canchignia y Guido Panchi por cuidarme y transmitirme un cariño parecido al de madre y padre.

A mis mascotas, Bombi, Kyara, Lucas, Balú y otros que con su compañía también me han dado la calma y paz interna necesaria para mantenerme siempre tranquilo y desestresado.

A mí, por no darme por vencido antes las adversidades que han acontecido y por mantener siempre la confianza en mi mismo sabiendo siempre de mis cualidades y mis defectos.

*Galo Mauricio Canchignia Guacollantes*

## Agradecimientos

En primer lugar, a mi madre, Ana, por ser la persona más importante de mi vida en todo aspecto, pues solamente con mantenerla a mi lado tengo la motivación y fuerza suficiente para seguir adelante, por ser quién me ha inculcado los valores para manejarme en la vida y que me han llevado a ser la persona que soy ahora.

A mi padre, Rafael, por ser el apoyo económico y confiar siempre en mis capacidades para cumplir cada reto que me he propuesto, por ser un ejemplo de trato hacia un hermano y por sobre todas las cosas por transmitirme la mayor tranquilidad los últimos días antes de culminar este proyecto.

A mi hermano, Jaime, por ser el hermano acolitador que es, por mantener siempre el respeto y los valores entre nosotros y sobre todo por ser el ejemplo a seguir en esta etapa universitaria además de inculcarme la reciprocidad hacia nuestros padres desde el entorno interno de nuestro hogar.

A mis otros dos hermanos, Wilson y Paola, por el apoyo emocional y su confianza, por las experiencias vividas en esta etapa y por la calma que siempre me han transmitido al momento en que he tomado mis decisiones.

A mi sobrino, Alexis, por ser la chispa de alegría en mi hogar.

A los amigos que me ha regalado la vida a lo largo de mi corto trayecto por ella, les agradezco por la humildad y el cariño hacia mi persona, nunca podré devolverles el amor y respeto que siempre me han tenido.

A mis colegas de la universidad, por pasar todas las etapas de alegría y tristeza que un joven universitario debe pasar para llegar a este momento, por las anécdotas, las broncas, las risas y las borracheras que sin duda alguna han reforzado nuestro vínculo de amistad.

A LIBE perteneciente al CICTE por permitirme desarrollar mi proyecto de investigación en sus instalaciones.

A los miembros del laboratorio LIBE por transmitirme el conocimiento necesario para desarrollar mi tesis.

A la doctora Raluca Mihai, mi tutora y docente, por permitirme ser miembro de alguno de sus proyectos. Sobre todo, le agradezco por la paciencia y la confianza, no fui su mejor tesista, pero siempre traté de hacer el mejor trabajo posible. Sin duda, ha sido una de las mejores docentes que he podido tener en esta última etapa universitaria.



## Índice de contenidos

|   |    |
|---|----|
| Informe de Originalidad .....                     | 2  |
| Certificación .....                               | 3  |
| Dedicatoria .....                                 | 6  |
| Agradecimientos .....                             | 7  |
| Índice de abreviaturas.....                       | 17 |
| Resumen.....                                      | 18 |
| Abstract .....                                    | 19 |
| Capítulo I: Introducción.....                     | 20 |
| Antecedentes .....                                | 20 |
| Justificación del problema.....                   | 22 |
| Objetivos del proyecto .....                      | 24 |
| <i>Objetivo general</i> .....                     | 24 |
| <i>Objetivos específicos</i> .....                | 24 |
| Hipótesis del proyecto .....                      | 24 |
| Capítulo II: Marco teórico .....                  | 25 |
| Cultivo de babaco en el Ecuador .....             | 25 |
| Clasificación taxonómica.....                     | 26 |
| Descripción botánica.....                         | 27 |
| Condiciones edafoclimáticas para su cultivo ..... | 28 |
| Estadios de madurez del fruto .....               | 29 |
| <i>Estadio de madurez fisiológica</i> .....       | 30 |

|   |    |
|---|----|
|   | 10 |
| <i>Estadio de madurez incompleta u organoléptica</i> .....                  | 30 |
| <i>Estadio de madurez comercial</i> .....                                   | 31 |
| Metabolitos secundarios – principios bioactivos en el fruto .....           | 31 |
| Estrés oxidativo y capacidad antioxidante en el fruto .....                 | 32 |
| Métodos de cuantificación de la capacidad antioxidante .....                | 34 |
| <i>Método DPPH</i> .....  | 35 |
| <i>Método ABTS</i> .....  | 36 |
| <i>Método FRAP</i> .....  | 36 |
| Principios activos con capacidad antioxidante .....                         | 36 |
| <i>Compuestos fenólicos</i> .....   | 37 |
| <i>Flavonoides</i> .....  | 37 |
| Capítulo III: Metodología .....   | 38 |
| Responsable del proyecto .....  | 38 |
| Localización Geográfica .....   | 38 |
| Período de investigación .....  | 38 |
| Obtención de la muestra .....   | 38 |
| Tratamiento de la muestra .....   | 38 |
| Extracción de principios activos .....                                      | 39 |
| <i>Contenido de fenoles totales – Método Folin – Ciocalteau</i> .....       | 39 |
| <i>Contenido de flavonoides totales – Método con AlCl<sub>3</sub></i> ..... | 39 |
| Determinación de la capacidad antioxidante .....                            | 40 |
| <i>Determinación del carácter antioxidante por el método FRAP</i> .....     | 40 |

|   |    |
|---|----|
| <i>Determinación del carácter antioxidante por el método DPPH</i> .....                     | 41 |
| <i>Determinación del carácter antioxidante por el método ABTS</i> .....                     | 42 |
| Determinación del peso seco .....   | 42 |
| Análisis estadístico .....  | 42 |
| <i>Factores de estudio</i> .....  | 43 |
| <i>Unidad experimental</i> .....  | 43 |
| <i>Tratamientos</i> .....   | 43 |
| <i>Esquema de análisis de varianza</i> .....  | 44 |
| Capítulo IV: Resultados .....   | 46 |
| Obtención de muestras .....   | 46 |
| Obtención de extractos con el uso de etanol .....   | 47 |
| Determinación y cuantificación del carácter antioxidante .....                              | 47 |
| <i>Cuantificación del carácter antioxidante por el método ABTS</i> .....                    | 48 |
| <i>Cuantificación de la capacidad antioxidante por el método DPPH</i> .....                 | 52 |
| <i>Cuantificación del carácter antioxidante usando el método FRAP</i> .....                 | 57 |
| <i>Cuantificación del contenido de fenoles totales – Método de Folin – Ciocalteau</i> ..... | 61 |
| <i>Cuantificación del contenido de Flavonoides totales</i> .....                            | 63 |
| Correlación de Pearson .....  | 67 |
| Determinación del peso seco .....   | 68 |
| Capítulo V: Discusión .....   | 69 |
| Capítulo VI: Conclusiones y Recomendaciones .....   | 74 |
| Conclusiones .....  | 74 |

|                       |    |
|-----------------------|----|
| Recomendaciones ..... | 75 |
| Bibliografía .....    | 76 |
| Apéndices .....       | 89 |



## Índice de tablas

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 1</b> <i>Clasificación taxonómica del babaco</i> .....  | 26 |
| <b>Tabla 2</b> <i>Métodos subjetivos para la evaluación de madurez de frutos</i> .....   | 29 |
| <b>Tabla 3</b> <i>Métodos objetivos para la evaluación de madurez de frutos</i> .....  | 30 |
| <b>Tabla 4</b> <i>Mecanismos secundarios presentes en frutos de la familia de las sustancias fenólicas</i>   | 32 |
| <b>Tabla 5</b> <i>Requisitos a cumplir para estandarizar métodos de cuantificación de capacidad antioxidante</i> .....   | 35 |
| <b>Tabla 6</b> <i>Diseño experimental factorial 2x3 de los estadios de maduración de babaco para la determinación de compuestos fitoquímicos: fenoles totales (TPC) y flavonoides totales (TFC).</i> | 43 |
| <b>Tabla 7</b> <i>Unidad estadística factorial 3x3 para la determinación de la actividad antioxidante en muestras de babaco.</i> .....   | 44 |
| <b>Tabla 8</b> <i>Esquema de un ANOVA para el diseño factorial mixto 2x3 y 3x3.</i> .....  | 44 |
| <b>Tabla 9</b> <i>Descripción y nomenclatura de las tres muestras de Carica pentagona Heilborn</i> .....   | 46 |
| <b>Tabla 10</b> <i>Pesos frescos, pesos secos y % de humedad en muestras de babaco.</i> .....  | 68 |

## Índice de figuras

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1</b> <i>Ejemplar de Carica pentagona Heilborn con su respectivo fruto</i> .....   | 26 |
| <b>Figura 2</b> <i>Ejemplares obtenidos del muestreo de Carica pentagona Heilborn</i> .....  | 47 |
| <b>Figura 3</b> <i>Porcentaje de inhibición de los RL de muestras de babaco por el método ABTS.</i> .....                                      | 48 |
| <b>Figura 4</b> <i>Medidas de resumen descriptivas de la capacidad antioxidante por el método ABTS para muestras de babaco.</i> .....          | 49 |
| <b>Figura 5</b> <i>Test Shapiro – Wilk para la evaluación del supuesto de normalidad por el método ABTS.</i><br>.....                          | 49 |
| <b>Figura 6</b> <i>Análisis de varianza usando los residuos para la evaluación del supuesto de homocedasticidad por el método ABTS.</i> .....  | 50 |
| <b>Figura 7</b> <i>Diagrama de dispersión para la evaluación de independencia de datos por el método ABTS.</i> .....                           | 51 |
| <b>Figura 8</b> <i>Análisis de varianza del carácter antioxidante en muestras de babaco para el método ABTS.</i> .....                         | 51 |
| <b>Figura 9</b> <i>Prueba de significancia de Tukey sobre el carácter antioxidante en muestras de babaco para el método ABTS.</i> .....        | 52 |
| <b>Figura 10</b> <i>Porcentaje de inhibición de los RL de muestras de babaco por el método DPPH.</i> .....                                     | 53 |
| <b>Figura 11</b> <i>Medidas de resumen descriptivas de la capacidad antioxidante por el método DPPH para muestras de babaco.</i> .....         | 54 |
| <b>Figura 12</b> <i>Test Shapiro – Wilk para la evaluación del supuesto de normalidad por el método DPPH.</i><br>.....                         | 54 |
| <b>Figura 13</b> <i>Análisis de varianza usando los residuos para la evaluación del supuesto de homocedasticidad por el método DPPH.</i> ..... | 55 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 14</b> Diagrama de dispersión para la evaluación de independencia de datos por el método DPPH.....                           | 55 |
| <b>Figura 15</b> Análisis de varianza del carácter antioxidante en muestras de babaco para el método DPPH.....                         | 56 |
| <b>Figura 16</b> Prueba de significancia de Tukey sobre el carácter antioxidante en el fruto de babaco para el método DPPH. ....       | 56 |
| <b>Figura 17</b> Poder reductor expresados en mM Fe <sup>2+</sup> de muestras de babaco para la prueba FRAP. ....                      | 57 |
| <b>Figura 18</b> Medidas de resumen descriptivas del poder reductor por el método FRAP para muestras de babaco. ....                   | 58 |
| <b>Figura 19</b> Test Shapiro – Wilk para la evaluación del supuesto de normalidad por el método FRAP. ....                            | 58 |
| <b>Figura 20</b> Análisis de varianza usando los residuos para la evaluación del supuesto de homocedasticidad por el método FRAP. .... | 59 |
| <b>Figura 21</b> Diagrama de dispersión para la evaluación de independencia de datos por el método FRAP. ....                          | 59 |
| <b>Figura 22</b> Análisis de varianza del poder reductor en muestras de babaco para el método FRAP. ....                               | 60 |
| <b>Figura 23</b> Prueba de significancia de Tukey sobre el carácter antioxidante en el fruto de babaco para el método FRAP.....        | 60 |
| <b>Figura 24</b> Contenido de fenoles totales en muestras de babaco. ....  | 61 |
| <b>Figura 25</b> Medidas de resumen descriptivas del contenido de fenoles totales en muestras de babaco.....                           | 62 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 26</b> Incumplimiento del Test Shapiro – Wilk para la evaluación del supuesto de normalidad en la determinación de fenoles totales. .... | 62 |
| <b>Figura 27</b> Test de Kruskal Wallis (análisis no paramétrico) del contenido total de fenoles. ....   | 63 |
| <b>Figura 28</b> Comparación de medias para el método Folin – Ciocalteau. ....   | 63 |
| <b>Figura 29</b> Contenido de flavonoides totales en muestras de babaco. ....  | 64 |
| <b>Figura 30</b> Medidas de resumen descriptivas del contenido de flavonoides totales en muestras de babaco. ....                                  | 64 |
| <b>Figura 31</b> Test Shapiro – Wilk para la evaluación del supuesto de normalidad para flavonoides totales. ....                                  | 65 |
| <b>Figura 32</b> Análisis de varianza usando los residuos para la evaluación del supuesto de homocedasticidad para flavonoides totales. ....       | 65 |
| <b>Figura 33</b> Diagrama de dispersión para la evaluación de independencia de datos para flavonoides totales. ....                                | 66 |
| <b>Figura 34</b> Análisis de varianza del carácter antioxidante en muestras de babaco para flavonoides totales. ....                               | 66 |
| <b>Figura 35</b> Prueba de significancia de Tukey sobre el carácter antioxidante en el fruto de babaco para flavonoides totales. ....              | 67 |
| <b>Figura 36</b> Coeficientes de correlación de Pearson entre los principios activos y el carácter antioxidante. ....                              | 68 |



## Índice de abreviaturas

**CP** Carica pentagona

**RL** radicales libres

**g** gramo

**mg** miligramo

**L** litros

**mL** mililitros

**h** hora

**fw** muestra fresca

**TFC** Contenido total de fenoles

**TPC** Contenido total de flavonoides

**QE** Equivalentes de quercetina

**GAE** Equivalentes de ácido gálico

**CP-EI** Muestra de babaco en el primer estadio de madurez

**CP-EII** Muestra de babaco en el segundo estadio de madurez

**CP-EIII** Muestra de babaco en el tercer estadio de madurez

## Resumen

El cultivo de frutos del género *Carica*, especialmente babaco, ha aumentado durante los últimos años, sobre todo en el sector de Patate, sin embargo, el desconocimiento de sus beneficios provoca el desinterés en su consumo. En este estudio se cuantificó la cantidad de fenoles totales, flavonoides totales, capacidad antioxidante, poder reductor y % de humedad usando extractos etanólicos de la pulpa de babaco en tres diferentes estadios de maduración postcosecha (fisiológico, organoléptico, madurez completa). Para evaluar los % de inhibición de RL, poder reductor y la actividad antioxidante se usaron tres métodos (ABTS, DPPH y FRAP). Para la valoración de cantidad de fenoles totales se usó el método Folin - Ciocalteu y para flavonoides totales un método estandarizado con  $AlCl_3$ . El % de humedad se calculó mediante un proceso de secado con papel periódico y presión constante que duró 7 días. Se usó análisis estadísticos factoriales paramétricos y no paramétricos para determinar si existían o no diferencias significativas entre las muestras. Para el contenido de fenoles y flavonoides totales se registraron valores mayores en las muestras pertenecientes al tercer estadio de madurez con valores promedio de 13,83 mg GAE/g fw y 5,29 mg QE/g fw respectivamente. También se obtuvieron mayores valores promedio de capacidad antioxidante y % de humedad para las muestras que se encontraban en el tercer estadio de madurez con valores de para ABTS, DPPH, FRAP y % humedad de 75,51  $\mu$ mol Trolox/g fw, 175,22  $\mu$ mol Trolox/g fw, 712,70 mg  $FeSO_4/100$  g fw y 90,82% respectivamente. Los análisis estadísticos determinaron que existían diferencias significativas entre los tres estadios evaluados donde el tercer estadio mostró una mayor actividad antioxidante mostrando correlaciones positivas que determinaron que a mayor contenido de compuestos fenólicos mayor será la capacidad antioxidante, concluyendo que mientras mayor sea la maduración del fruto mayores serán sus beneficios antioxidantes al momento de tomarlos en una dieta o como conservantes naturales.

*Palabras claves:* *Carica*, compuestos fenólicos, capacidad antioxidante, estadios

### Abstract

The cultivation of fruits of the genus *Carica*, especially babaco, has increased in recent years, especially in the Patate sector, however, the lack of knowledge of its benefits causes lack of interest in its consumption. In this study, the number of total phenols, total flavonoids, antioxidant capacity, reducing power and % moisture was quantified using ethanolic extracts of babaco pulp at three different stages of postharvest maturation (physiological, organoleptic, complete maturity). To evaluate the % inhibition of RL, reducing power and antioxidant activity, three methods were used (ABTS, DPPH and FRAP). The Folin-Ciocalteu method was used to assess the quantity of total phenols and a standardized method with AlCl<sub>3</sub> for total flavonoids. The % humidity was calculated by means of a drying process with newspaper paper and constant pressure that lasted 7 days. Parametric and non-parametric factorial statistical analyzes were used to determine whether or not there were significant differences between samples. For the content of total phenols and flavonoids, higher values were recorded in the samples belonging to the third stage of maturity with average values of 13.83 mg GAE/g fw and 5.29 mg QE/g fw respectively. Higher average values of antioxidant capacity and % moisture was also obtained for the samples that were in the third stage of maturity with values for ABTS, DPPH, FRAP and % moisture of 75.51  $\mu$ mol Trolox/g fw, 188.15  $\mu$ mol Trolox/g fw, 712.70 mg FeSO<sub>4</sub>/100 g fw and 90.82% respectively. The statistical analyzes determined that there were significant differences between the three stages evaluated, where the third stage showed a higher antioxidant activity, showing positive correlations that determined that the higher the content of phenolic compounds, the greater the antioxidant capacity, concluding that the greater the ripening of the fruit, the greater they will be their antioxidant benefits when taking them in a diet or as natural preservatives.

*Keywords:* Carica, phenolic compounds, antioxidant capacity, stages

## Capítulo I: Introducción

### Antecedentes

Al referirnos al género *Carica* se presenta una gama amplia de especies que lo conforman con similitudes en cuanto a lo taxonómico, pero con sutiles diferencias tanto a nivel nutricional como fitoquímico (Cañar, 2014). Entre las diversas especies encontramos a *Carica pentagona* Heilborn conocida comúnmente como babaco de la cual se sabe que proviene de dos especies del género *Carica* identificados como *Carica pubescens* y *Carica stipulata* (Bravo et al., 2012).

Las características geográficas y climatológicas de nuestro país permiten que exista una alta diversidad de especies del género *Carica*, entre los cuales se encuentra el babaco, tomando como parámetro la unidad de superficie a nivel mundial (Maldonado, 2011). Al referirnos a este factor, Ecuador se ha convertido en un país con una alta productividad agrícola de especies agrícolas y exóticas con variedad de características medicinales y orgánicas que permiten su uso ancestral y medicinal sobre todo en las comunidades rurales del país (Dafermos & Vivero, 2015).

Los metabolitos secundarios han sido estudiados y descritos desde principios del razonamiento humano utilizados directa o indirectamente por todas las civilizaciones ancestrales y modernas que han visto en las propiedades de las especies vegetales una fuente extensa de ventajas a nivel medicinal y farmacéutico (Hernandez et al., 2018). Estos compuestos tienen una importante función ecológica al permitir la defensa de especies vegetales ante agentes bióticos y abióticos (Newman & Cragg, 2012).

El contenido nutricional del fruto de babaco, al igual que cualquier otro fruto, depende en un alto porcentaje del estado de madurez en el que se encuentre, el cual determinará una característica fundamental en el consumo de cualquier fruto que son sus propiedades



antioxidantes que le aportan un valor agregado que impulsa su comercialización en la industria de alimentos (Buelvas, 2018). Para determinar en qué etapa de madurez se encuentra el fruto se utilizan índices de estadios de maduración basados en sus características organolépticas, sensoriales y visuales, estos índices son: estado fisiológico, madurez incompleta o madurez organoléptica y madurez comercial (del Cisne, 2008).

Existen similitudes fitoquímicas entre *Carica pentagona* Heilborn (babaco) y *Carica papaya* (papaya) que permiten un estudio paralelo entre ambas especies pues sus métodos de maceración y análisis nutricionales-antioxidantes son ciertamente parecidos (Auquiñivin & Paucar, 2020). Estudios anteriores han demostrado que tanto el fruto de papaya como el de babaco en un estadio de madurez comercial existe como característica destacada una actividad antioxidante relativamente alta respecto al reactivo TROLOX en comparación a sus estadios de maduración anteriores, lo que sugiere a ambos frutos como una fuente alimenticia que puede suplantar el consumo de por lo menos 17 compuestos antioxidantes en una dieta balanceada (Addai et al., 2013).

Además del valor antioxidante del fruto de babaco destaca la presencia de carotenoides esenciales como la violaxantina, criptoxantina, cricaxantina y carotenos que juntamente con enzimas proteolíticas y alcaloides como la papaína conforman un valor fitoquímico variado y basto del fruto dependiendo el estadio de maduración en el que se encuentre (Duchitanga, 2018). La capacidad reductora antioxidante puede perder eficiencia en el caso de que se utilicen extractos congelados y liofilizados en proporción de un 10 a 70% en comparación con el extracto fresco (Rivera et al., 2016).

Con respecto a la presencia de contenido fenólico en el fruto de babaco, al igual que ocurre con la capacidad antioxidante, estudios han confirmado que existe mayor presencia en el fruto con madurez comercial con respecto a los otros dos estadios de maduración (Ong et al., 2013). Inclusive con el fruto de papaya, usado en estudios como homólogo del babaco, se

ha determinado la misma tendencia que permite inducir que el estadio de madurez del fruto es una de las características fundamentales para determinar el consumo óptimo para obtener los mayores beneficios nutricionales (Buelvas, 2018).

*Carica pentagona* Heilborn es una de las frutas menos consumidas en la ciudad de Quito, según un estudio realizado en 2008 alrededor del 15% de la población quiteña consume regularmente este fruto mientras que un 30% desconoce por completo su existencia y por ende todos los beneficios nutricionales que implica su consumo (Correa, 2016).

### **Justificación del problema**

El uso de las propiedades nutricionales y curativas de las especies vegetales ha sido una constante desde los inicios del ser humano que han aprovechado estas cualidades para el tratamiento de enfermedades o como fuente nutritiva (Duchitanga, 2018). En el caso de plantas que generan fruto comestible la postcosecha representa una parte importante de la calidad del producto pues dependiendo del estadio en el que se encuentre se obtendrá mayores o menores beneficios nutricionales del fruto (Amjad, 2021). Esta variedad de principios activos que producen las especies vegetales permite su aislamiento molecular y aplicación en diversas áreas humanas como la medicina, agricultura, industria textil y alimenticia (Aparecida De Assis et al., 2009).

El cultivo de *Carica pentagona* Heilborn o babaco en Ecuador ocupa un espacio de 180 hectáreas en siembra tanto en invernadero como a aire libre (Álvarez, 2013). La provincia con mayor producción nacional de babaco es Tungurahua con alrededor del 60% de esta producción a nivel nacional considerando a la parroquia el Triunfo, sector Patate, como el epicentro productivo de babaco (Simbaña, 2018). Los principales mercados de consumo del babaco producido en Ecuador se encuentran naciones pertenecientes a la Unión Europea como España, Holanda, Alemania y Francia con mercados alternos en Chile Colombia y Estados Unidos (Centro de Inteligencia Comercial, 2006). Sin embargo, siendo un producto tan

apetecido por el exterior no coincide con la demanda dentro de nuestro propio país por temas de costo o desconocimiento de sus beneficios.

La problemática de la poca atención que se le presta a un fruto como el babaco viene inducida por inconvenientes con la madurez postcosecha como principal factor que existen en mercados de nuestro país, siendo un limitante en la oferta por la falta de un producto de buena calidad (Hinostraza, 2012). Estos factores negativos de madurez postcosecha de frutales en nuestra región pueden entenderse por el manejo manual y poca atención en las medidas de conservación del fruto, por lo que gran cantidad de frutos no llegan en condiciones óptimas a los lugares de compra y venta (Mendoza, 2014).

La evolución hacía nuevas tecnologías de detección de principios bioactivos han generado que en las últimas dos décadas se realice un porcentaje de estudios enorme con respecto a las frutas del género *Carica*, estudios que han permitido conocer todos sus beneficios nutricionales en la dieta (Auquiñivin & Paucar, 2020). Los aportes antioxidantes generados a partir de un alto contenido fenólico e inhibición de radicales libres llevan a pensar en el alto potencial del babaco para la industria de la medicina y la zona alimenticia (Maldonado, 2011).

## **Objetivos del proyecto**

### ***Objetivo general***

Evaluar las propiedades nutricionales y biológicas del fruto de *Carica pentagona* Heilborn (babaco) en varios estadios de madurez postcosecha usando métodos espectrofotométricos.

### ***Objetivos específicos***

- Recolectar muestras frutales de babaco en estado fisiológico (verde), madurez incompleta (verde-amarillo) y madurez comercial (amarillo) en la parroquia Guasuganda, provincia Cotopaxi.
- Evaluar la cantidad de flavonoides y fenoles obtenido de extractos de babaco en varios estadios de madurez postcosecha utilizando el método colorimétrico de  $AlCl_3$  y el ensayo Folin-Ciocalteu respectivamente.
- Evaluar el carácter antioxidante de extractos aislados de *babaco* usando el método FRAP (capacidad de reducción férrica), DPPH (capacidad reductora del radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo) y ABTS (capacidad antioxidante mediante la reacción del radical ácido 2,2'-azino-bis-3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico).

## **Hipótesis del proyecto**

Las propiedades nutricionales y biológicas del fruto de babaco varían en forma estadísticamente significativa según el estado de maduración postcosecha del fruto y de sus propiedades antioxidantes.



## Capítulo II: Marco teórico

### Cultivo de babaco en el Ecuador

La Sierra Ecuatoriana ha sido por décadas el lugar predilecto para el cultivo de babaco, específicamente su máxima producción se localiza en las provincias de Loja, Pichincha, Imbabura, Carchi y en los últimos años se ha extendido por Tungurahua. Su máxima producción se ha dado en condiciones de invernadero llegando a alcanzar entre las 200 y 250 hectáreas de cultivo (INIAP, 1992).

El cultivo en invernadero en el babaco, como en cualquier otra planta, se lo hace de forma masiva para evitar la invasión de plagas y el contagio secuencial de enfermedades por uso excesivo de agua, de igual manera la manera tradicional del cultivo se mantiene en sectores con un clima cálido prominente como Guayabamba y Baños (Suarez, 2015).

El cantón Patate es conocido como la meca para el cultivo de babaco, siendo su parroquia el Triunfo el lugar con mayor producción de este fruto dentro del país, de esta manera la ciudad de Tungurahua ha producido en los últimos años aproximadamente el 60% de cultivos de babaco en el país, tanto en invernadero como a campo libre (Milazzo et al., 2008)

Los motivos y posibles soluciones a la distribución de frutos inmaduros en el país indican que “el manejo postcosecha de frutales en Ecuador se hace de forma manual y sin tomar los cuidados requeridos para la conservación, de tal modo que, se han realizado estudios en para distintos frutales que generen alternativas de conservación como tipo de almacenamiento y forma de embalaje” (Cañar, 2014).

Cuando la fruta se encuentra en almacenamiento y deja de tener los aportes nutricionales que le otorgaba la planta una de las estrategias de autoconservación de los frutos es el estado de madurez, pues mediante reacciones químicas internas evitan la pérdida de líquido, entregan alternativas para un control respiratorio óptimo que le otorgan la capacidad de no perecer rápidamente y mantienen su calidad y aporte nutricional (Mesias, 2012)

**Figura 1**

*Ejemplar de Carica pentagona Heilborn con su respectivo fruto*



*Nota.* Adaptado de Babaco (*Carica x heilbornii* var. *pentagona*) [Frutas del mundo] por (Rodríguez, 2018)

### Clasificación taxonómica

El babaco es una planta perteneciente a la familia *Caricaceae* del género *Carica* con basta variabilidad morfológica y genética expresada en 78 accesiones repartidas por todo el territorio ecuatoriano, entre las que destaca: *Carica papaya*, *Carica pentagona*, *Jaracatia digitata* y *Jaracatia spinosa* (Peña et al., 2017).

**Tabla 1**

*Clasificación taxonómica del babaco*

| Categoría | Taxón          |
|-----------|----------------|
| Reino     | Plantae        |
| División  | Magnoliophyta  |
| Clase     | Liliopsida     |
| Subclase  | Dicotyledoneae |
| Orden     | Parietales     |

| Categoría      | Taxón                            |
|----------------|----------------------------------|
| <b>Familia</b> | <i>Cariceae</i>                  |
| <b>Género</b>  | <i>Carica</i>                    |
| <b>Especie</b> | <i>Carica pentagona</i> Heilborn |

*Nota.* Adaptado de Phylodynamics and Coat Protein Analysis of Babaco Mosaic Virus in Ecuador por (Mosquera-Yuqui et al., 2022), *Plants*, 11(13).

Se considera que el babaco guarda cierto parecido a la palma, con una altura evidentemente menor, pero con una vida útil muy larga. Dentro del género *Carica* la papaya y el babaco son, sin duda, las especies frutales más interesantes a nivel botánico y organoléptico en el país. La publicidad sumada al sabor dulce, característico del babaco ecuatoriano, y sobre todo a estudios que relacionan al babaco como alimento con beneficios farmacéuticos han permitido una exportación mucho más vasta que hace dos décadas (Erazo & Delgado, n.d.).

### Descripción botánica

La proveniencia del nombre *Carica* es griega, de la palabra *karike*, aludiendo a una higuera debido a las semejanzas entre sus hojas, lo que respecta a *pentagona* hace alusión al epíteto pentagonal debido al número de ángulos de la planta y Heilborn debido a su descubridor el científico Otto Heilborn (Fernández Valdés et al., 2015).

Al ser una planta híbrida natural partenocárpica resultado de la mezcla de una hibridación interespecífica entre sus antecesores *Carica pubescens* y *Carica stipulata* existe poca información con respecto a su estado botánico, sin embargo, morfológicamente es muy conocida teniendo como características principales su similitud a la palma y aspectos comunes de hoja y frutos (Robles et al., 2016).

Se lo clasifica como arbusto que oscila su altura entre los 3 a 4 m de altura, con tallo firme no leñoso con geometría cilíndrica que cambia de color verde al ser joven a marrón gris cuando encuentra su estado adulto, además al igual que otras caricáceas, el tallo tiene

cicatrices foliares y es difícil que tenga ramificaciones, por lo tanto, la base del tallo es el sitio dónde se pueden encontrar los brotes (Cornejo-franco et al., 2020).

En cuanto a las hojas, todas son femeninas y en la fase de crecimiento nacen a partir del tronco para terminar de desarrollarse en cada axila foliar. El fruto en forma de baya tiene estructura elipsoidal con un color amarillento al alcanzar la madurez completa llegando a pesar entre 0,3 y 2 kg y alcanzar hasta los 12 cm de diámetro y 30 cm de largo (Scheldeman et al., 2007). El color de la pulpa es blanquecino sin importar el estadio de madurez en el que se encuentre con su característico sabor ácido bajo en azúcares (Fuertes, 2019).

### **Condiciones edafoclimáticas para su cultivo**

Para una producción ideal de babaco se necesitan condiciones de temperatura entre 15 a 20°C debido a su intolerancia a temperaturas menores o mayores a este rango. La altura óptima es de 1800 a 2400 msnm, por lo general la Sierra Ecuatoriana, debido a que en estas alturas existen precipitaciones anuales de 600 a 1500 mm/año con humedad entre el 60 a 80% con presencia de luz solar de 5 horas diarias (Aldáz et al., 2017). Estas condiciones se suelen replicar y controlar en invernadero, aunque la mayor producción es al aire libre.

Se han descrito métodos de propagación para su cultivo debido a la falta de semillas en el fruto por lo que se necesitan métodos vegetativos o asexuales. Se suelen usar injertos y estacas, para el primero se usan púas terminales que se injertan a una profundidad de 10 cm en otro tallo de babaco, y para el segundo se emplean estacas de 20 a 25 cm conjuntamente con diversas hormonas de crecimiento y fungicidas. El uso de fungicidas en ambas técnicas es fundamental por la susceptibilidad a enfermedades al desarrollar los procesos (Dorca & Jadán, 2019).

### Estadios de madurez del fruto

A partir del período postcosecha del fruto existe una gama de cambios a nivel celular provocados por diferentes reacciones físico – químicas. Uno de los factores que inducen estos cambios es la interacción del fruto con el ambiente que limita la calidad y vida útil del producto resultante (Rodríguez et al., 2005).

Las especies vegetales transitan por una serie de fases previas definidas a la obtención del fruto maduro (etapa comercial), al obtener la parte comestible pasando por un posterior endurecimiento del fruto y desarrollo del bulbo, tubérculo y raíz (Martínez et al., 2017). De esta manera un proceso de madurez inicia días posteriores a la cosecha para finalizar en la obtención del fruto comestible (Quinza & López, 2002).

Existen métodos subjetivos y objetivos para controlar la madurez óptima al momento de la recolección de frutos, ambos métodos son descritos en la Tabla 2. y Tabla 3. Respectivamente.

**Tabla 2**

*Métodos subjetivos para la evaluación de madurez de frutos*

| <b>Sentido</b> | <b>Característica</b>                  |
|----------------|--|
| Gustativo      | Sabor: Salado, dulce, amargo y ácido   |
| Olfativo       | Aroma y olor                           |
| Contacto       | Aspecto: Blando, duro, suave y áspero  |
| Visual         | Color, forma y tamaño                  |
| Auditivo       | Sonidos producidos al manejar el fruto |

*Nota.* Adaptado de Manual para el mejoramiento del manejo poscosecha de frutas y hortalizas por (FAO, 1987).

**Tabla 3**

*Métodos objetivos para la evaluación de madurez de frutos*

| <b>Medición</b>      | <b>Características</b>                                 |
|----------------------|--|
| Tiempo               | De plantación  |
| Ambiente             | Medidas de calor                                       |
| Análisis físico      | Volumen, peso, tamaño, forma                           |
| Análisis químico     | Cantidad de productos activos y capacidad antioxidante |
| Análisis fisiológico | Patrón de respiración                                  |

*Nota.* Adaptado de Manual para el mejoramiento del manejo poscosecha de frutas y hortalizas por (FAO, 1987)

#### ***Estadio de madurez fisiológica***

En esta etapa el fruto se encuentra en un estado en el cual la pulpa adquiere una composición que permite un consumo al menos agradable mientras se encuentra adherido a la planta o la semilla incorpora la capacidad reproductiva óptima. En esta etapa la calidad del producto fructífero logra alcanzar un estado lo suficientemente desarrollado para que al menos la calidad sea mínima para el consumo (Tecnología de la Maduración, 2019).

#### ***Estadio de madurez incompleta u organoléptica***

Se refiere al mecanismo en el cual el fruto adopta ciertas características sensoriales que lo perfila como un alimento comestible transformando el tejido fisiológicamente maduro no comestible en otro sensorialmente apto tanto visualmente como gustativamente (Ahmed et al., 2020). El proceso inicia en la etapa final de maduración fisiológica y termina al llegar a la madurez comercial para acabar con la senescencia del fruto (Infoagronomo, 2019).

### ***Estadio de madurez comercial***

Se hace mención al momento exacto en el que se puede recolectar el producto para que cumpla con los estándares de calidad óptimas dispuestos para su distribución y consumo, encontrándose organolépticamente maduro o con posibilidades de alcanzarla. En ocasiones el fruto puede llegar a esta madurez en la fase de desarrollo e incluso en la etapa de envejecimiento (Llecha, 2010).

### **Metabolitos secundarios – principios bioactivos en el fruto**

El estudio de los principios bioactivos de los productos naturales pertenece a una pequeña parte de la fitoquímica incluyendo sus vías biosintéticas y mecanismos de acción en seres vivos de la cual derivan técnicas de cuantificación y aislamiento para el uso en actividades humanas como la medicina – farmacología o a niveles comerciales industriales como la industria estética (Stachnik, 2021).

A diferencia de los metabolitos primarios que tiene como función principal el desarrollo estructural y crecimiento en general (hidratos de carbono, ácidos orgánicos, fibra, minerales y vitaminas), los metabolitos secundarios (MS) no necesariamente tienen funciones nutricionales definidas, que no implica que no aporten una pequeña cantidad del total de nutrientes que necesita el cuerpo (Walia et al., 2019).

Los cuatros grandes grupos de sustancias bioactivas en plantas incluyen una diversa gama de familias químicas, que son sustancias terpénicas, azufradas, nitrogenadas y, las de mayor interés de estudio por su abundancia con respecto a las otras, fenólicas. En la actualidad el estudio de esta área de investigación ha ido creciendo exponencialmente debido al conocimiento previo de sus beneficios y de la cantidad de frutos que los contienen (Biesalski et al., 2009).

Las sustancias azufradas son poco comunes en frutas, predominando sobre todo en la familia *Alliaceae*, al igual que las sustancias nitrogenadas debido a su alta actividad biológica que incluso en pequeñas cantidades suelen generar toxicidad. Entre las sustancias presentes mayoritariamente en frutas se encuentran las terpénicas como los carotenoides, ubicándose aquí el betacaroteno y licopeno, los fitoesteroles y el d-limoneno; y las sustancias fenólicas como flavonoides, fenilpropanoides, estilbenoides y derivados del ácido benzoico presentes por lo general en frutos cítricos, morados o rojos (Vamanu, 2022).

En la tabla 4. Se distinguen los principales efectos metabólicos de las sustancias fenólicas y en que frutos se encuentran mayoritariamente.

**Tabla 4**

*Mecanismos secundarios presentes en frutos de la familia de las sustancias fenólicas*

| Compuesto                    | Efecto metabólico     | Frutas                    |
|------------------------------|-----------------------|---------------------------|
| Flavonoides                  | Antioxidantes         | Cítricos, manzana, fresa, |
|                              | Antimutagénico        | granada                   |
| Fenilpropanoides             | Antioxidante          | Manzanas                  |
| Estilbenoides                | Apoptosis             | Uva, pera, arándano,      |
|                              | Antimutagénico        | cerezas, manzana          |
| Derivados del ácido benzoico | Actividad estrogénica | Granada, frambuesa, fresa |

*Nota.* Adaptado de Fruits as Prospective Reserves of bioactive Compounds : A Review por (Marli et al., 2018), Natural Products and Bioprospecting.

### **Estrés oxidativo y capacidad antioxidante en el fruto**

El término de estrés oxidativo hace alusión a la excesiva exposición del fruto hacia agentes oxidantes mediada por una capacidad antioxidante disminuida. Para que este fenómeno se produzca deben encontrarse ciertas moléculas químicamente inestables



denominados radicales libres con alta reactividad y con la capacidad de inducir daño a otras moléculas (CINCAP, 2019).

La alta reactividad de los radicales libres es causada por los electrones desapareados que poseen por tal motivo su necesidad de encontrar su estabilidad electroquímica induce a que tomen electrones de moléculas estables. El proceso de formación de radicales libres es normal en el metabolismo de las plantas en medio de reacciones metabólicas (Kim et al., 2016).

Otros agentes oxidantes que no necesariamente son radicales pero que fácilmente pueden ser convertidas a radicales son las especies reactivas del oxígeno (ERO). Estas moléculas incluyen derivados del oxígeno molecular producidas regularmente en la vida aeróbica, sin embargo, al momento en que aumenta las ERO a nivel intracelular para superar las defensas antioxidantes se produce el fenómeno del estrés oxidativo produciendo daño celular (Vázquez-Ovando et al., 2022).

Debido a un incremento acelerado de agentes oxidativos la mayoría de organismos no logran equiparar eficazmente una relación oxidante – antioxidante de forma balanceada, debido a ello, el consumo de antioxidantes externos es fundamental en los sistemas biológicos (Benítez-Estrada et al., 2020).

Los antioxidantes se definen como sustancias que neutralizan la capacidad oxidante que producen los radicales usando como mecanismo la liberación de electrones hacia el medio o mecanismo. Se agrupan en pequeñas moléculas que pueden ser de origen exógeno (compuestos fenólicos) y/o endógeno (sistema de defensa enzimática (Vázquez-Ovando et al., 2022).

Los compuestos exógenos, por lo general, se obtienen al ingerir alimentos con porcentaje alto de vitamina C, vitamina E, carotenoides, y por su mayor interés biológico los

compuestos fenólicos (flavonoides, quercetina, flavona, isoflavona, entre otros); mientras que los compuestos endógenos se desarrollan al interior del organismo debido a la exposición con los radicales libres (Contreras-Calderón et al., 2011). El consumo de alimentos con capacidad antioxidante es la forma más eficaz de suplantar la falta de antioxidantes que pueden ayudar en la reducción del estrés oxidativo ocasionado por los RL.

Los frutos son considerados como alimentos ricos en antioxidantes sobre todo frutos provenientes de regiones templadas, que gracias a su composición química contribuyen notablemente a la actividad antioxidante, mientras que los reportes de frutos de regiones tropicales que generan esta capacidad antioxidante han sido menos estudiados. La capacidad antioxidante de extractos de frutos se relaciona a los efectos sinérgicos y aditivos de los metabolitos secundarios que se encuentran en estos, debido a esto, ningún antioxidante sintético es capaz de suplantar los beneficios aportados por los fitoquímicos naturales del fruto (Quinza & López, 2002)

El estado de madurez de los frutos es un parámetro importante para determinar la cantidad de contenido antioxidante, debido a que, la síntesis/degradación y acumulación de principios activos son parte de este mecanismo (Rodríguez et al., 2005). Hoy en día una de las características más requeridas que deben tener los alimentos contemporáneos es su poder antioxidante y su estudio para encontrarlos de forma natural y aprovecharlos en diversos ámbitos humanos es sumamente relevante.

### **Métodos de cuantificación de la capacidad antioxidante**

Los métodos de cuantificación para la actividad antioxidante aún son un tema de debate, aún hoy en día no existe un consenso entre investigadores para determinar el o los apropiados para el análisis (Rahman et al., 2015). Debido a la falta de métodos mundialmente unificados por la complejidad de sistemas y diversidad de matrices a evaluar, se utiliza aquel

método que sea capaz de evaluar el efecto de los compuestos del fruto en condiciones redox que logren imitar el estrés oxidativo causado por las ERO (Fernández-Pachón et al., 2006).

**Tabla 5**

*Requisitos a cumplir para estandarizar métodos de cuantificación de capacidad antioxidante*

| <b>Requisito</b> | <b>Descripción</b>   |
|------------------|--|
| <b>Primero</b>   | Medir claramente las reacciones que ocurren                                |
| <b>Segundo</b>   | Uso de fuente de radicales biológicamente relevante                        |
| <b>Tercero</b>   | El procedimiento debe contar con punto final y mecanismo de reacción claro |
| <b>Cuarto</b>    | Facilidad de adquirir la instrumentación y productos químicos              |
| <b>Quinto</b>    | Reproductibilidad aceptable en una misma serie y en tiempo prolongado      |
| <b>Sexto</b>     | Adaptación a ensayo de antioxidantes hidrofílicos y lipofílicos            |

*Nota.* Adaptado de Antioxidant activity/capacity measurement. 1. Classification, physicochemical principles, mechanisms, and electron transfer (ET)-based assays por (Apak et al., 2016), Journal of Agricultural and Food Chemistry.

### **Método DPPH**

Se basa en la eliminación del radical cromógeno DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo) característicamente de color púrpura intenso. El mecanismo implica la neutralización del radical DPPH mediante la donación de electrones del antioxidante y es detectable por medición en espectrofotómetro UV a 517 nm acompañados de una decoloración que indica la eficacia antioxidante (Lino et al., 2015).

El fundamento de este método se basa en el supuesto de que la actividad antioxidante es significativamente parecida a su poder reductor. Ciertos factores pueden afectar los

resultados de la prueba como la cantidad y tipo de disolvente usado, el mantenimiento del reactivo y presencia de iones metálicos o hidrógeno (Murcia et al., 2001).

#### ***Método ABTS***

Se denomina ensayo de capacidad de eliminación del ácido 2,2'-azinobis (3 – etilbenzotiazolina-6-sulfónico) o en ocasiones también llamado TEAC (ensayo de la capacidad antioxidante con equivalencia a TROLOX). Cuantifica que tan capaz es el antioxidante para erradicar el catión, cromóforo de color azul-verde,  $ABTS^{\bullet+}$ . Se mide en espectrofotómetro UV a 734 nm y la eficacia de la prueba se basa en la disminución de la intensidad de color en presencia de antioxidantes (Kuskoski et al., 2009).

#### ***Método FRAP***

Este método se basa en la transferencia de electrones y la reducción del complejo  $Fe^{3+}$  - TPTZ a un complejo ferroso  $Fe^{2+}$  - TPTZ con característico color intenso debido a los antioxidantes presentes en medios ácidos. Se suele representar a los resultados como un estándar antioxidante o como equivalentes micromolares de  $Fe^{2+}$ . Suele medirse en espectrofotómetro UV a 593 nm y en condiciones ácidas (pH 3.6) donde el aumento de la absorbancia y la coloración azul intensa determinan el éxito de la prueba (Huet, 2017).

#### **Principios activos con capacidad antioxidante**

Algunos metabolitos secundarios obtenidos de los extractos de cada planta, además de tener sus beneficios propios para la planta, brindan protección al inhibir reacciones en cadena oxidante. Los principios activos estudiados con mayor capacidad antioxidante son los compuestos fenólicos, entre los cuales se encuentran los flavonoides, debido a su abundancia y su capacidad de evitar la formación de radicales libres (Cano P. et al., 2020).

### ***Compuestos fenólicos***

Las especies vegetales sintetizan en mayor cantidad principios activos que estructuralmente tienen un grupo fenol, es tan vasto su síntesis que alrededor de 8000 compuestos entran en este grupo (Kempler & Kabaluk, 1996). Su polifuncionalidad es una de las causas de su vasto estudio entre los cuáles se incluye su destacada capacidad antioxidante. Algunas de las características de las cuáles depende esta capacidad antioxidante son: a) número y disposición de los grupos hidroxilos y b) la actividad antioxidante depende de que la sustitución orto/para en el grupo hidroxilo aumente su densidad de electrones y disminuya su energía en el enlace oxígeno – hidrógeno (Echavarría et al., 2016).

### ***Flavonoides***

Son un subgrupo, caracterizado por sus dos anillos bencénicos enlazados por un heterociclo piránico, perteneciente al grupo de los polifenoles derivados de aminoácidos aromáticos, tirosina y fenilalanina. Suelen encontrarse en todos los alimentos con origen vegetal, en frutas más precisamente en la pulpa y en la cáscara en mayor cantidad en comparación con el resto de la planta (Rajurkar & Hande, 2011).

### Capítulo III: Metodología

#### Responsable del proyecto

El responsable del trabajo de titulación es el Sr. GALO MAURICIO CANCHIGNIA GUACOLLANTES, egresado de la carrera de Ingeniería en Biotecnología de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

#### Localización Geográfica

El trabajo de titulación se elaborará en el CICTE, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Av. General Rumiñahui s/n ECI 17501, Sangolquí, Pichincha, Ecuador

#### Período de investigación

El trabajo de investigación se llevará a cabo en el período MAYO 2023 – SEPTIEMBRE 2023, con una duración de 4 meses.

#### Obtención de la muestra

Se compró tres frutos de babaco (*Carica pentagona* Heilborn) en tres diferentes estadios de maduración (madurez fisiológica, estado de inmadurez/organoléptico y madurez comercial) utilizando como parámetro cualitativo el color de cada uno de los frutos para determinar su índice de madurez. Los frutos se encontraron en la parroquia de Guasuganda provincia de Cotopaxi.

#### Tratamiento de la muestra

Se obtuvo el extracto de cada fruto de babaco a partir de su pulpa para lo cual se realizó un corte transversal y con la ayuda de una cuchara se separó la pulpa del resto del fruto. Del total de la pulpa se obtuvo 5 g que serán utilizados para la extracción de principios activos. Los 5 g obtenidos fueron lavados con agua destilada y posteriormente colados para obtener la muestra lo más fresca posible.

### **Extracción de principios activos**

Para la extracción de principios activos se tomó en cuenta el protocolo de extracción estudiado por (Correa, 2016) utilizando las muestras de babaco obtenidas.

Los extractos se prepararán al colocar 5 gramos de la pulpa de la muestra en 50 mL de etanol al 99,5%. Las infusiones se agitarán durante 30 minutos y se centrifugarán a 5000 rpm durante 20 minutos, transcurrido ese tiempo se descartó y almacenó el sobrenadante a -4°C durante 72 h para su posterior análisis. En todas las pruebas se utilizó el extracto puro por lo que no fue necesario obtener diluciones de los extractos.

### ***Contenido de fenoles totales – Método Folin – Ciocalteu***

Se adaptó un protocolo para el método colorimétrico Folin – Ciocalteu utilizado por (Palomino G et al., 2009).

Para el establecimiento de la cantidad de fenoles totales se añadió 0,250 mL del extracto de la muestra junto con 3 mL de agua destilada y 1,25 mL de reactivo de Folin – Ciocalteu al 10% v/v, se homogenizó y se dejó reposar durante 8 minutos en oscuridad. Pasado el tiempo de reposo se añadió 3,75 mL de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> al 7,5% y 0,6 mL de agua destilada, nuevamente se homogenizó y se reposó las muestras en oscuridad durante 2 h.

La lectura en el espectrofotómetro UV se hizo a 765 nm y se obtuvo una curva de calibración con base en ácido gálico de  $y = 0.0061x + 0.1393$  ( $R^2 = 0,9941$ ), por lo tanto, en el cálculo de fenoles totales se tomó en cuenta equivalentes de ácido gálico (GAE) expresados como mg GAE/g fw.

### ***Contenido de flavonoides totales – Método con AlCl<sub>3</sub>***

Para cuantificar el contenido de flavonoides totales se adaptó un protocolo utilizado por (Vega et al., 2017).

El uso de cloruro de aluminio ( $\text{AlCl}_3$ ) es característico de este método de cuantificación además que se utilizó como estándar a la quercetina. Para la prueba se mezcló 2,58 mL del extracto de babaco, 2 mL del solvente (etanol al 99,6%) y 1,8 mL de  $\text{NaNO}_2$ . Se dejó reposar durante 1 min para luego añadir 180  $\mu\text{L}$  de  $\text{AlCl}_3$  al 10% y 2,3 mL de agua destilada y se dejó reposar en oscuridad durante 40 min para su posterior lectura.

Las muestras resultantes del ensayo se leyeron a 435 nm en espectro UV y se usó quercetina para obtener una curva de calibración  $y = 0.0149x + 0.0983$  ( $R^2 = 0,9915$ ) obteniendo resultados de flavonoides totales expresados tomando en cuenta mg equivalentes de quercetina expresados como mg QE/g fw.

#### **Determinación de la capacidad antioxidante**

Se utilizaron tres métodos espectrofotométricos – colorimétricos que son: método FRAP (capacidad de reducción férrica del plasma), DPPH (capacidad reductora del radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo) y ABTS (capacidad antioxidante mediante la reacción del radical ácido 2,2'-azino-bis-3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) con mediciones a longitudes de onda estandarizadas para cada método.

#### ***Determinación del carácter antioxidante por el método FRAP***

Se adaptó el protocolo de (Benítez-Estrada et al., 2020).

En la preparación del reactivo FRAP se utilizó y se hizo reaccionar: 100 mL de buffer acetato 0,3 M (pH 3,6); 10 mL de TPTZ 10 mM en HCl; 10 mL de  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  20 mM, en proporción 10:1:1. El reactivo se dejó reposar a 4°C durante 3 horas fuera del alcance de la luz.

Se mantuvo los extractos fuera del alcance de la luz al momento en que se efectuó la reacción para lo cual se necesitó 30  $\mu\text{L}$  de la disolución de la muestra juntamente con 900  $\mu\text{L}$  de reactivo FRAP y 90  $\mu\text{L}$  de agua destilada. Se incubaron las muestras en baño María a 37°C durante 30 min evitando la interacción con la luz. Para los blancos se siguió el mismo



procedimiento con excepción de la cantidad de muestra que fue reemplazada por la misma cantidad de etanol.

Para la lectura en el espectrofotómetro UV se midieron las absorbancias a 593 nm y se utilizó la ecuación de la curva de calibración que fue  $y = 0,5981x - 0,0082$  ( $R^2 = 0,9989$ ). Los resultados se expresaron en unidades de mg FeSO<sub>4</sub>/100 g fw.

#### ***Determinación del carácter antioxidante por el método DPPH***

Se adaptó el protocolo de (Amjad, 2021). La solución stock de DPPH se preparó en obscuridad utilizando 3,9 mg del radical DPPH y después se lo disolvió en 100 mL de etanol al 99,5%, fue necesario utilizar un sonicador durante 15 min para disolver el stock correctamente. La medida final de la absorbancia a 517 nm debe estar en un rango de  $0,7 \pm 0,05$ .

Para la prueba se ocupó 0,05 mL de a muestra con 1,45 mL del reactivo DPPH y se lo dejó reposar en oscuridad durante 30 minutos. La absorbancia con la que se midió en el espectro UV a una longitud de onda de 517 nm. En el blanco en lugar de 0,05 mL de muestra se ocupó 0,05 mL del disolvente que se ocupó para realizar la prueba, en este caso etanol al 99,5%.

La disminución de la absorbancia es proporcional a la capacidad antioxidante de cada muestra, debido a esto se calculó el porcentaje de inhibición ilustrado en la ecuación 1. Se utilizó la curva de calibración con Trolox expresada como  $y = -0.1142x + 0.7412$  ( $R^2 = 0,9824$ ). Los resultados se expresaron en unidades de  $\mu\text{mol Trolox/g fw}$ .

$$\% \text{inhibición} = \frac{A_{\text{control}} - A_{\text{muestra}}}{A_{\text{control}}} \times 100$$

### ***Determinación del carácter antioxidante por el método ABTS***

Se adaptó la metodología usada por (Rajurkar & Hande, 2011). Para preparar la solución del radical ABTS<sup>+</sup> se utilizó 5 mL de solución ABTS 7 mM con 88  $\mu$ L de persulfato de potasio 140 mM. La mezcla se dejó reaccionar en un lapso de 12 a 48 h donde se obtuvo un reactivo de color azul – morado que se diluyó con etanol al 99,6% y se midió a una longitud de onda de 754 nm en espectro UV hasta obtener una absorbancia de  $0,7 \pm 0,05$ . Cabe mencionar que existe una relación de 1:5 que permite determinar la cantidad de disolvente (etanol absoluto) con respecto al reactivo madre de ABTS.

Para probar la inhibición de radicales se hizo reaccionar 40  $\mu$ L de la muestra junto con 4 mL de la solución diluida de ABTS durante 7 minutos a temperatura ambiente y en oscuridad prolongada para su posterior lectura a 734 nm en el espectrofotómetro UV. Al igual que en las pruebas anteriores para el blanco se suplantó la cantidad de muestra por la misma cantidad en disolvente etanol al 99,6%.

Se utilizó la curva de calibración con Trolox que fue  $y = -0,2061x + 0,5611$  ( $R^2 = 0,9704$ ) y los resultados se expresaron en  $\mu$ mol Trolox/g fw.

### **Determinación del peso seco**

Para llevar a cabo la prueba se intentó empaquetar en hojas de papel periódico aproximadamente 1 g de la muestra de cada uno de los estadios. Inmediatamente se selló para evitar pérdidas de líquido anticipado y se sometieron a presión durante aproximadamente 7 días para promover un secado más rápido. Se triplicó la prueba por cada muestra y se calculó su porcentaje de humedad.

### **Análisis estadístico**

Las muestras serán analizadas en tres estadios diferentes de maduración postcosecha.

### **Factores de estudio**

Para la evaluación de la composición de los principios activos se usaron factores de estudio como la determinación de los compuestos fitoquímicos (fenoles/flavonoides totales) y el carácter antioxidante de los extractos de *Carica pentagona* Heilborn (babaco) usando tres métodos diferentes (FRAP, DPPH, ABTS).

### **Unidad experimental**

La unidad experimental serán los tres diferentes estados de maduración del fruto de babaco: estado fisiológico (verde), madurez incompleta/estado organoléptico (verde-amarillo) y madurez comercial (amarillo).

### **Tratamientos**

Para la evaluación estadística de los compuestos fitoquímicos (fenoles/flavonoides totales) se realizó un diseño factorial mixto 2x3. Se estableció 2 métodos para determinar el contenido de fenoles totales (TPC) y contenido de flavonoides totales (TFC) (a = 2) para 3 muestras de cada uno de los tres estadios de maduración del fruto (b = 3). El experimento se realizará con tres réplicas (n = 3). Toda la información se sintetizó en la Tabla 6.

### **Tabla 6**

*Diseño experimental factorial 2x3 de los estadios de maduración de babaco para la determinación de compuestos fitoquímicos: fenoles totales (TPC) y flavonoides totales (TFC).*

| <b>Métodos</b>         | <b>Estadio de maduración del fruto</b> |                                 |                        |
|------------------------|--|---------------------------------|------------------------|
|                        | Estadio I (verde)                      | Estadio II (verde-<br>amarillo) | Estadio III (amarillo) |
| <b>Fenoles totales</b> | 3                                      | 3                               | 3                      |
| <b>Flavonoides</b>     | 3                                      | 3                               | 3                      |

Para el análisis de la actividad antioxidante se estableció tres métodos para cuantificar el % de inhibición ( $a = 3$ ) y tres muestras de cada uno de los tres estadios de maduración del fruto ( $b = 3$ ); diseñando así un experimento factorial mixto  $3 \times 3$  ilustrado lo indica la Tabla 7. El análisis se realizará con tres réplicas ( $n = 3$ ).

**Tabla 7**

*Unidad estadística factorial  $3 \times 3$  para la determinación de la actividad antioxidante en muestras de babaco.*

| Métodos | Estadio de maduración de la planta |                             |                        |
|---------|------------------------------------|-----------------------------|------------------------|
|         | Estadio I (verde)                  | Estadio II (verde-amarillo) | Estadio III (amarillo) |
| DPPH    | 3                                  | 3                           | 3                      |
| FRAP    | 3                                  | 3                           | 3                      |
| ABTS    | 3                                  | 3                           | 3                      |

**Esquema de análisis de varianza**

El análisis de varianza (ANOVA) se detalla en la Tabla 8 tomando en cuenta un diseño factorial mixto  $2 \times 3$  y  $3 \times 3$  para la cuantificación de los compuestos fitoquímicos y el carácter antioxidante respectivamente.

**Tabla 8**

*Esquema de un ANOVA para el diseño factorial mixto  $2 \times 3$  y  $3 \times 3$ .*

| Fuente     | Grados de libertad | Compuestos fitoquímicos | Carácter antioxidante |
|------------|--------------------|-------------------------|-----------------------|
| Método (a) | a-1                | 1                       | 2                     |

|                     |            |    |    |
|---------------------|------------|----|----|
| <b>Muestras (b)</b> | b-1        | 2  | 2  |
| <b>Efecto ab</b>    | (a-1)(b-1) | 2  | 4  |
| <b>Error (e)</b>    | ab(n-1)    | 12 | 18 |
| <b>Total</b>        | abn-1      | 17 | 26 |

Para establecer comparaciones de correlación entre las pruebas de detección de compuestos fenólicos y actividad antioxidante se utilizará como medida estadística los coeficientes de correlación de Pearson.

## Capítulo IV: Resultados

### Obtención de muestras

Se recolectaron tres muestras de *Carica pentagona* Heilborn (babaco) en tres diferentes estadios de madurez. Se nombró cada muestra con nomenclaturas específicas (Tabla 9) que permitieron una mayor agilidad para expresar los resultados.

**Tabla 9**

*Descripción y nomenclatura de las tres muestras de Carica pentagona Heilborn*

| <b>Muestra</b> | <b>Nombre</b>   | <b>Descripción</b>                             | <b>Nomenclatura</b> |
|----------------|---|--|---------------------|
| 1              | Fruto de babaco, estadio de madurez I – estado fisiológico  | Color verde en su totalidad, textura sólida    | CP-EI               |
| 2              | Fruto de babaco, estadio de madurez II – madurez incompleta | Color verde – amarillo, textura sólida         | CP-EII              |
| 3              | Fruto de babaco, estadio de madurez III – madurez comercial | Color amarillo en su totalidad, textura blanda | CP-EIII             |

El muestreo empleado en el sector de Guasuganda provincia de Cotopaxi dieron como resultado la obtención de las tres muestras. Cabe destacar que se emplearon muestras de babaco exclusivamente cosechados del sector seleccionados con exhaustivo cuidado para sus respectivos análisis.

**Figura 2**

*Ejemplares obtenidos del muestreo de *Carica pentagona* Heilborn*



Antes de su análisis fitoquímico se obtuvo extractos etanólicos de la pulpa de cada uno de los babacos en uso (Figura 2).

**Obtención de extractos con el uso de etanol**

Se usaron las pulpas de cada uno de los babacos para obtener extractos etanólicos. Con la ayuda de un mortero se trituraron las pulpas e inmediatamente se transvasaron y mezclaron 5 g de pulpa con 50 mL de etanol al 99,6% en tubos Falcon rotulados para su posterior reposo durante al menos 48 horas. No fue necesario realizar diluciones a los extractos puros.

**Determinación y cuantificación del carácter antioxidante**

Para el estudio se utilizaron tres métodos espectrofotométricos – colorimétricos para cada una de las muestras del género *Carica* identificados con anterioridad como: método FRAP, método DPPH y método ABTS.

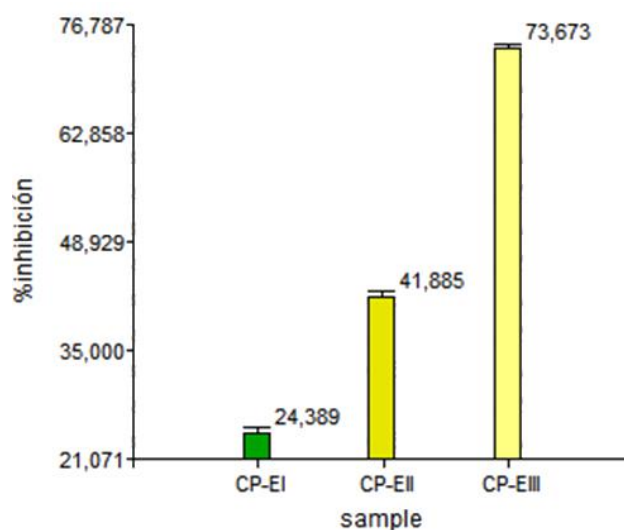
### **Cuantificación del carácter antioxidante por el método ABTS**

La cuantificación del carácter antioxidante por el método ABTS se basa en la decoloración del radical (azul-verdoso) al momento de la reacción con moléculas antioxidantes que presenta la muestra. De esta manera si se genera reacción el catión radical pasa de su color característico a incoloro debido a su transformación a forma neutra.

Los resultados del porcentaje de inhibición determinaron que hubo una mayor inhibición de  $ABTS^+$  en el fruto de babaco en su tercer estadio con un valor promedio de 73,67%, mientras que el porcentaje de inhibición menor lo presentó el fruto de babaco en su primer estadio de madurez con un valor promedio de 24,39% (Figura 3).

**Figura 3**

*Porcentaje de inhibición de los RL de muestras de babaco por el método ABTS.*



Elaborado por: Galo Canchignia (2023)

Los valores resultantes del porcentaje de inhibición de RL  $ABTS^+$  se procesaron con la ayuda de la curva de calibración (Apéndice 1) dando como resultados cantidades expresadas en unidades de  $\mu\text{mol Trolox/g fw}$ . La capacidad antioxidante usando el método ABTS claramente predomina en el estadio III del fruto de babaco (madurez completa, CP-EIII) con un



valor promedio de 75,51  $\mu\text{mol Trolox/g fw}$ , en cambio, en el fruto de babaco en su primer estadio (madurez fisiológica, CP-EI) se observa que la capacidad antioxidante que genera es la menor con un valor de 17,70  $\mu\text{mol Trolox/g fw}$  (Figura 4).

#### Figura 4

*Medidas de resumen descriptivas de la capacidad antioxidante por el método ABTS para muestras de babaco.*

##### Medidas resumen

| sample  | Variable                    | Media | D.E. | E.E. | Mediana |
|---------|-----------------------------|-------|------|------|---------|
| CP-EI   | $\mu\text{mol Trolox g/fw}$ | 17,70 | 0,92 | 0,53 | 17,67   |
| CP-EII  | $\mu\text{mol Trolox g/fw}$ | 38,23 | 0,82 | 0,47 | 38,38   |
| CP-EIII | $\mu\text{mol Trolox g/fw}$ | 75,51 | 0,68 | 0,39 | 75,15   |

Para el análisis experimental de los resultados previo a obtener la ANOVA se tuvieron que verificar los tres supuestos (normalidad, homocedasticidad e independencia de datos) que corresponden a un análisis estadístico paramétrico.

Para comprobar el supuesto de normalidad se utilizó el Test Shapiro – Wilk confirmando o no que los datos siguen una distribución normal, los resultados del test se observan en la Figura 5 utilizando como referencia  $p_{\text{valor}} \geq 0,05$  que verificó la validez del test ( $p = 0,2240$ ).

#### Figura 5

*Test Shapiro – Wilk para la evaluación del supuesto de normalidad por el método ABTS.*

##### Shapiro-Wilks (modificado)

| Variable         | n | Media | D.E. | W*   | p (Unilateral D) |
|------------------|---|-------|------|------|------------------|
| RDUO %inhibición | 9 | 0,00  | 0,60 | 0,88 | 0,2240           |

El otro supuesto que se comprobó y cumplió para el análisis fue el de homocedasticidad, para lo cual se utilizó un ANOVA con una causa de variación (residuos del porcentaje de inhibición, RABS) utilizando como referencia un  $p\_valor \geq 0,05$  del cual se obtuvo un valor mayor al de referencia ( $p = 0,9495$ ) dando por hecho que no existe la evidencia suficiente para concluir que los residuos no son homogéneos, aceptando la homocedasticidad de la prueba (Figura 6). El Test usado también es conocido como Test de Levene

### Figura 6

*Análisis de varianza usando los residuos para la evaluación del supuesto de homocedasticidad por el método ABTS.*

#### Análisis de la varianza

| Variable         | N | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|------------------|---|----------------|-------------------|-------|
| RABS %inhibición | 9 | 0,02           | 0,00              | 67,54 |

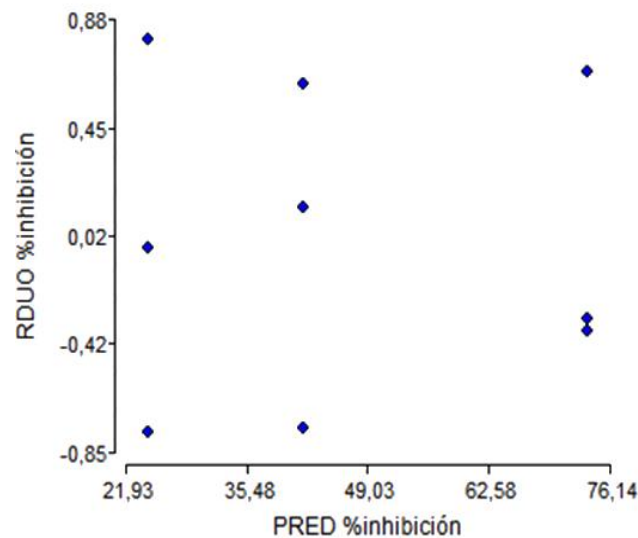
#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V.   | SC   | gl | CM   | F    | p-valor |
|--------|------|----|------|------|---------|
| Modelo | 0,01 | 2  | 0,01 | 0,05 | 0,9495  |
| sample | 0,01 | 2  | 0,01 | 0,05 | 0,9495  |
| Error  | 0,67 | 6  | 0,11 |      |         |
| Total  | 0,68 | 8  |      |      |         |

Por último, para verificar la independencia de datos se realizó un diagrama de dispersión dónde se observó que no existan dos características: sobreposición de los datos y tendencias. En la Figura 7 se puede observar el diagrama de dispersión y se determinó que no existe ninguna de las características antes descritas, por lo tanto, la independencia de datos se cumple.

**Figura 7**

Diagrama de dispersión para la evaluación de independencia de datos por el método ABTS.



Elaborado por: Galo Canchignia (2023)

Para el análisis de varianza (ANOVA) al comprobarse del cumplimiento de los tres supuestos con un nivel de significancia del 0,05 y obtenido un valor p menor a 0,0001, hubo suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula, existe diferencia significativa entre las muestras comparadas (Figura 8).

**Figura 8**

Análisis de varianza del carácter antioxidante en muestras de babaco para el método ABTS.

#### Análisis de la varianza

| Variable    | N | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV   |
|-------------|---|----------------|-------------------|------|
| %inhibición | 9 | 1,00           | 1,00              | 1,48 |

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V.   | SC      | gl | CM      | F       | p-valor |
|--------|---------|----|---------|---------|---------|
| Modelo | 3745,58 | 2  | 1872,79 | 3904,19 | <0,0001 |
| sample | 3745,58 | 2  | 1872,79 | 3904,19 | <0,0001 |
| Error  | 2,88    | 6  | 0,48    |         |         |
| Total  | 3748,46 | 8  |         |         |         |

Para la comparación de las medias de los extractos, se realizó el Test de Tukey usando un nivel de significancia del 95%, donde se identificó las diferencias significativas entre los grupos. Para CP-EIII se verificó que se encuentra dentro del Grupo C siendo la de mayor carácter antioxidante de los extractos analizados, y CP-EI (Grupo A) el menor de todos (Figura 9). De esta manera se constata que el estado de madurez en el que se encuentra el fruto de babaco influye en la actividad antioxidante que este fruto pueda aportar.

### Figura 9

*Prueba de significancia de Tukey sobre el carácter antioxidante en muestras de babaco para el método ABTS.*

```

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,73511
Error: 0,4797 gl: 6
sample Medias n E.E.
-----
CP-EI    24,39  3 0,40  A
CP-EII   41,89  3 0,40  B
CP-EIII  73,67  3 0,40  C
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

```

### **Cuantificación de la capacidad antioxidante por el método DPPH**

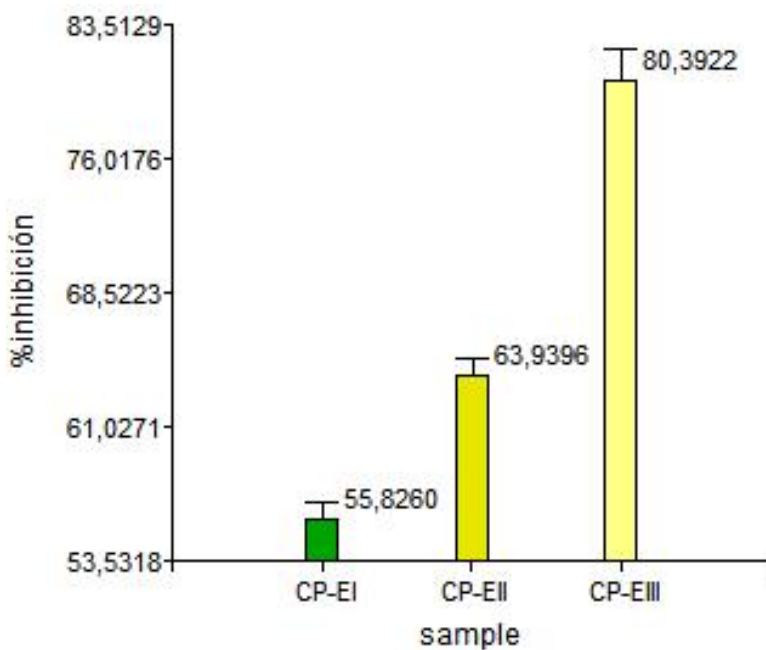
Para este método la forma de comprobar visualmente la presencia de moléculas antioxidantes en los extractos de babaco es el cambio de color violeta oscuro del 1,1-difenil-2-picrilhidrazina (DPPH) en etanol hacia un color amarillo pálido inducido por la reacción de una molécula antioxidante presente en el extracto de babaco que dona un átomo de hidrógeno y genera este cambio de color en la solución. De esta manera el radical DPPH se transforma en 2,2-difenil-1-hidrazina.

Los resultados del porcentaje de inhibición determinaron que hubo una mayor inhibición de los radicales libres en el fruto de babaco en su tercer estadio (CP-EIII) con un valor promedio de 80,3922%, mientras que el porcentaje de inhibición menor lo presentó el

fruto de babaco en su primer estadio de madurez (CP-EI) con un valor promedio de 55,8260% (Figura 10).

**Figura 10**

*Porcentaje de inhibición de los RL de muestras de babaco por el método DPPH.*



Elaborado por: Galo Canchignia (2023)

Los valores resultantes de la lectura del porcentaje de inhibición se procesaron con la ayuda de la curva de calibración (Apéndice 2) dando como resultados cantidades expresadas en unidades de  $\mu\text{mol Trolox/g fw}$ . Para este método la mejor actividad antioxidante la tuvo el fruto de babaco en su tercer estadio (madurez completa, CP-EIII) con un valor promedio de  $175,22 \mu\text{mol Trolox/g fw}$ , y la peor actividad en el fruto de babaco en su primer estadio (madurez fisiológica, CP-EI) con un valor promedio de  $120,85 \mu\text{mol Trolox/g fw}$  (Figura 11).

**Figura 11**

*Medidas de resumen descriptivas de la capacidad antioxidante por el método DPPH para muestras de babaco.*

**Medidas resumen**

| <u>sample</u> | <u>Variable</u>  | <u>Media</u> | <u>D.E.</u> | <u>E.E.</u> | <u>Mediana</u> |
|---------------|------------------|--------------|-------------|-------------|----------------|
| CP-EI         | umol Trolox/g fw | 120,85       | 2,06        | 1,19        | 121,14         |
| CP-EII        | umol Trolox/g fw | 138,80       | 2,06        | 1,19        | 139,10         |
| CP-EIII       | umol Trolox/g fw | 175,22       | 3,89        | 2,25        | 175,22         |

Para aplicar una estadística paramétrica para este método se comprobaron los supuestos de normalidad, homocedasticidad e independencia de datos.

Para comprobar el supuesto de normalidad se utilizó el Test Shapiro – Wilk confirmando o no que los datos siguen una distribución normal, los resultados del test se observan en la Figura 12 utilizando como referencia  $p\_valor \geq 0,05$  que verificó la validez del test ( $p = 0,8104$ ).

**Figura 12**

*Test Shapiro – Wilk para la evaluación del supuesto de normalidad por el método DPPH.*

**Shapiro-Wilks (modificado)**

| <u>Variable</u>       | <u>n</u> | <u>Media</u> | <u>D.E.</u> | <u>W*</u> | <u>p(Unilateral D)</u> |
|-----------------------|----------|--------------|-------------|-----------|------------------------|
| RDUO umol Trolox/g fw | 9        | 0,00         | 2,43        | 0,95      | 0,8104                 |

Para el supuesto de homocedasticidad se utilizó un ANOVA con una causa de variación (residuos, RABS) utilizando como referencia un  $p\_valor \geq 0,05$  del cual se obtuvo un valor mayor al de referencia ( $p = 0,6094$ ) dando por hecho que no existe la evidencia suficiente para concluir que los residuos no son homogéneos, aceptando la homocedasticidad de la prueba (Figura 13).

**Figura 13**

*Análisis de varianza usando los residuos para la evaluación del supuesto de homocedasticidad por el método DPPH.*

**Análisis de la varianza**

| Variable              | N | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|-----------------------|---|----------------|-------------------|-------|
| RABS umol Trolox/g fw | 9 | 0,15           | 0,00              | 83,74 |

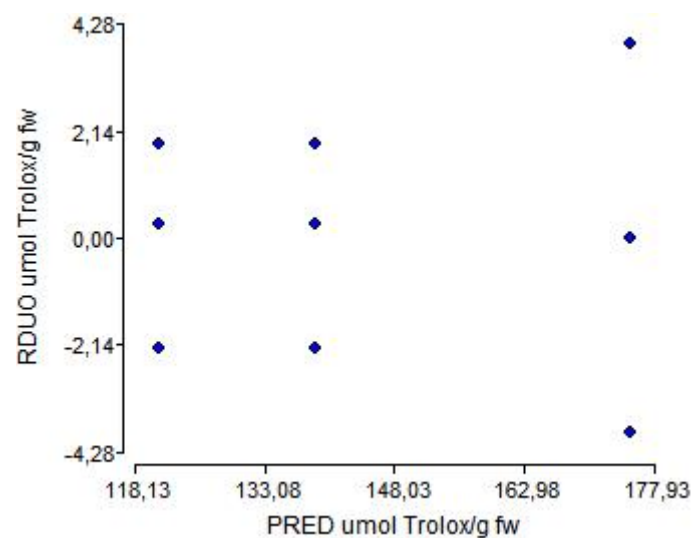
**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V.   | SC    | gl | CM   | F    | p-valor |
|--------|-------|----|------|------|---------|
| Modelo | 2,56  | 2  | 1,28 | 0,54 | 0,6094  |
| sample | 2,56  | 2  | 1,28 | 0,54 | 0,6094  |
| Error  | 14,25 | 6  | 2,37 |      |         |
| Total  | 16,80 | 8  |      |      |         |

Para verificar la independencia de datos se realizó un diagrama de dispersión donde se observó que no existan dos características: sobreposición de los datos y tendencias. En la Figura 14 se puede observar el diagrama de dispersión y se determinó que no existe ninguna de las características antes descritas, por lo tanto, la independencia de datos se cumple.

**Figura 14**

*Diagrama de dispersión para la evaluación de independencia de datos por el método DPPH.*



Elaborado por: Galo Canchignia (2023)

Para el análisis de varianza (ANOVA) al comprobarse del cumplimiento de los tres supuestos con un nivel de significancia del 0,05 y obtenido un valor p menor a 0,0001, hubo suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula, existe diferencia significativa entre las muestras comparadas (Figura 15).

### Figura 15

*Análisis de varianza del carácter antioxidante en muestras de babaco para el método DPPH.*

#### Análisis de la varianza

| Variable    | N | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV   |
|-------------|---|----------------|-------------------|------|
| %inhibición | 9 | 0,99           | 0,99              | 1,90 |

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V.   | SC     | gl | CM     | F      | p-valor |
|--------|--------|----|--------|--------|---------|
| Modelo | 940,01 | 2  | 470,01 | 292,20 | <0,0001 |
| sample | 940,01 | 2  | 470,01 | 292,20 | <0,0001 |
| Error  | 9,65   | 6  | 1,61   |        |         |
| Total  | 949,66 | 8  |        |        |         |

Para la comparación de las medias de los extractos, se realizó el Test de Tukey usando un nivel de significancia del 95%, donde se identificó las diferencias significativas entre los grupos. Al igual que en el Test Tukey para el método DPPH, se verificó que CP-EIII inhibe los RL en mayor porcentaje (Grupo C), y CP-EI (Grupo A) presenta el menor grado de inhibición de los tres grupos comparados (Figura 16).

### Figura 16

*Prueba de significancia de Tukey sobre el carácter antioxidante en el fruto de babaco para el método DPPH.*

#### Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=3,17732

Error: 1,6085 gl: 6

| sample  | Medias | n | E.E. |   |
|---------|--------|---|------|---|
| CP-EI   | 55,83  | 3 | 0,73 | A |
| CP-EII  | 63,94  | 3 | 0,73 | B |
| CP-EIII | 80,39  | 3 | 0,73 | C |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

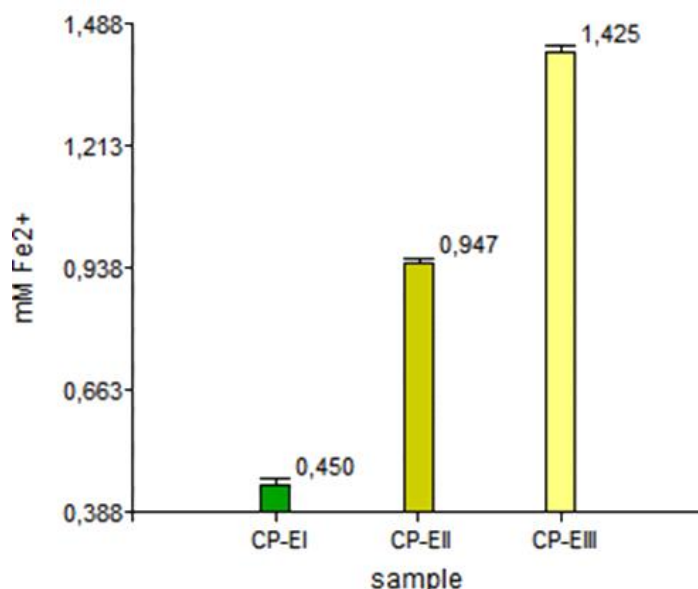


### **Cuantificación del carácter antioxidante usando el método FRAP**

Para el método FRAP se obtuvieron resultados en base a la concentración de  $\text{Fe}^{2+}$  presentes en cada muestra como referencia del potencial reductor. La muestra de babaco en tercer estadio (CP-EIII) presentó el poder reductor más elevado entre las muestras con un valor promedio de 1,425 mM  $\text{Fe}^{2+}$ , mientras que la muestra con menor poder reductor fue la de babaco en su primer estadio (CP-EI) con un valor promedio de 0,450 mM  $\text{Fe}^{2+}$  (Figura 17).

**Figura 17**

*Poder reductor expresados en mM  $\text{Fe}^{2+}$  de muestras de babaco para la prueba FRAP.*



Los resultados previamente obtenidos en unidades de mM  $\text{Fe}^{2+}$  fueron transformados mediante la curva de calibración (Apéndice 3) y se expresaron en unidades de mg  $\text{FeSO}_4$  por cada 100 g de muestra. En este caso se obtuvieron directamente proporcionales a los obtenidos en la Figura 18, en dónde, el mayor poder reductor lo obtuvieron las muestras CP-EIII y el menor poder reductor las muestras CP-EI con valores promedio de 712,70 mg  $\text{FeSO}_4/100$  g fw y 225,05 mg  $\text{FeSO}_4/100$  g fw respectivamente.

**Figura 18**

*Medidas de resumen descriptivas del poder reductor por el método FRAP para muestras de babaco.*

**Medidas resumen**

| sample  | Variable                      | Media  | D.E. | E.E. | Mediana |
|---------|-------------------------------|--------|------|------|---------|
| CP-EI   | mg FeSO <sub>4</sub> /100g fw | 225,05 | 5,85 | 3,38 | 225,05  |
| CP-EII  | mg FeSO <sub>4</sub> /100g fw | 473,33 | 6,69 | 3,86 | 473,33  |
| CP-EIII | mg FeSO <sub>4</sub> /100g fw | 712,70 | 6,16 | 3,56 | 714,93  |

Para aplicar una estadística paramétrica para este método se comprobaron los supuestos de normalidad, homocedasticidad e independencia de datos.

Para comprobar el supuesto de normalidad se utilizó el Test Shapiro – Wilk confirmando o no que los datos siguen una distribución normal, los resultados del test se observan en la Figura 19 utilizando como referencia  $p_{\text{valor}} \geq 0,05$  que verificó la validez del test ( $p = 0,1139$ ).

**Figura 19**

*Test Shapiro – Wilk para la evaluación del supuesto de normalidad por el método FRAP.*

**Shapiro-Wilks (modificado)**

| Variable                 | n | Media | D.E. | W*   | p(Unilateral D) |
|--------------------------|---|-------|------|------|-----------------|
| RDUO mM Fe <sup>2+</sup> | 9 | 0,00  | 0,01 | 0,85 | 0,1139          |

Para el supuesto de homocedasticidad se utilizó un ANOVA con una causa de variación (residuos, RABS) utilizando como referencia un  $p_{\text{valor}} \geq 0,05$  del cual se obtuvo un valor mayor al de referencia ( $p = 0,9590$ ) dando por hecho que no existe la evidencia suficiente para concluir que los residuos no son homogéneos, aceptando la homocedasticidad de la prueba (Figura 20).

**Figura 20**

*Análisis de varianza usando los residuos para la evaluación del supuesto de homocedasticidad por el método FRAP.*

**Análisis de la varianza**

| Variable     | N | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|--------------|---|----------------|-------------------|-------|
| RABS mM Fe2+ | 9 | 0,01           | 0,00              | 75,28 |

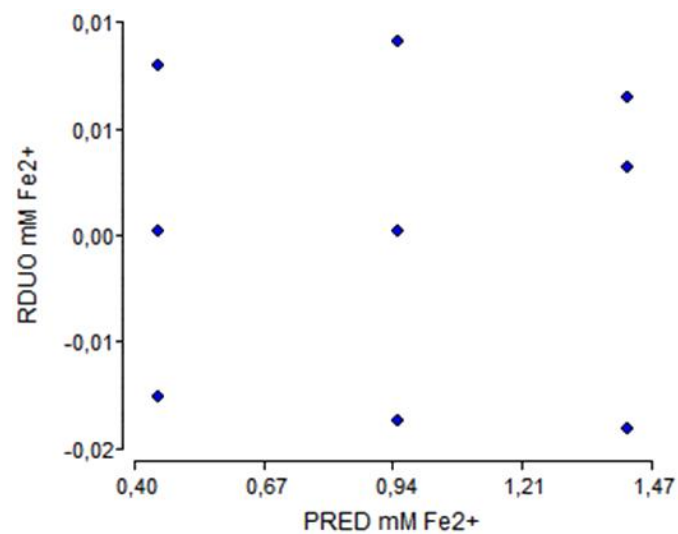
**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V.   | SC      | gl | CM      | F    | p-valor |
|--------|---------|----|---------|------|---------|
| Modelo | 3,6E-06 | 2  | 1,8E-06 | 0,04 | 0,9590  |
| sample | 3,6E-06 | 2  | 1,8E-06 | 0,04 | 0,9590  |
| Error  | 2,6E-04 | 6  | 4,3E-05 |      |         |
| Total  | 2,6E-04 | 8  |         |      |         |

Para verificar la independencia de datos se realizó un diagrama de dispersión donde se observó que no existan dos características: sobreposición de los datos y tendencias. En la Figura 21 se puede observar el diagrama de dispersión y se determinó que no existe ninguna de las características antes descritas, por lo tanto, la independencia de datos se cumple.

**Figura 21**

*Diagrama de dispersión para la evaluación de independencia de datos por el método FRAP.*



Elaborado por: Galo Canchignia (2023)

Para el análisis de varianza (ANOVA) al comprobarse del cumplimiento de los tres supuestos con un nivel de significancia del 0,05 y obtenido un valor p menor a 0,0001, hubo suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula, existe diferencia significativa entre el potencial reductor de las muestras comparadas (Figura 22).

### Figura 22

*Análisis de varianza del poder reductor en muestras de babaco para el método FRAP.*

#### Análisis de la varianza

| Variable | N | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV   |
|----------|---|----------------|-------------------|------|
| mM Fe2+  | 9 | 1,00           | 1,00              | 1,33 |

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V.   | SC      | gl | CM      | F       | p-valor |
|--------|---------|----|---------|---------|---------|
| Modelo | 1,43    | 2  | 0,71    | 4575,96 | <0,0001 |
| sample | 1,43    | 2  | 0,71    | 4575,96 | <0,0001 |
| Error  | 9,4E-04 | 6  | 1,6E-04 |         |         |
| Total  | 1,43    | 8  |         |         |         |

Para la comparación de las medias de los extractos, se realizó el Test de Tukey usando un nivel de significancia del 95%, donde se identificó las diferencias significativas entre los grupos. Se verificó la hipótesis alternativa que muestra a CP-EIII como el grupo con mayor poder reductor (Grupo C), y CP-EI (Grupo A) como el grupo con el menor poder reductor difiriendo significativamente los valores entre los grupos (Figura 23).

### Figura 23

*Prueba de significancia de Tukey sobre el carácter antioxidante en el fruto de babaco para el método FRAP.*

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,03128

Error: 0,0002 gl: 6

| sample  | Medias | n | E.E. |   |
|---------|--------|---|------|---|
| CP-EI   | 0,45   | 3 | 0,01 | A |
| CP-EII  | 0,95   | 3 | 0,01 | B |
| CP-EIII | 1,43   | 3 | 0,01 | C |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

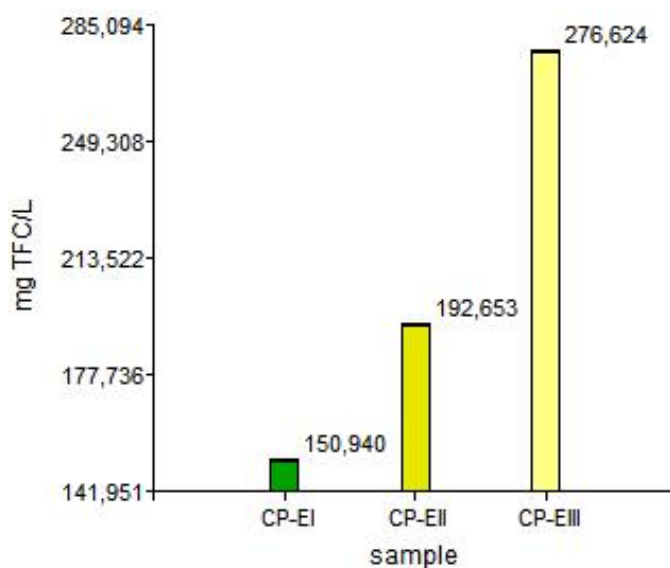
### ***Cuantificación del contenido de fenoles totales – Método de Folin – Ciocalteau***

El método Folin – Ciocalteau es el más utilizado para determinar el contenido de fenoles totales. Para el procesamiento de datos se utilizó la curva de calibración con ácido gálico (Apéndice 4) en concentraciones entre 0 a 0,5 mg/mL. La ecuación que se obtuvo fue  $y = 0,0061x + 0,1393$  ( $R^2 = 0,9941$ ).

En base a la Figura 24 se determinó que la muestra de babaco en su tercer estadio (CP-EIII) presenta la mayor concentración promedio de 276,624 mg TPC/L y que la menor concentración de 150,940 mg TPC/L pertenece al estudio de la muestra de babaco en su primer estadio (CP-EI).

**Figura 24**

*Contenido de fenoles totales en muestras de babaco.*



Elaborado por: Galo Canchignia (2023)

Para representar de forma numéricamente concreta se expresaron los resultados de mg TPC/L en unidades de mg equivalentes de GAE por cada g de muestra fresca. La mayor concentración la tuvo el fruto de babaco en su tercer estadio (madurez completa, CP-EIII) con un valor promedio de 13,83 mg GAE/g fw, y la peor actividad en el fruto de babaco en su

primer estadio (madurez fisiológica, CP-EI) con un valor promedio de 7,55 mg GAE/g fw (Figura 25).

### Figura 25

*Medidas de resumen descriptivas del contenido de fenoles totales en muestras de babaco.*

#### Medidas resumen

| <u>sample</u> | <u>Variable</u> | <u>Media</u> | <u>D.E.</u> | <u>E.E.</u> | <u>Mediana</u> |
|---------------|-----------------|--------------|-------------|-------------|----------------|
| CP-EI         | mg QE/g fw      | 7,55         | 0,05        | 0,03        | 7,57           |
| CP-EII        | mg QE/g fw      | 9,63         | 0,05        | 0,03        | 9,65           |
| CP-EIII       | mg QE/g fw      | 13,83        | 0,04        | 0,02        | 13,84          |

Al momento de aplicar los supuestos para una estadística paramétrica se determinó que el supuesto de normalidad mediante el Test Shapiro – Wilk no se cumplió ( $p = 0,0077$ ) (Figura 26).

### Figura 26

*Incumplimiento del Test Shapiro – Wilk para la evaluación del supuesto de normalidad en la determinación de fenoles totales.*

#### Shapiro-Wilks (modificado)

| <u>Variable</u> | <u>n</u> | <u>Media</u> | <u>D.E.</u> | <u>W*</u> | <u>p(Unilateral D)</u> |
|-----------------|----------|--------------|-------------|-----------|------------------------|
| RDUO mg TFC/L   | 9        | 0,00         | 0,78        | 0,77      | 0,0077                 |

Debido al incumplimiento del supuesto de normalidad se utilizaron métodos no paramétricos. El método elegido fue el Test Kruskal Wallis que a un nivel de significancia de 0,05 y  $p\_valor = 0,036$ , lo que determinó que existe diferencia significativa en el contenido de fenoles totales entre los grupos (Figura 27).

**Figura 27**

*Test de Kruskal Wallis (análisis no paramétrico) del contenido total de fenoles.*

**Prueba de Kruskal Wallis**

| Variable sample  | N | Medias | D.E. | Medianas | H    | p      |
|------------------|---|--------|------|----------|------|--------|
| mg TFC/L CP-EI   | 3 | 150,94 | 1,00 | 151,48   | 7,20 | 0,0036 |
| mg TFC/L CP-EII  | 3 | 192,65 | 0,90 | 192,92   |      |        |
| mg TFC/L CP-EIII | 3 | 276,62 | 0,79 | 276,85   |      |        |

La comparación entre medias en la prueba Kruskal Wallis (Figura 28) evidenció que no existe diferencia significativa entre las muestras CP-EI y CP-EII (ambos en el Grupo A) pero si existe diferencia significativa entre CP-EI (Grupo A) y CP-EIII (Grupo B).

**Figura 28**

*Comparación de medias para el método Folín – Ciocalteu.*

| Trat.   | Medias | Ranks |     |
|---------|--------|-------|-----|
| CP-EI   | 150,94 | 2,00  | A   |
| CP-EII  | 192,65 | 5,00  | A B |
| CP-EIII | 276,62 | 8,00  | B   |

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)*

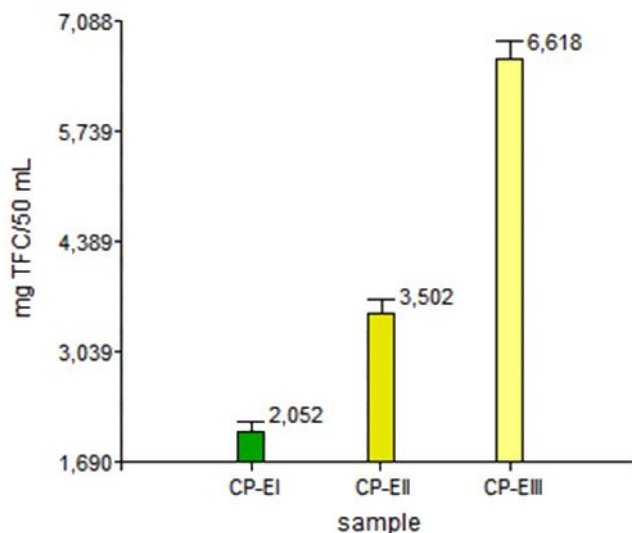
**Cuantificación del contenido de Flavonoides totales**

En este método colorimétrico se forman complejos de color amarillento que determinan la presencia de flavonoides de las muestras de babaco. Para ello se utilizó la curva de calibración usando como patrón la quercetina en concentraciones entre 0 a 0,150 mg/mL (Apéndice 5). La ecuación que se obtuvo fue  $y = 0,0149x + 0,0983$  ( $R^2 = 0,9915$ ).

Los flavonoides al pertenecer al grupo de fenoles generaron que para el ensayo se obtuvieron resultados en relación con el contenido de fenoles totales. Por lo tanto, el grupo con mayor contenido de flavonoides fue el de babaco en su tercer estadio (CP-EIII) con un valor promedio de 6,618 mg TFC/50 mL, mientras que el primer estadio fue el que tuvo menor cantidad promedio de flavonoides con un valor de 2,052 mg TFC/50 mL (Figura 29).

**Figura 29**

*Contenido de flavonoides totales en muestras de babaco.*



Se cuantificó los valores de flavonoides totales con respecto al patrón (QE) donde la mayor cantidad de flavonoides la presentó la muestra de babaco en el tercer estadio (CP-EIII) con un valor de 5,29 mg QE/g fw y, al contrario, la muestra de babaco en su primer estadio fue la que menor cantidad tuvo con un valor promedio de 1,64 mg QE/g fw (Figura 30).

**Figura 30**

*Medidas de resumen descriptivas del contenido de flavonoides totales en muestras de babaco.*

#### Medidas resumen

| sample  | Variable   | Media | D.E. | E.E. | Mediana |
|---------|------------|-------|------|------|---------|
| CP-EI   | mg QE/g fw | 1,64  | 0,09 | 0,05 | 1,65    |
| CP-EII  | mg QE/g fw | 2,80  | 0,13 | 0,08 | 2,80    |
| CP-EIII | mg QE/g fw | 5,29  | 0,18 | 0,10 | 5,33    |

Para aplicar una estadística paramétrica se comprobaron los supuestos de normalidad, homocedasticidad e independencia de datos.

Para comprobar el supuesto de normalidad se utilizó el Test Shapiro – Wilk confirmando o no que los datos siguen una distribución normal, los resultados del test se



observan en la Figura 31 utilizando como referencia  $p\_valor \geq 0,05$  que verificó la validez del test ( $p = 0,6474$ ).

### Figura 31

*Test Shapiro – Wilk para la evaluación del supuesto de normalidad para flavonoides totales.*

#### Shapiro-Wilks (modificado)

| Variable        | n | Media | D.E. | W*   | p(Unilateral D) |
|-----------------|---|-------|------|------|-----------------|
| RDUO mg QE/g fw | 9 | 0,00  | 0,12 | 0,93 | 0,6474          |

Para el supuesto de homocedasticidad se utilizó un ANOVA con una causa de variación (residuos, RABS) utilizando como referencia un  $p\_valor \geq 0,05$  del cual se obtuvo un valor mayor al de referencia ( $p = 0,5520$ ) dando por hecho que no existe la evidencia suficiente para concluir que los residuos no son homogéneos, aceptando la homocedasticidad de la prueba (Figura 32).

### Figura 32

*Análisis de varianza usando los residuos para la evaluación del supuesto de homocedasticidad para flavonoides totales.*

#### Análisis de la varianza

| Variable        | N | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|-----------------|---|----------------|-------------------|-------|
| RABS mg QE/g fw | 9 | 0,18           | 0,00              | 75,01 |

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

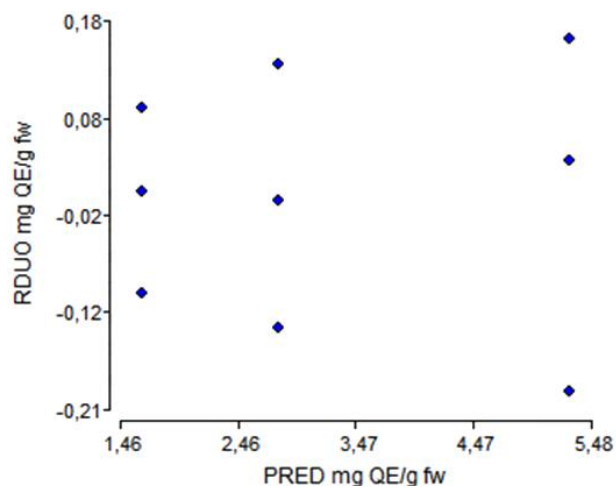
| F.V.   | SC   | gl | CM      | F    | p-valor |
|--------|------|----|---------|------|---------|
| Modelo | 0,01 | 2  | 3,3E-03 | 0,66 | 0,5520  |
| sample | 0,01 | 2  | 3,3E-03 | 0,66 | 0,5520  |
| Error  | 0,03 | 6  | 0,01    |      |         |
| Total  | 0,04 | 8  |         |      |         |

Para verificar la independencia de datos se realizó un diagrama de dispersión dónde se observó que no existan dos características: sobreposición de los datos y tendencias. En la

Figura 33 se puede observar el diagrama de dispersión y se determinó que no existe ninguna de las características antes descritas, por lo tanto, la independencia de datos se cumple.

**Figura 33**

*Diagrama de dispersión para la evaluación de independencia de datos para flavonoides totales.*



Elaborado por: Galo Canchignia (2023)

Para el análisis de varianza (ANOVA) al comprobarse del cumplimiento de los tres supuestos con un nivel de significancia del 0,05 y obtenido un valor p menor a 0,0001, hubo suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula, existe diferencia significativa entre las muestras comparadas (Figura 34).

**Figura 34**

*Análisis de varianza del carácter antioxidante en muestras de babaco para flavonoides totales.*

#### Análisis de la varianza

| Variable   | N | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV   |
|------------|---|----------------|-------------------|------|
| mg QE/g fw | 9 | 0,99           | 0,99              | 4,30 |

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V.   | SC    | gl | CM    | F      | p-valor |
|--------|-------|----|-------|--------|---------|
| Modelo | 20,90 | 2  | 10,45 | 537,07 | <0,0001 |
| sample | 20,90 | 2  | 10,45 | 537,07 | <0,0001 |
| Error  | 0,12  | 6  | 0,02  |        |         |
| Total  | 21,02 | 8  |       |        |         |

Para la comparación de las medias de los extractos, se realizó el Test de Tukey usando un nivel de significancia del 95%, donde se identificó las diferencias significativas entre los grupos. Se verificó que CP-EIII efectivamente presenta mayor cantidad de flavonoides (Grupo A), y CP-EI (Grupo C) presenta una menor cantidad en comparación con los otros dos grupos (Figura 35).

### Figura 35

*Prueba de significancia de Tukey sobre el carácter antioxidante en el fruto de babaco para flavonoides totales.*

```

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,34945
Error: 0,0195 gl: 6
sample Medias n E.E.
-----
CP-EI      1,64  3 0,08  A
CP-EIII    2,80  3 0,08  B
CP-EIIII   5,29  3 0,08  C
-----
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

```

### Correlación de Pearson

Se obtuvieron los datos de la correlación de Pearson entre los 5 métodos utilizados. Este método es aplicable para la medición de la relación estadística entre dos variables cuantitativas como se observa en la Figura 36.

Se observa que existe una correlación positiva elevada entre los principios activos estudiados y el carácter antioxidante que estos pueden producir, dando como resultados de correlación entre TPC con respecto a DPPH, ABTS y FRAP de 1,00, 0,97 y 0,99 respectivamente. Igualmente, la correlación entre TFC con respecto a DPPH, ABTS y FRAP de 0,95, 1,00 y 0,99 respectivamente. En cuanto a la correlación en los métodos de capacidad antioxidante se observa una correlación positiva entre FRAP con ABTS y DPPH con valores de 0,98 y 1,00 respectivamente.

Figura 36

*Coefficientes de correlación de Pearson entre los principios activos y el carácter antioxidante.*

### Coefficientes de correlación

*Correlación de Pearson: Coeficientes\probabilidades*

|      | TPC  | TFC     | DPPH    | ABTS    | FRAP    |
|------|------|---------|---------|---------|---------|
| TPC  | 1,00 | 4,4E-05 | 8,6E-12 | 1,2E-05 | 1,1E-06 |
| TFC  | 0,96 | 1,00    | 7,4E-05 | 9,1E-09 | 3,5E-07 |
| DPPH | 1,00 | 0,95    | 1,00    | 2,2E-05 | 2,4E-06 |
| ABTS | 0,97 | 1,00    | 0,97    | 1,00    | 6,0E-09 |
| FRAP | 0,99 | 0,99    | 0,98    | 1,00    | 1,00    |

### Determinación del peso seco

Los resultados se obtuvieron después de un secado de 7 días de tres repeticiones para cada muestra. Estos resultados se plasmaron en la Tabla 10.

Tabla 10

*Pesos frescos, pesos secos y % de humedad en muestras de babaco.*

| Nombre         | #Rep | Peso fresco (g) | Peso seco (g) | % Humedad |
|----------------|------|-----------------|---------------|-----------|
|                | 1    | 1,015           | 0,392         | 61,379    |
| <b>CP-EI</b>   | 2    | 1,008           | 0,402         | 60,119    |
|                | 3    | 1,010           | 0,400         | 60,396    |
| <b>CP-EII</b>  | 1    | 1,012           | 0,250         | 75,296    |
|                | 2    | 1,011           | 0,242         | 76,063    |
|                | 3    | 1,007           | 0,237         | 76,465    |
| <b>CP-EIII</b> | 1    | 1,016           | 0,095         | 90,650    |
|                | 2    | 1,010           | 0,100         | 90,099    |
|                | 3    | 1,012           | 0,084         | 91,700    |

## Capítulo V: Discusión

El estudio incesante del ser humano para obtener beneficios de su entorno es una característica que ha implementado desde sus primeros pasos en nuestro planeta. Las plantas, particularmente los frutos, no son la excepción a este estudio por sus beneficios producto de la ingesta en la dieta diaria y sus funciones como conservantes naturales (Munekata et al., 2023). La presencia de moléculas antioxidantes endógenas en la mayoría de los frutos ha sido tema de estudio en los últimos años debido a la variedad de soluciones para prevenir enfermedades y como sustitutos naturales de antioxidantes sintéticos (Bisbal et al., 2020).

Desde que se concibe el fruto en la planta este adquiere nutrientes sintetizados por las hojas (savia elaborada) que viajan hacia el fruto y le otorgan moléculas beneficiosas para su desarrollo, entre las cuáles se encuentra la vitamina C, vitamina A, Fe, Ca, P, además de compuestos bioactivos como fenoles, aminoácidos, saponinas, taninos, flavonoides, entre otros (Espada et al., 2020). La presencia de estos compuestos bioactivos en el fruto genera un interés extra debido a su relación directa en la capacidad antioxidante que pueden generar y aportar (Nemzer et al., 2020).

A partir de su formación los frutos pasan por varias etapas de maduración en las que terminan su desarrollo y muestran mayor cantidad de compuestos fitoquímicos gracias a diversas reacciones químicas internas que generan con poderosas propiedades antioxidantes (Oszmiański et al., 2018). (Domínguez, 2011) realizó ensayos de capacidad antioxidante y cantidad de compuestos fenólicos en 4 distintos estados de madurez del fruto de piña cv. "Esmeralda" donde demostró que a medida que el fruto madura el contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante aumentan, siendo los niveles más bajos para el primer estado y los más altos para el cuarto estado de madurez. En este estudio se identificó el mismo patrón de tendencia en donde el tercer estadio de madurez de babaco presento los valores más altos de actividad antioxidante y compuestos fenólicos. Este incremento en la actividad

antioxidante se explica mediante el aumento de la hidrólisis de taninos que promueven el aumento de la cantidad de fenoles provocando a su vez un aumento en el carácter antioxidante (Muñoz et al., 2010).

Los frutos del género *Carica* contienen altos porcentajes de fibra dietética y compuestos con un alto poder reductor entre los cuales se puede mencionar compuestos bioactivos como polifenoles, vitamina C, carotenoides, entre otros (Vega-Gálvez et al., 2021). Existen factores que pueden determinar la mayor presencia o ausencia de estos compuestos bioactivos como los estados de madurez, el tipo de solvente de extracción y su composición, y la ubicación de dónde provenga el cultivo (Chen et al., 2022). Para el estudio se utilizó etanol absoluto como solvente de muestras provenientes de la región andina (Guasuganda-Cotopaxi) y con tres estadios de madurez postcosecha.

EL uso de etanol (EtOH) para obtener los extractos se debe a como este solvente puede disolver los compuestos endógenos presentes en el fruto (cáscaras y pulpa) (Chen et al., 2022). En el caso de los compuestos fenólicos según (Sultana et al., 2009) estos presentan un grupo hidroxilo que facilita su alta solubilidad en disolventes orgánicos polares obteniendo una mayor eficacia al utilizar soluciones acuosas del solvente más no en su forma absoluta. El uso de etanol o metanol como disolvente puede variar los resultados de forma numérica más no en forma conceptual, sin embargo, gracias a una polaridad mayor del metanol en comparación del etanol es recomendable el uso del primer solvente para evitar grandes sesgos en los resultados obtenidos (Correa, 2016).

Los resultados empleando el método ABTS arrojaron los mayores valores de inhibición de los RL en el tercer estadio (CP-EIII) con valores promedio de 73,673% de inhibición correspondientes a una actividad antioxidante de 75,51  $\mu\text{mol Trolox/g fw}$  y para DPPH de 175,22  $\mu\text{mol Trolox/g fw}$ . Un estudio realizado por (Auquiñivin & Paucar, 2020) cuantificó las actividades antioxidantes usando el método ABTS y DPPH en *Carica pubescens* Lenné & K. Koch

(papayita de monte) y *Carica pentagona* Heilborn (babaco) dónde obtuvo valores de  $37,67 \pm 1.54$  y  $12.61 \pm 0.61$   $\mu\text{mol Trolox/g fw}$  para ABTS, y  $149.23 \pm 8.01$   $\mu\text{mol Trolox/g fw}$  y  $127.51 \pm 4.23$   $\mu\text{mol Trolox/g fw}$  para DPPH. El estudio no revela el estado de madurez en el que fueron recolectadas las muestras, pero se asemejan a los valores cuantificados en este proyecto para el primer estadio de madurez con valores promedio de  $17,70$   $\mu\text{mol Trolox/g fw}$  para ABTS y  $120,85$   $\mu\text{mol Trolox/g fw}$  para DPPH, presumiéndose así que las muestras recolectadas por (Auquiñivin & Paucar, 2020) estaban en estados de madurez fisiológica debido a la coincidencia de valores entre la misma especie de babaco.

Empleando el método DPPH para determinar la capacidad antioxidante se mostraron mayores valores de inhibición de RL para las muestras correspondientes al tercer estadio de madurez (CP-EIII) con valores de 80,392% en comparación con las muestras menos maduras (CP-EI = 55,826 y CP-EII = 64,939). En una investigación de (Mejía, 2022) se calculó el % de inhibición de muestras de la pulpa de *Vasconcellea x heilbornii*, en estadios de madurez descritos como verde y maduro, para medir su actividad antioxidante en forma de % de captación de RL usando como solvente metanol. Los resultados arrojados por esta investigación establecieron un % de inhibición significativamente mayor en el estado maduro con respecto al estado verde con valores de  $79,02 \pm 3,44$  y  $60 \pm 1,29$ .

En el mismo estudio propuesto por (Mejía, 2022) se midió el contenido de fenoles totales dando resultados para estado maduro y estado verde de  $10,39 \pm 0,19$  y  $7,26 \pm 0,49$  mg GAE/g fw respectivamente. Los resultados para contenido de fenoles totales en nuestra investigación arrojaron valores promedio numéricamente distintos (CP-EI = 7,547; CP-EII = 9,633 y CP – EIII = 13,831 mg GAE/g fw) pero conceptualmente iguales a los establecidos anteriormente. (Oniszczyk et al., 2019) indica que relación entre la capacidad antioxidante y el contenido de fenoles totales es directamente proporcional en donde la mayor o menor actividad antioxidante dependerá del número de grupos hidroxilo presentes en la molécula, de

esta manera la presencia de agliconas en la estructura genera mayor actividad antioxidante que la presencia de moléculas unidas con formas glucosídicas.

El estudio cuantitativo para determinar la cantidad de flavonoides totales para el tipo de babaco usado en esta investigación aún no se ha desarrollado, debido a que en la mayoría de estudios se resumen como compuestos fenólicos o se habla en sí solamente de fenoles totales, sin embargo, (Zunjar et al., 2015) realizó un estudio en *Carica papaya* en India dónde cuantificó, usando como técnica de detección la prueba LCMS-MS, el contenido total de flavonoides con valores de  $22.99 \pm 0.02 \mu\text{g QE/mg}$ . En cambio, para el fruto de babaco las mayores cantidades de flavonoides se cuantificaron en el tercer estadio de madurez con un valor de  $5,29 \text{ mg QE/ g fw}$  observándose que, aunque pertenezcan al mismo género ambas especies los resultados varían dependiendo el lugar geográfico de dónde se obtuvo la muestra y el método usado para cuantificar los flavonoides.

Para el método FRAP (Amagua, 2020) determinó en su estudio en hojas de babaco enfermas bajo el efecto de elicitores (ácido salicílico, metil jasmonato) la inhibición del complejo  $\text{Fe}^{2+}$  bajo una capacidad antioxidante promedio de 104,322 y 100,663  $\mu\text{M}$  de  $\text{Fe/g}$  respectivamente, obteniendo los mejores resultados en plantas tratadas con ácido salicílico. En la figura 17 se muestra los resultados obtenidos con una mayor capacidad de reducción de  $\text{Fe}^{2+}$  para el fruto de babaco en su tercer estadio de madurez con un valor promedio de 1,425  $\text{mM Fe}^{2+}$ .

En cuanto al porcentaje de humedad, se muestra un valor promedio mayor en el tercer estadio (CP-EIII) cuantificado en 90,82% de humedad. (Auquiñivin & Paucar, 2020) cuantificó los porcentajes de humedad en pulpas de babaco y papayita frescas, ambas pertenecientes al género *Carica*, y reportó valores promedio de 94,05 y 87,79. El alto % de humedad es debido a la cantidad de agua que el fruto va adquiriendo al tiempo que va



madurando pues se considera a las frutas del género *Carica* como perecederas por su duración limitada para el consumo (Vega-Gálvez et al., 2021).

Las muestras recolectadas pertenecen a la especie *Carica pentagona* Heilborn en tres diferentes estadios de madurez postcosecha (fisiológica, organoléptica y madurez completa) que fueron recolectadas en el sector de Guasuganda provincia de Cotopaxi. Las muestras en el tercer estadio de madurez tuvieron un mayor contenido de fenoles y flavonoides totales en comparación con el primer y segundo estadio, el contenido total de estos compuestos se relacionó directamente con la capacidad antioxidante que cada extracto puede generar, por lo tanto, la presencia de una actividad antioxidante más fuerte depende directamente de la cantidad de compuestos fenólicos que tenga cada muestra (Aryal et al., 2019).

Los valores de correlación entre contenido total de fenoles y flavonoides que se muestran en la Figura 31 evidenciaron que las altas correlaciones entre capacidad antioxidante y fenoles totales (ABTS - TPC,  $R^2 = 0,97$ ; DPPH - TPC,  $R^2 = 1,00$ ; FRAP - TPC,  $R^2 = 0,99$ ) y flavonoides totales (ABTS - TPC,  $R^2 = 1,00$ ; DPPH - TPC,  $R^2 = 0,95$ ; FRAP - TPC,  $R^2 = 0,99$ ) según (Lino et al., 2015) los compuestos fenólicos y flavonoides donan átomos de hidrógeno a los radicales libres promoviendo la desactivación de estos radicales y otorgándoles una actividad antioxidante importante, además de ser estructuralmente propicios para eliminar radicales libres.

En este trabajo se ha demostrado la existencia de principios bioactivos, como los polifenoles, que aportan sustancialmente a la capacidad antioxidante y poder reductor de la pulpa del fruto de babaco dependiendo del estadio de madurez en el que este se encuentre. Ante la aseveración anterior se determina que existe una correlación positiva entre la cantidad de compuestos fenólicos y flavonoides con la actividad antioxidante independiente del estado de madurez, sin embargo, mientras la fruta vaya madurando hay menor o mayor presencia de fenoles y flavonoides, por lo tanto, hay menor o mayor actividad antioxidante.

## Capítulo VI: Conclusiones y Recomendaciones

### Conclusiones

Se recolectaron muestras frutales de *Carica pentagona* Heilborn (babaco) en tres diferentes estadios de madurez postcosecha (estado fisiológico, madurez incompleta y madurez comercial) obteniendo su extracto etanólico.

Se evaluó la cantidad de compuestos polifenólicos como fenoles y flavonoides totales en dónde las muestras de babaco en su tercer estadio de madurez presentaron las concentraciones más elevadas de fenoles totales con valores promedio de 13,83 mg GAE/g fw y de flavonoides totales con valores promedio de 5,29 mg QE/g fw.

Las muestras frutales de babaco pertenecientes al tercer estadio de madurez postcosecha también mostraron las mayores actividades antioxidantes en relación al porcentaje de inhibición con valores promedio iguales a 75,51  $\mu\text{mol Trolox/g fw}$  para la prueba ABTS y 175,22  $\mu\text{mol Trolox/g fw}$  para la prueba DPPH, además el poder reductor cuantificado por el método FRAP también fue mayor en las muestras en el tercer estadio con un valor promedio de de 1,425 mM  $\text{Fe}^{2+}$  correspondiente a un actividad de 712,70 mg  $\text{FeSO}_4/100 \text{ g fw}$ .

Tomando en cuenta los resultados se puede concluir que la actividad antioxidante tiene una relación directamente proporcional con la cantidad de fenoles y flavonoides totales y viceversa en las muestras frutales de babaco analizadas comprobándose así los coeficientes de correlación de Pearson que arrojaron valores de correlación altamente positivos entre las pruebas de actividad antioxidante y las pruebas para cuantificar componentes fenólicos y flavonoides.

Por último, la cantidad de compuestos fenólicos, flavonoides y capacidad antioxidante aumenta a medida que el fruto de babaco recolectado postcosecha va madurando, por tal motivo en el estudio los valores cuantitativos de cada una de las pruebas fueron aumentando a razón de que el estadio de madurez iba aumentando.

## **Recomendaciones**

Se recomienda realizar pruebas con extractos metanólicos debido a su proceso de extracción más eficaz que puedan servir como base para una comparación entre ambos extractos.

Tener en cuenta más estadios de madurez puede ayudar a tener más puntos de control, en este caso, es recomendable realizar análisis en estadios dónde la fruta esté cerca o atravesando la putrefacción para tener estudios que prevengan problemas de salud asociadas a la ingesta de frutas de babaco en descomposición.

Realizar análisis HPLC-MS para la muestra en estadio de madurez completa para obtener información acerca de todos los compuestos presentes y los beneficios que estos pueden aportar a la dieta y a su uso como conservante natural.

Se recomienda realizar un estudio fitoquímico y de carácter antioxidante para las cáscaras del fruto de babaco y realizar las respectivas comparaciones con los resultados obtenidos en la pulpa.

### Bibliografía

- Addai, Z. R., Abdullah, A., Mutalib, S. A., Musa, K. H., & Douqan, E. M. A. (2013). Antioxidant activity and physicochemical properties of mature papaya fruit (*Carica papaya* L. cv. Eksotika). *Advance Journal of Food Science and Technology*, 5(7), 859–865.  
<https://doi.org/10.19026/ajfst.5.3173>
- Ahmed, N., Kaur, J., Chauhan, P., & Thakur, Y. (2020). Maturity indices of fruit crops. *Just Agriculture*, 1(2). [https://justagriculture.in/files/newsletter/050. Maturity indices of fruit crops.pdf](https://justagriculture.in/files/newsletter/050.Maturity%20indices%20of%20fruit%20crops.pdf)
- Aldáz, A., Mastrocola, N., & Pazmiño, J. (2017). Efecto del 1-metilciclopropeno en la inhibición del etileno durante la maduración de babaco (*Vasconcellea x heilbornii* var. *Pentagona*). *Redalyc*, 4, 3–4.  
<https://www.redalyc.org/journal/6538/653868368008/653868368008.pdf>
- Álvarez, C. (2013). Evaluación de diferentes tipos de embalaje e índices de madurez en babaco (*vasconcellea pentagona*). *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Amagua, B. (2020). *Aplicación de elicitores en plantas de babaco para la obtención de metabolitos secundarios y tolerancia a Fusarium oxysporum f. sp. Vasconcellae* [Universidad de las Fuerzas Armadas].  
<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/22052/1/T-IASAI-005585.pdf>
- Amjad, M. (2021). Antioxidant Activity and Total Phenolic Contents of *Carcia papaya* L. (Pawpaw) fruit. *European Journal of Experimental Biology*, 1–4.  
<https://www.primescholars.com/articles/antioxidant-activity-and-total-phenolic-contents-of-carcia-papaya-l-pawpaw-fruit.pdf>
- Apak, R., Özyürek, M., Güçlü, K., & Çapanoğlu, E. (2016). Antioxidant activity/capacity

measurement. 1. Classification, physicochemical principles, mechanisms, and electron transfer (ET)-based assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(5), 997–1027.

<https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b04739>

Aparecida De Assis, S., Velloso, J. C. R., Brunetti, I. L., Khalil, N. M., Leite, K. M. D. S. C., Martins, A. B. G., & Oliveira, O. M. M. D. F. (2009). Antioxidant activity, ascorbic acid and total phenol of exotic fruits occurring in Brazil. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 60(5), 439–448. <https://doi.org/10.1080/09637480701780641>

Aryal, S., Baniya, M. K., Danekhu, K., Kunwar, P., Gurung, R., & Koirala, N. (2019). Total Phenolic Content, Flavonoid Content and Antioxidant Potential of Wild Vegetables from Western Nepal. *Plants*, 8(96), 1–12.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6524357/>

Auquiñivin, E., & Paucar, L. (2020). Estudio comparativo de las características fisicoquímicas y vida útil de las papayas nativas, “papayita de monte” (*Carica pubescens* Lenné & K. Koch) y “babaco” (*Carica pentagona* Heilborn) (Caricaceae) deshidratadas mediante liofilización.

*ArnaldoA*, 27(1), 115–128. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2413-](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2413-32992020000100115&script=sci_abstract&tlng=en)

[32992020000100115&script=sci\\_abstract&tlng=en](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2413-32992020000100115&script=sci_abstract&tlng=en)

Benítez-Estrada, A., Villanueva-Sánchez, J., González-Rosendo, G., Alcántar-Rodríguez, V. E., Puga-Díaz, R., & Quintero-Gutiérrez, A. G. (2020). Determinación de la capacidad antioxidante total de alimentos y plasma humano por fotoquimioluminiscencia:

Correlación con ensayos fluorométricos (ORAC) y espectrofotométricos (FRAP). *TIP*

*Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 23, 1–9.

<https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2020.0.244>

Biesalski, H., Ph, D., Dragsted, L. O., Ph, D., Elmadfa, I., D, M., Ph, D., Schrenk, D., Ph, D.,

Grossklaus, R., D, M., Mu, M., Walter, P., D, M., Weber, P., & Ph, D. (2009). Bioactive

compounds : Definition and assessment of activity. *ELSEVIER*, 25, 1202–1205.

<https://doi.org/10.1016/j.nut.2009.04.023>

Bisbal, J. J., Lloret, J. M., Martínez, G., & Fagoaga, C. (2020). Especies vegetales como antioxidantes de alimentos. *Revista Iberoamericana Interdisciplinar de Métodos, Modelización y Simulación*, 71–90. <https://doi.org/10.46583/nereis>

Bravo, C., Larriva, W., & Michala, L. E. (2012). Manejo integrado de la marchitez vascular o fusariosis (*Fusarium oxysporum*) en el cultivo de babaco. In *Boletín técnico* (Vol. 409). <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/2327/1/BT409.pdf>

Buelvas, Y. P. (2018). *Estudio de las propiedades fisiológicas, fisicoquímicas y nutraceuticas en el periodo postcosecha de la papaya (carica papaya l.) tainung f1 tipo exportación del Departamento de Córdoba*. 98.

<http://repositorio.unicordoba.edu.co/handle/123456789/1017>

Cañar, A. de A. I. de. (2014). El cultivo de babaco en invernadero ( Carica pentágona ). In *Asociación de Agrónomos Indígenas de Cañar (AAIC): Vol. Asociación*. [https://digitalrepository.unm.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1194&context=abya\\_yala](https://digitalrepository.unm.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1194&context=abya_yala)

Cano P., C., Bonilla R., P., & Valdivieso I., R. (2020). Metabolitos secundarios y capacidad antioxidante del extracto hidroalcohólico de hojas de *Minthostachys mollis* (muña). *Ciencia e Investigación*, 23(1), 15–18. <https://doi.org/10.15381/ci.v23i1.18718>

Centro de Inteligencia Comercial, C. (2006). *Perfiles de producto (Babaco)*. CORPEI - ECUADOR. <https://boletines.exportemos.pe/recursos/boletin/27593.PDF>

Chen, C., Mohd Mokhtar, R. A., Abdullah Sani, M. S., & Mohd Nor, Q. I. (2022). The Effect of Maturity and Extraction Solvents on Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of Mulberry ( *Morus alba* ) Fruits and Leaves. *Molecules*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9029729/pdf/molecules-27-02406.pdf>

CINCAP. (2019). ESTRÉS OXIDATIVO Y ANTIOXIDANTES EN LOS ALIMENTOS. *CINCAP*, 1–2.

<https://www.cincap.com.ar/wp-content/uploads/2019/01/GACETILLA-CINCAP-Estrés-oxidativo-Febrero-2019-1.pdf>

Contreras-Calderón, J., Calderón-Jaimes, L., Guerra-Hernández, E., & García-Villanova, B.

(2011). Antioxidant capacity, phenolic content and vitamin C in pulp, peel and seed from 24 exotic fruits from Colombia. *Food Research International*, 44(7), 2047–2053.

<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.11.003>

Cornejo-franco, J. F., Medina-salguero, A., Flores, F., Chica, E., Mollov, D., & Quito-avila, D. F.

(2020). Exploring the virome of *Vasconcellea x heilbornii* : the first step towards a sustainable production program for babaco in Ecuador. *J Plant Pathol*.

<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/35290/1/documento.pdf>

Correa, Y. (2016). *Capacidad antioxidante y contenido de compuestos fenólicos del extracto hidroalcohólico de la pulpa de Vasconcellea x heilbornii (babaco)* [UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO].

<http://www.scielo.br/pdf/ean/v13n2/v13n2a08.pdf>. 2009 abr-jun; 13(2).

Dafermos, G., & Vivero, J. L. (2015). Agroalimentación: Sistema agroalimentario abierto y sustentable en Ecuador. In *Línea 2: Capacidades productivas materiales orientadas a los comunes* (Vol. 2, pp. 293–344). <https://book.floksociety.org/ec/2-1-sistema-agroalimentario-abierto-y-sustentable-en-ecuador/>

del Cisne, D. (2008). *Optimización del proceso de elaboración de pulpa de babaco (Carica pentagona), con incorporación de su corteza y maximizando la retención de ácido ascórbico*. [UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA].

[https://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/1712/3/Núñez Abarca Dayana del Cisne.pdf](https://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/1712/3/Núñez%20Abarca%20Dayana%20del%20Cisne.pdf)

Domínguez, C. (2011). *CONTENIDO DE COMPUESTOS BIOACTIVOS Y SU CONTRIBUCIÓN A LA*

*CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DURANTE LA MADURACIÓN DE PIÑA CV. "ESMERALDA"*

[Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C.].

<https://ciad.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1006/179/1/Rosas>

Dominguez\_2011\_MC.pdf

Dorca, C., & Jadán, M. (2019). Propagation methods in Babaco plants ( *Vasconcella x helbornii* ). *TROPICAL PLANT RESEARCH*, April. <https://doi.org/10.22271/tpr.2019.v6.i1.007>

Duchitanga, P. (2018). *Análisis de la capacidad antioxidante de frutas y verduras sometidos a congelación y liofilización*. 1(1), 1–23. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/8405>

Echavarría, A., Armas, H., Matute, N., Jaramillo, C., Rojas de Astudilla, L., & Benítez, R. (2016). Evaluación de la capacidad antioxidante y metabolitos secundarios de extractos de dieciséis plantas medicinales. *Ciencia UNEMI*, 9, 29–35.

Erazo, B., & Delgado, C. (n.d.). *El Cultivo de babaco en Colombia*.

[https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/30475/28035\\_18044.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/30475/28035_18044.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Espada, L., Ferrer, A., Padro, L., Arias, L., & León, L. (2020). Dendropanax arboreous : phytochemical study of trunk sap. *Revista Cubana de Química*, 32(1).

<http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2224->

[54212020000100074&script=sci\\_arttext&tlng=pt](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2224-54212020000100074&script=sci_arttext&tlng=pt)

FAO. (1987). *Manual para el mejoramiento del manejo poscosecha de frutas y hortalizas*.

OFICINA REGIONAL DE LA FAO PARA AMERICA LATINA Y EL CARIBE.

<https://www.fao.org/3/x5055s/x5055S00.htm#Contents>

Fernández-Pachón, M. S., Villaño, D., Troncoso, A. M., & García-Parrilla, M. C. (2006). Revisión de los métodos de evaluación de la actividad antioxidante in vitro del vino y valoración de sus efectos in vivo. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, 56(2).



- Fernández Valdés, D., Bautista Baños, S., Fernández Valdés, D., Ocampo Ramírez, A., García Pereira, A., & Falcón Rodríguez, A. (2015). Películas y recubrimientos comestibles : una alternativa favorable en la conservación poscosecha de frutas y hortalizas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(3), 52–57.  
<http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v24n3/rcta08315.pdf>
- Fuertes, C. (2019). *Diversidad, distribución y uso del género Vasconcellea (Caricaceae) en el sur de los Andes Colombianos* [Universidad del Cauca].  
[http://repositorio.unicauca.edu.co:8080/bitstream/handle/123456789/1622/DIVERSIDAD%20DISTRIBUCIÓN Y USO DEL GÉNERO VASCONCELLEA %28CARICACEAE%29 EN EL SUR DE LOS ANDES COLOMBIANOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unicauca.edu.co:8080/bitstream/handle/123456789/1622/DIVERSIDAD%20DISTRIBUCIÓN%20Y%20USO%20DEL%20GÉNERO%20VASCONCELLEA%20CARICACEAE%29%20EN%20EL%20SUR%20DE%20LOS%20ANDES%20COLOMBIANOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Hernandez, J., Zaragoza, A., López, G., & Peláez, A. (2018). Antibacterial and antihelminthic activity of plant secondary metabolites: approach in Veterinary Medicine. *Sergio Martínez González*, 8(1), 14–27.
- Hinostroza, F. (2012). *Tajaditas de Babaco en Almíbar al mercado Español dirigido a nuestros emigrantes Ecuatorianos* [Universidad Internacional del Ecuador].  
<https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/1601/1/T-UIDE-118.pdf>
- Huet, C. (2017). Métodos analíticos para la determinación de antioxidantes en muestras biológicas. *Universidad Complutense de Madrid*, 1–20.
- Infoagronomo. (2019). *Índices de madurez óptimos de los frutos*. Agricultura.  
<https://infoagronomo.net/indices-de-madurez-optimos-de-los-frutos/>
- INIAP. (1992). El cultivo del babaco en el Ecuador. In *Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias* (Vol. 1, Issue 19).  
<https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/2450/1/iniapscm19c.pdf>
- Kempler, C., & Kabaluk, T. (1996). Caracterización fisicoquímica, actividad antioxidante y

contenido de polifenoles totales en pulpa de lechosa (*Carica papaya*). *HortScience*, 31(5), 785–788. <https://doi.org/10.21273/hortsci.31.5.785>

Kim, M., Son, K., & Jeong, Y. (2016). Antioxidant Activity of Marine Algal Polyphenolic Compounds : A Mechanistic Approach. *Researchgate*, June. <https://doi.org/10.1089/jmf.2016.3706>

Kuskoski, M., Asuero, A., & Troncoso, A. (2009). APLICACIÓN DE DIVERSOS MÉTODOS QUÍMICOS PARA DETERMINAR ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE EN PULPA DE FRUTOS. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, 23(3), 181–183. <https://doi.org/10.1007/s10877-009-9165-0>

Lino, K., Rodríguez, J., Solano, M., Silva, C., Sedano, N., & Vásquez, W. (2015). Evaluation of Phenolic Compounds and Antioxidant Capacity of Three Color Petal Cress. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 81(4), 319–327. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2015000400004&lng=es&nrm=iso&tlng=](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2015000400004&lng=es&nrm=iso&tlng=)

Llecha, J. (2010). *Capítulo 2: Técnicas de control de calidad en fruta* (pp. 13–34). <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6877/CAPITOL2.pdf>

Maldonado, C. (2011). *Estudio investigativo del babaco y propuesta gastronómica*. Universidad Tecnológica Equinoccial.

Marli, M., Karasawa, G., & Mohan, C. (2018). Fruits as Prospective Reserves of bioactive Compounds : A Review. *Natural Products and Bioprospecting*, 8(5), 335–346. <https://doi.org/10.1007/s13659-018-0186-6>

Martínez, M., Balois, R., Alia, I., Cortes, M., Palomino, Y., & López, G. (2017). Poscosecha de frutos: maduración y cambios bioquímicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(12), 2–11.

Mejía, B. (2022). *CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA PULPA DE BABACO ( Vasconcellea × heilbornii ) EN DOS ESTADOS DE MADUREZ PROCEDENTE DE TRES LUGARES DE LA REGIÓN AMAZONAS* [UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS].

[https://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14077/2875/Mejia Araujo Bety Fany.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14077/2875/Mejia%20Araujo%20Bety%20Fany.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Mendoza, M. (2014). *Estructura Sectorial para Exportación de Babaco en Almíbar al Mercado Canadiense* [Universidad de Santiago de Guayaquil].

<http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/2196/1/T-UCSG-PRE-ESP-CFI-38.pdf>

Mesias, R. (2012). *PROYECTO DE FACTIBILIDAD PARA LA PRODUCCIÓN DE BABACO (Carica pentagona) BAJO INVERNADERO Y SU COMERCIALIZACIÓN EN LA CIUDAD DE QUITO* [Universidad Nacional de Loja].

[http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/5500/1/Ramiro Mesias Jorge.pdf](http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/5500/1/Ramiro%20Mesias%20Jorge.pdf)

Milazzo, N., Lorenzo, S., Paternostro, M., Palma, G. M., Oliveira, S. M., De Paula, A. L., Drumond, R. C., Brandão, F. G. S. L., Piani, M., Horodecki, P., Zurek, W. H., McCutcheon, D. P. S., Dattani, N. S., Gauger, E. M., Lovett, B. W., Nazir, A., Rossi, M. A. C., Albarelli, F., Tamascelli, D., ... Jil, J. (2008). Análisis de competitividad de los productores de babaco de San Pablo de Tenta (Saraguro, Loja) con enfoque de agrocadena. *Physical Review A*, *100*(1), 1612–1616.

<http://library1.nida.ac.th/termpaper6/sd/2554/19755.pdf%0Ahttp://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Six+easy+pieces:+essentials+of+physics,+explained+by+its+most+brilliant+teacher#0%0Ahttp://arxiv.org/abs/1604.07450%0Ahttp://www.theory>

Mosquera-Yuqui, F., Flores, F. J., Moncayo, E. A., Garzón-Proañó, B. A., Méndez, M. A., Guevara, F. E., Quito-Avila, D. F., Viera, W., Cornejo-Franco, J. F., Izquierdo, A. R., &

- Noceda, C. (2022). Phylodynamics and Coat Protein Analysis of Babaco Mosaic Virus in Ecuador. *Plants*, *11*(13). <https://doi.org/10.3390/plants11131646>
- Munekata, P. E. S., Pateiro, M., Nieto, G., Kumar, M., Dhama, K., & Lorenzo, J. M. (2023). Bioactive Compounds from Fruits as Preservatives. *Foods*, 1–22. <https://www.mdpi.com/2304-8158/12/2/343>
- Muñoz, V., Curillo, D., Moreno-peña, L., Peña, D., Chica, E., Viviana, Y., Eduardo, S., & Quito-avila, D. F. (2010). Effects of Different Maturity Stages on Antioxidant Content of Ivorian Gnagnan (*Solanum indicum* L.) Berries. *Molecules*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6259281/pdf/molecules-15-07125.pdf>
- Murcia, M. A., Jiménez, A. M., & Martínez-Tomé, M. (2001). Evaluation of the antioxidant properties of Mediterranean and tropical fruits compared with common food additives. *Journal of Food Protection*, *64*(12), 2037–2046. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-64.12.2037>
- Nemzer, B. V., Kalita, D., Yashin, A. Y., & Yashin, Y. I. (2020). *Bioactive Compounds , Antioxidant Activities , and Health Beneficial Effects of Selected Commercial Berry Fruits : A Review*. *9*(5), 78–101. <https://doi.org/10.5539/jfr.v9n5p78>
- Newman, D. J., & Cragg, G. M. (2012). Natural products as sources of new drugs over the 30 years from 1981 to 2010. *Journal of Natural Products*, *75*(3), 311–335. <https://doi.org/10.1021/np200906s>
- Ong, M. K., Forney, C. F., Alderson, P. G., & Ali, A. (2013). Postharvest profile of a Solo variety “Frangi” during ripening at ambient temperature. *Scientia Horticulturae*, *160*, 12–19. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.05.026>
- Oniszczyk, A., Widelska, G., Agnieszka, W., Oniszczyk, T., Wojtunik-kulesza, K., Dib, A., & Matwijczuk, A. (2019). Content of Phenolic Compounds and Antioxidant Activity of New

Gluten-Free Pasta with the Addition of Chestnut Flour. *Molecules*.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6680859/pdf/molecules-24-02623.pdf>

Oszmiański, J., Lachowicz, S., Gorzelany, J., & Matłok, N. (2018). *The effect of different maturity stages on phytochemical composition and antioxidant capacity of cranberry cultivars.*

705–719. <https://doi.org/10.1007/s00217-017-2994-z>

Palomino G, L. R., García P, C. M., Gil G, J. H., Rojano, B. A., & Durango R, D. L. (2009).

Determination of phenolic content and evaluation of antioxidant activity of propolis from Antioquia (Colombia). *Vitae*, 16(3), 388–395.

Peña, D., Villena, P., Aguirre, A.-J., & Jiménez, C. (2017). Diversidad genética de accesiones de la familia Caricaceae en el sur de Ecuador. *Maskana*, 8(1), 85–102.

<https://doi.org/10.18537/mskn.08.01.08>

Quinza, E., & López, M. (2002). INDICES DE MADUREZ DE FRUTOS CÍTRICOS. In *Hojas*

*Divulgadoras* (Ministerio). Servicio de Extensión Agraria.

[https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd\\_1978\\_25.pdf](https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1978_25.pdf)

Rahman, M. M., Islam, M. B., Biswas, M., & Khurshid Alam, A. H. M. (2015). In vitro antioxidant and free radical scavenging activity of different parts of *Tabebuia pallida* growing in

Bangladesh. *BMC Research Notes*, 8(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/s13104-015-1618-6>

Rajurkar, N., & Hande, S. (2011). Estimation of Phytochemical Content and Antioxidant Activity of Some Selected Traditional Indian Medicinal Plants. *Indian Journal of Pharmaceutical*

*Sciences*, 73(2), 146–151.

Rivera, M., Castillo, K., Figueroa, M., Rojas, J., Esparza, L., & Ordonez, I. (2016).

*DETERMINACIÓN DE LOS COMPUESTOS FENÓLICOS TOTALES Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE EN RESIDUOS DE FRUTO DE PAPAYA (Carica papaya)*. 23, 70–74.

- Robles, A., Herrera, L., & Torres, R. (2016). El babaco (*Vasconcellea heilbornii* var. *pentagona* Badillo). Principales agentes fitopatógenos y estrategias de control. *Scielo*, 43(2), 83–92.  
<http://scielo.sld.cu/pdf/cag/v43n2/cag11216.pdf>
- Rodriguez, E. (2018). *Babaco (Carica x heilbornii var. pentagona)*.  
<http://consultafrutas.blogspot.com/2012/01/babaco-carica-x-heilbornii-var.html>
- Rodríguez, R., Alexandra, D., Gutiérrez, P., Pilar, M., Lasprilla, M., Vanegas, G., Antonio, J., El, S., En, C., La, P. D. E., & Amarilla, P. (2005). EFECTO DE DOS ÍNDICES DE MADUREZ Y DOS TEMPERATURAS DE ALMACENAMIENTO SOBRE EL COMPORTAMIENTO EN POSCOSECHA DE LA PITAHAYA AMARILLA (*Selenicereus megalanthus* Haw.). *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín*, 58(2), 2837–2857.  
<https://www.redalyc.org/pdf/1799/179914237004.pdf>
- Scheldeman, X., Willemen, L., Coppens d'Eeckenbrugge, G., Romeijn-Peeters, E., Restrepo, M., Romero Motoche, J., Jiménez, D., Lobo, M., Medina, C., Reyes, C., Rodríguez, D., Ocampo, J., Van Damme, P., & Goetgebeur, P. (2007). Distribution , diversity and environmental adaptation of highland papayas ( *Vasconcellea* spp .) in tropical and subtropical America. *Springer Science+Business*, 1867–1884. <https://doi.org/10.1007/s10531-006-9086-x>
- Simbaña, P. (2018). Evaluación de la aplicación de dos aceites esenciales en Babaco (*Vasconcellea heilbornii* Heiborn.) para conservación a dos temperaturas de almacenamiento [Universidad Central del Ecuador]. In *Universidad Central Del Ecuador* (Issue 1). <http://www.dspace.uce.edu.ec:8080/bitstream/25000/15729/1/T-UCE-0001-CAG-012.pdf>
- Stachnik, M. (2021). Bioactive compounds in foods. *Researchgate*, June 2017.  
[https://www.researchgate.net/publication/317357570\\_Bioactive\\_compounds\\_in\\_foods/link/60ba7635299bf10dff97014a/download](https://www.researchgate.net/publication/317357570_Bioactive_compounds_in_foods/link/60ba7635299bf10dff97014a/download)

- Suarez, A. (2015). Adaptabilidad del cultivo de Babaco (*Carica pentagona*), con dos fertilizantes químicos en diferentes dosis en la finca San Vicente de Chaca del cantón, Pangua Cotopaxi, año 2013. [Universidad Técnica de Cotopaxi]. In *Diseño de un manual de técnicas de motivación para fortalecer el autoestima y mejorar el aprendizaje en los niños/as de 5 a 6 años*. repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/319/1/T-UTC-0309.pdf
- Sultana, B., Anwar, F., & Ashraf, M. (2009). Effect of Extraction Solvent/Technique on the Antioxidant Activity of Selected Medicinal Plant Extracts. *Molecules*, 2167–2180. <https://doi.org/10.3390/molecules14062167>
- Tecnología de la Maduración. (2019). *Maduración de Frutos* (pp. 1–23). [http://listas.exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/MADURACIÓN de los FRUTOS.pdf](http://listas.exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/MADURACIÓN%20de%20los%20FRUTOS.pdf)
- Vamanu, E. (2022). *Bioactive Compounds from Natural Products*. University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine. <https://www.mdpi.com/books/book/5545-bioactive-compounds-from-natural-products-separation-characterization-and-applications>
- Vázquez-Ovando, A., Mejía-Reyes, J. D., García-Cabrera, K. E., & Velázquez-Ovalle, G. (2022). Capacidad antioxidante: conceptos, métodos de cuantificación y su aplicación en la caracterización de frutos tropicales y productos derivados. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 9(1), 9–33. <https://doi.org/10.23850/24220582.4023>
- Vega-Gálvez, A., Poblete, J., Rojas-Carmona, R., Uribe, E., Pastén, A., & Goñi, M. (2021). Vacuum drying of Chilean papaya (*Vasconcellea pubescens*) fruit pulp: effect of drying temperature on kinetics and quality parameters. *Journal of Food Science and Technology*, 58(September), 3482–3492. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05005-8>
- Vega, A., De León, J. A., & Reyes, S. M. (2017). Determinación del Contenido de Polifenoles Totales, Flavonoides y Actividad Antioxidante de 34 Cafés Comerciales de Panamá.

*Informacion Tecnologica*, 28(4), 29–38. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000400005>

Walia, A., Gupta, A. K., & Sharma, V. (2019). Role of Bioactive Compounds in Human Health. *ACTA SCIENTIFIC MEDICAL SCIENCES*, 3(9), 25–33.  
<https://www.actascientific.com/ASMS/pdf/ASMS-03-0374.pdf>

Zunjar, V., Mammen, D., & Trivedi, B. M. (2015). Antioxidant activities and phenolics profiling of different parts of *Carica papaya* by LCMS-MS. *CrosMark*, 37–41.  
<https://doi.org/10.1080/14786419.2014.986658>



## Apéndices