

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI**

**POSGRADO**



**MAESTRÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

“Determinación de los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante del açai (*Euterpe oleracea*) proveniente de la provincia de Sucumbíos de Ecuador”

Trabajo de titulación previa la obtención del Título de  
Magister en Ciencia y tecnología de Alimentos

Autora: Fernanda Lizbeth Guanochanga Llumiugsi

Tutora: Msc. Liliana Chamorro

Tulcán, 2025

## CERTIFICADO DEL TUTOR

Certifico que la maestrante Fernanda Lizbeth Guanochanga Llumiugsi con el número de cédula 1722619770 ha elaborado el Trabajo de Titulación: “Determinación de los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante del açaí (*Euterpe oleracea*) proveniente de la provincia de Sucumbíos de Ecuador”. Este trabajo se sujeta a las normas y metodología dispuestas en el Reglamento de Régimen Académico y de Estudiantes de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi con RESOLUCIÓN No. 183-CSUP-2024, por lo tanto, autorizo su presentación para la sustentación respectiva.



Firmado electrónicamente por:  
**LILIANA MARGOTH  
CHAMORRO HERNANDEZ**

f.....

### TUTORA

Liliana Chamorro, MSc.

Tulcán, marzo del 2025

## **AUTORÍA DE TRABAJO**

El presente trabajo de titulación constituye un requisito previo para la obtención del título de Magister en Ciencia y Tecnología en Alimentos

Yo, Fernanda Lizbeth Guanochanga Llumiugsi, ciudadana ecuatoriana con cédula de identidad número 1722619770 declaro: que la investigación es absolutamente original, autentica, y los resultados y conclusiones a los que he llegado son de mi absoluta responsabilidad.

f.....

Fernanda Lizbeth Guanochanga Llumiugsi

**AUTORA**

Tulcán, marzo del 2025

## ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Fernanda Lizbeth Guanochanga Llumiugsi declaro ser autora de los criterios emitidos en el trabajo de titulación: “Determinación de los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante del açáí (*Euterpe oleracea*) proveniente de la provincia de Sucumbíos de Ecuador” y eximo expresamente a la Universidad Politécnica Estatal del Carchi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.



Firmado electrónicamente por:  
**FERNANDA LIZBETH  
GUANOCHANGA LLUMIUGSI**

f.....

### **AUTORA**

Fernanda Lizbeth Guanochanga Llumiugsi

Tulcán, marzo del 2025

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios y mis padres por su apoyo en cada momento.

## ÍNDICE

RESUMEN .....	x
ABSTRACT .....	xi
CAPÍTULO I.....	1
PROBLEMA .....	1
1.1.    Planteamiento del problema .....	1
1.2.    Preguntas de investigación.....	2
1.3.    Objetivos de investigación.....	2
1.3.1.    Objetivo general .....	2
1.3.2.    Objetivos específicos.....	2
1.4.    Justificación .....	2
CAPÍTULO II.....	5
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....	5
2.1        Antecedentes de la investigación.....	5
2.2. Marco Teórico.....	8
2.2.1. Descripción de la planta de acaí .....	8
2.2.2. Fenología y estados de madurez.....	9
2.2.3. Características físicas del fruto .....	10
2.2.4. Aspectos composicionales .....	11
2.2.5. Compuestos bioactivos del açai y métodos de cuantificación.....	12
2.2.6. Polifenoles en el açai y método de cuantificación .....	13
2.2.7. Antocianinas en el açai y método de cuantificación .....	13
2.2.8. Flavonoides en el açai y método de cuantificación.....	15
2.1.1        Capacidad antioxidante y métodos de determinación.....	15
2.1.2        Color y espacio de color CIELAB.....	18
2.3. Marco legal .....	20
CAPÍTULO III.....	21
METODOLOGÍA.....	21
3.1. Descripción del área de estudio .....	21
3.2. Enfoque y tipo de investigación .....	22
3.2.1. Enfoque .....	22

3.2.2. Tipo de Investigación .....	22
3.3. Definición y operacionalización de variables.....	22
3.3.1. Definición de variables .....	22
3.3.2. Operacionalización de variables .....	23
3.4. Diseño experimental.....	24
3.5. Métodos .....	25
3.5.1. Análisis fisicoquímico .....	26
3.5.2. Determinación de compuestos bioactivos.....	27
3.5.3. Determinación de la capacidad antioxidante .....	28
CAPÍTULO IV .....	30
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	30
4.1.    Parámetros fisicoquímicos.....	30
4.2.    Compuestos bioactivos y capacidad antioxidante.....	36
4.2.1. Cuantificación del contenido de polifenoles en el açai .....	37
4.2.2. Cuantificación del contenido de flavonoides en el açai .....	39
4.2.3. Cuantificación del contenido de antocianinas en el açai.....	41
4.2.4. Evaluación de la actividad antioxidante mediante el método FRAPP .....	47
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	51
CONCLUSIONES .....	51
RECOMENDACIONES .....	53
REFERENCIAS .....	54
ANEXOS.....	58
Anexo 1.....	58
Anexo 2.....	59
Anexo 3.....	60
Anexo 4.....	61

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Análisis nutricional del açáí.....	13
<b>Tabla 2.</b> Métodos para la determinación de la capacidad antioxidante .....	17
<b>Tabla 3.</b> Operacionalización de variables .....	23
<b>Tabla 4.</b> Diseño experimental .....	25
<b>Tabla 5.</b> Diseño de bloques completamente al azar DBCA en arreglo factorial 2x3 .....	25
<b>Tabla 6.</b> Factores y niveles a medir.....	25
<b>Tabla 7.</b> Características morfológicas de frutos de açáí en tres estados de madurez. n= 180 .....	31
<b>Tabla 8.</b> Análisis fisicoquímico de açáí en tres estados de madurez.....	31
<b>Tabla 9.</b> Clasificación visual del açáí en tres estados de madurez .....	33
<b>Tabla 10.</b> Valores medios y desviación estándar de L* a* b* de las tres clases de madurez de açáí. .....	34
<b>Tabla 11.</b> Valores medios del contenido de polifenoles (TPC), flavonoides (TFC) y antocianinas (TAC) .....	36
<b>Tabla 12.</b> Resultado del análisis de significancia por Tukey a partir del contenido de polifenoles (mg GAE/g) de açáí.....	36
<b>Tabla 13.</b> Resultado del análisis de significancia por Tukey a partir del contenido de flavonoides (mg CAT/g) de açáí .....	39
<b>Tabla 14.</b> Resultado del análisis de significancia por Tukey a partir del contenido de antocianinas mg/100gde açáí .....	41
<b>Tabla 15.</b> Valores medios de la capacidad antioxidante evaluada por los métodos ABTS y FRAP .....	44
<b>Tabla 16.</b> Resultado del análisis de significancia por Tukey a partir de la capacidad antioxidante ABTS ( $\mu\text{mol TE/g}$ ) de açáí.....	44
<b>Tabla 17.</b> Resultado del análisis de significancia por Tukey a partir de la capacidad antioxidante FRAP ( $\mu\text{mol TE/g}$ ) de açáí.....	46

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Palmera con racismos de açai, 2023 .....	10
<b>Figura 2.</b> Fruto de açai en estado verde, 2023. ....	11
<b>Figura 3.</b> Coordenadas de color L*a*b de la piel de açai, 2024 .....	20
<b>Figura 4.</b> Ubicación geográfica de la UPEC .....	21
<b>Figura 5.</b> Coordenadas L*, a* y b* con respecto a tres estados de madurez del açai	34
<b>Figura 6.</b> Efecto del estado de madurez y parte del fruto sobre el contenido de polifenoles (TPC) .....	38
<b>Figura 7.</b> Efecto del estado de madurez y parte del fruto sobre el contenido de flavonoides (TPC) .....	39
<b>Figura 8.</b> Efecto del estado de madurez y parte del fruto sobre el contenido de antocianinas (TAC).....	42
<b>Figura 9.</b> Efecto del estado de madurez y parte del fruto sobre la capacidad antioxidante por el método ABTS.....	45
<b>Figura 10.</b> Curva de absorbancia empleada para la cuantificación de la capacidad antioxidante por el método ABTS .....	45
<b>Figura 11.</b> Efecto del estado de madurez y parte del fruto sobre la capacidad antioxidante por el método FRAP .....	47
<b>Figura 12.</b> Curva de absorbancia empleada para la cuantificación de la capacidad antioxidante por el método FRAP .....	47
<b>Figura 13.</b> Análisis de varianza contenido de polifenoles .....	56
<b>Figura 14.</b> Análisis estadístico Tukey al 5% del contenido de polifenoles.....	56
<b>Figura 15.</b> Análisis de varianza DBCA del contenido de flavonoides.....	57
<b>Figura 16.</b> Análisis estadístico Tukey al 5% del contenido de flavonoides.....	58
<b>Figura 17.</b> Análisis de varianza DBCA del contenido de antocianinas .....	58
<b>Figura 18.</b> Análisis estadístico Tukey al 5% del contenido de antocianinas. ....	58
<b>Figura 19.</b> Análisis de varianza DBCA de la capacidad antioxidante .....	59
<b>Figura 21.</b> Análisis estadístico Tukey al 5% de la capacidad antioxidante.....	60

## RESUMEN

El Euterpe oleracea es una baya carnosa de 1,5 a 2 cm de color púrpura, reconocida por su alto contenido antioxidante. En Ecuador, la palma crece asociada a otras plantas o como cerca viva, debido al desconocimiento de sus propiedades nutricionales. El 83% del fruto está compuesto por la semilla, mientras que la pulpa y la piel presentan un perfil fitoquímico. Este estudio tuvo como objetivo determinar las características morfológicas, el índice de madurez y los compuestos bioactivos, como antocianinas, polifenoles, flavonoides y la actividad antioxidante mediante los métodos ABTS y FRAP en la piel y pulpa de frutos de en tres estados de madurez (verde, semimaduro y maduro) en la provincia de Sucumbíos. Se evaluaron 180 frutos recolectados y clasificados visualmente, corroborando su estado mediante el espacio de color CIELAB. Los resultados mostraron que los valores de luminosidad y la coordenada  $a^*$  aumentaron con el grado de madurez, mientras que la coordenada  $b^*$  presentó valores negativos debido al cambio de color hacia tonalidades azules. El perfil fitoquímico reveló que el contenido de polifenoles y flavonoides disminuyó con la madurez, mientras que el contenido de antocianinas aumentó. La capacidad antioxidante también se vio influenciada por el estado de madurez de los frutos, lo que indica que a medida que estos alcanzan diferentes etapas de desarrollo, su potencial para neutralizar los radicales libres y proteger las células del daño oxidativo varía. El Euterpe oleracea presenta un alto potencial nutraceutico, especialmente en su estado tierno, lo que sugiere que tanto la pulpa como la piel del fruto pueden ser aprovechadas en la industria alimentaria y cosmética, promoviendo un uso sostenible de esta especie en Ecuador.

**Palabras clave:** Açaí, madurez, color, compuestos bioactivos

## ABSTRACT

Euterpe oleracea is a 1.5 to 2 cm fleshy purple berry known for its high antioxidant content. In Ecuador, the palm grows associated with other plants or as a living fence due to the lack of knowledge of its nutritional properties. 83% of the fruit is composed of the seed, while the pulp and skin have a phytochemical profile. This study aimed to determine the morphological characteristics, maturity index, and bioactive compounds, such as anthocyanins, polyphenols, flavonoids, and antioxidant activity using ABTS and FRAP methods in the skin and pulp of fruits at three stages of maturity (green, semi-ripe, and ripe) in the province of Sucumbíos. 180 fruits were collected and visually classified, corroborating their condition using the CIELAB color space. The results showed that the luminosity values and the a\* coordinate increased with the degree of maturity. In contrast, the b\* coordinate presented negative values due to the color change towards blue tones. The phytochemical profile revealed that the content of polyphenols and flavonoids decreased with maturity, while the content of anthocyanins increased. Antioxidant capacity was also influenced by the state of maturity of the fruits, indicating that as they reach different stages of development, their potential to neutralize free radicals and protect cells from oxidative damage varies. Euterpe oleracea has a high nutraceutical potential, especially in its tender state, which suggests that both the pulp and skin of the fruit can be used in the food and cosmetic industries, promoting sustainable use of this species in Ecuador.

**Keywords:** Açaí, maturity, color, bioactive compounds.

## **CAPÍTULO I.**

### **PROBLEMA**

#### **1.1. Planteamiento del problema**

A pesar de la importancia económica que se le da al fruto de açáí en países como Brasil y Colombia, y a su notable distribución, se ha evidenciado la ausencia de información referente al cultivo y comportamiento de las poblaciones, provocando un manejo inadecuado del cultivo a través de modelos asociados para la combinación con otros frutos, formación de cercas vivas o para únicamente generar sombra; dando así baja importancia al aprovechamiento del cultivo y a su valor nutricional y económico (Aranguren *et al.*, 2014).

En Ecuador no se encuentran plantaciones de la palma de açáí; las palmas actuales crecen de forma silvestre en áreas pantanosas de la amazonia ecuatoriana, como en las provincias de Sucumbíos y Napo. El aprovechamiento es artesanal para la elaboración de productos como helados y bolos, los frutos de esta especie se obtienen de las palmas mediante la tumba la palma, razón por la cual la densidad de individuos de la especie es considerablemente baja, y tiene implicaciones directas sobre la productividad de los nuevos individuos (Cajas, 2020).

A nivel nacional se desconoce del fruto, y no existe información científica sobre las propiedades, usos y beneficios, así como tampoco una guía para conocer el desarrollo fisiológico de poscosecha que permita conocer el óptimo estado de madurez para su aprovechamiento e industrialización (Vallejo, 2013). Razón por la cual se ha limitado su cultivo y consumo, cuyos cultivares han sido deforestados, provocando la extinción de las palmas de açáí que forman parte del inventario de la biodiversidad de la amazonia ecuatoriana (Pintaud *et al.*, 2008). Tomando en cuenta el alto valor nutricional de los frutos de açáí y el creciente interés en el mercado nacional e internacional es importante generar bases de información que contribuyan al aprovechamiento sostenible de la especie en Ecuador.

## **1.2. Preguntas de investigación**

1. ¿Qué estado de madurez del açáí es óptimo para su aprovechamiento?
2. ¿Qué compuestos fenólicos como polifenoles, flavonoides y antocianinas tiene la pulpa y piel del açáí?
3. ¿Qué parte del fruto del açáí tiene mayor capacidad antioxidante?

## **1.3. Objetivos de investigación**

### **1.3.1. Objetivo general**

Evaluar el contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante del açáí (*Euterpe oleracea*) proveniente de la provincia de Sucumbíos de Ecuador.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Clasificar los estados de maduración del açáí mediante coordenadas colorimétricas de los espacios de color CIE-L\*a\*b\*.
- Determinar la concentración de polifenoles, flavonoides y antocianinas de la piel y pulpa del açáí.
- Identificar la capacidad antioxidante de la piel y pulpa del açáí mediante los métodos ABTS y FRAPP.

## **1.4. Justificación**

En la ciudad brasilera de Macapá el aprovechamiento de la fruta de açáí inició en el año 1998 donde se producían de 27000 a 34000 litros de zumo de la fruta por día representando un total de 15 millones por año (Cymerys *et al.*, s.f.). Actualmente la mayor producción de açáí se centra en Brasil específicamente en el estado de Pará con alrededor del 75 al 90% de producción. Anualmente Brasil alcanza producciones que superan las 706,488 toneladas, que representan el 86,9% de la producción total de açáí y generan alrededor de 9 mil millones de dólares de ingresos basados en el fruto (Cymerys *et al.*, s.f.).

Inicialmente la palmera de açáí era considerada únicamente una fuente de obtención de

palmito. Sin embargo, su introducción a otras regiones ajenas a su origen se da con el fin de cubrir la demanda del fruto y satisfacer las tasas de consumo de este fruto debido a la propagación de sus propiedades nutricionales. Razón por la cual en los últimos años el fruto de la palma de açai se ha convertido en una fuente económica para los agricultores, debido a la demanda por la divulgación de sus propiedades (Lorini, 2017).

El fruto de la palma de açai es una baya carnosa de 0,5 cm de color púrpura, considerado un alimento importante en la dieta amazónica por su contenido nutricional, ya que posee un alto contenido de fibra dietética, antioxidantes, aminoácidos y ácidos grasos esenciales los cuales forman parte de la mitad del perfil químico por lo que también se le considera como un alimento con aporte energético (Oliveira *et al.*, 2020). Según investigaciones previas, muestran al açai como un fruto con alto contenido de antioxidantes, por lo que se le considera como una super fruta (Espinoza y Olivo, 2019).

Varios investigadores han descubierto que el açai posee un alto contenido de compuestos fenólicos tales como antocianinas, quercetina, vitexina, luteolina, crisoeriol, orientina, vitaminas, entre otros (Ramírez Godínez *et al.*, 2023). La gran cantidad de moléculas antioxidantes que posee evitan que el fruto sufra daños por factores ambientales, cumpliendo la misma función dentro del cuerpo humano e interfiriendo en los procesos de oxidación para que los radicales libres no puedan causar daños a las células (Oliveira *et al.*, 2020). Adicional a esto se han reportado algunas otras características que posee el açai como propiedades antiinflamatorias, antiproliferativas y antioxidantes (Matta *et al.*, 2020), por lo que se le considera una fruta de alto valor biológico, y una fuente idónea de flavonoides y polifenoles los cuales han demostrado ser capaces de mejorar el estado de salud y destruir células cancerosas, efecto atribuido especialmente a los polifenoles que son capaces de disminuir del 56 al 86% de la proliferación de leucemias (Yamaguchi *et al.*, 2015).

La determinación del contenido de compuestos bioactivos de cultivos silvestres del açai de la región amazónica ecuatoriana permitirá establecer bases de información para aprovechar el potencial del fruto que crece localmente, evitar la pérdida de biodiversidad

y posteriormente realizar su industrialización, para ser aprovechado como un recurso fitogenético importante dentro de la alimentación humana, ya que dicha población se encuentra seriamente amenazada principalmente por desconocimiento, el cual puede verse reflejado en la deforestación (Ramírez Godínez *et al.*, 2023).

## CAPÍTULO II.

### FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

#### 2.1 Antecedentes de la investigación

Las muestras de açáí (*Euterpe Oleracea*) liofilizado de una procesadora de frutas fueron utilizados en la determinación de la variación del contenido de compuestos bioactivos ácido ascórbico, antocianinas totales, flavonoides, polifenoles y actividad antioxidante durante el almacenamiento. El estudio llevado a cabo por Boreira *et al.* (2020), mencionan que el contenido de compuestos bioactivos se ve influenciado por el tiempo de almacenamiento y método de conservación. El contenido de ácido ascórbico tuvo una tendencia ascendente, esto debido a la acción del embalaje que contribuyó a mantener la estabilidad del ácido ascórbico y evitar la acción de la luz, así como también debido al bajo contenido de agua debido al tratamiento de liofilización. En lo que respecta al contenido de polifenoles totales, flavonoides y antocianinas de açáí en polvo, aumentaron durante el almacenamiento, cuya tendencia ascendente se atribuye al efecto relacionado con una mayor producción de azúcares reductores durante el almacenamiento, así como a un incremento de la concentración de compuestos polifenólicos libres. En cuanto a los resultados de actividad antioxidante por el método ABTS se observó una disminución debido a que al inicio se pudieron solubilizar otros compuestos no polifenólicos, influyendo así en la disminución de la actividad antioxidante.

Romao *et al.* (2020) evidenciaron el efecto antioxidante y antiinflamatorio que posee el açáí (*Euterpe Oleracea*), al administrar extractos de pulpa de açáí a ratones en diferentes concentraciones comparadas con un control, donde se determinó que la dieta basada en açáí redujo la actividad catalasa CAT, moduló la actividad de las enzimas antioxidantes a nivel celular y redujo los biomarcadores responsables del estrés oxidativo debido al contenido de polifenoles flavonoides y antocianinas, por lo que resulta importante mantener el balance oxidante-antioxidante para mantener el control de los procesos biológicos que pueden ser potenciados con la actividad física.

El contenido de polifenoles y actividad antioxidante de la pulpa liofilizada de açai (*Euterpe Oleracea*) colombiano fue comparada con reportes de açai brasilero y venezolano por Rojano *et al.* (2011) mediante diferentes métodos, los investigadores reportaron valores de 3172,3 mg de ácido gálico/100 g de açai liofilizado, 268+/- 11,5 mg de Cianidin 3-glucósido/100 g de antocianinas totales, valores superiores a los reportados por investigadores en açai proveniente de Venezuela. En cuanto a la capacidad antioxidante evaluada por el método Orac, obtuvieron valores de 98412,0 y 3194,1  $\mu\text{mol Tx}/100\text{ g}$  de liofilizado, valores similares a los reportados por investigadores en açai brasilero, mientras que para la capacidad antioxidante evaluada por los métodos DPPH y ABTS se obtuvieron valores similares. Estos resultados demuestran que los valores de polifenoles y capacidad antioxidante que posee el açai colombiano son superiores a los reportados por investigadores de Brasil y Venezuela, debido a que el contenido de compuestos bioactivos se ve influenciado por la temporada, factores climáticos y condiciones geográficas.

Garzón *et al.* (2017), observaron que el contenido fenólico total, antocianinas y actividad antioxidante del açai (*Euterpe Oleracea*) varía de acuerdo con las condiciones de cultivo para lo cual se utilizaron tres lotes de pulpa de açai de diferentes zonas de producción de Colombia que fueron liofilizados. En cuanto al contenido de antocianinas, se obtuvieron valores menores a los reportados en pulpa de açai de Brasil, mientras que para el contenido de polifenoles los valores fueron superiores a los reportados en açai brasilero. La actividad antioxidante eliminadora de radicales evaluada por los métodos ABTS y DPPH fue superior a la obtenida en la futa brasileña, entre ambos métodos existió una correlación que varió debido a la dependencia de la estructura química y a los grupos funcionales. Por lo tanto, el fruto de açai colombiano posee un alto contenido de compuestos fenólicos superiores a los frutos brasileños, por ende, se enfatiza que el contenido de polifenoles varía de acuerdo con las condiciones climáticas, estado de maduración, suelo y condiciones geográficas que interfieren en el mayor o menor contenido de compuestos.

Lichtenthaler *et al.* (2009) observaron el contenido de antocianinas del açai (*Euterpe oleracea*), mediante cromatografía y posterior cuantificación de las principales antocianinas a través de espectrometría aplicada a muestras de açai fresco comercial y no comercial. Se demostró que las muestras de açai tienen una alta capacidad antioxidante contra los radicales

peroxilo, mientras que el poder antioxidante del peroxinitrito no es tan alto.

En cuanto al contenido de antocianinas se evidenció que existe una mayor concentración en frutos no comerciales, mientras que en el caso de las muestras comerciales se obtuvieron valores inferiores, por lo cual se hace alusión al tiempo de almacenamiento de las muestras en las que existe la degradación de las antocianinas. Por lo tanto, se evidencia el contenido de antocianinas y capacidad antioxidante que posee el fruto debido a compuestos que aún no han sido identificados, los cuales pueden verse afectados por el tiempo de cosecha, estado de maduración, condiciones de cultivo, zona geográfica y tiempo de almacenamiento, siendo los frutos frescos los que mayor contenido de antocianinas poseen.

Siqueira *et al.* (2021) identificaron los lípidos, fibras y compuestos fenólicos en semillas de açai (*Euterpe oleracea*), demostrando que el contenido de fibra dietética es del 86% con predominio de la fracción insoluble 85,21%, y porcentaje considerable de ácidos grasos donde sobresale el ácido mirístico. En cuanto a la actividad antioxidante se usó etanol para tener una mayor extracción de compuestos antioxidantes, se tuvieron los siguientes resultados  $64,58 \pm 1,89$  mg/g, mientras la actividad antioxidante in vitro en la desactivación de DPPH se tuvo  $622,81 \pm 67,56$   $\mu\text{mol/g}$  y ABTS  $763,09 \pm 17,27$   $\mu\text{mol TEAC/g}$ . Por lo tanto, se demuestra que el fruto posee compuestos fenólicos incluido su parte no comestible la semilla. También puede ser aprovechada como un recurso agroindustrial, debido a que las semillas de açai poseen un perfil químico que contiene alrededor del 28,3% de polifenoles, así como también ácidos grasos.

Los extractos obtenidos de frutos de açai (*Euterpe oleracea*) se utilizaron como prueba de los antioxidantes que posee. En el estudio realizado por diferentes métodos de extracción para mantener los antioxidantes llevado a cabo por Jurado *et al.* (2020), se demostró que la extracción por solventes reportó un IC 50 de 1,82 mg debido a la afinidad de los componentes antioxidantes al solvente utilizado. La mayor capacidad antioxidante del aceite de açai la presentaron los antioxidantes de naturaleza apolar, y por la separación de esa fracción se puede tener una mejor concentración de los extractos antioxidantes, por lo que mencionan que el açai es capaz de prevenir efectos nocivos en la salud a causa del estrés oxidativo causado por radicales.

## 2.2. Marco Teórico

### 2.2.1. Descripción de la planta de acaí

Açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) es una palmera predominantemente tropical y subtropical. Pertenece a la familia Arecaceae, la cual engloba sobre 200 géneros. De acuerdo con la clasificación su taxonomía queda ordenada como se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1**  
*Taxonomía del acaí*

División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Subclase	Arecidae
Orden	Arecales
Familia	Arecaceae
Subfamilia	Arecoidae
Género	<i>Euterpe</i>
Espécie	<i>Euterpe oleracea</i>

Nota. Adaptado de Cronquist (1981). Fuente: <https://delamazonas.com/flora/palmas/acai-asai/>

La palmera de açaí tiene una alta importancia económica, ya que el principal producto obtenido del mismo es el palmito extraído del meristemo apical. Existen cinco géneros de palmeras más destacadas tales como: *Euterpe*, *Oenacarpus*, *Neonicholsonia*, *Hyospathe* y *Prestoea*. Y alrededor de 30 especies que se encuentran ampliamente distribuidas dentro de la región tropical; siendo *Euterpe oleracea* y *Euterpe precatoria* las dos especies predominantes dentro de la región amazónica (Indecopi, 2019).

Existen dos especies de palmeras de las que se puede cosechar la fruta de açá tales como *Euterpe oleracea* y *Euterpe precatoria*. Siendo la especie *Euterpe oleracea* predominante en la amazonia oriental como se muestra en la Figura 1, cuya característica principal radica en la estructura de la palma, varios estípites, composición fitoquímica y morfología del fruto, que la diferencian de *Euterpe pracatoria* (Ortega, 2015). En países como Brasil la especie más abundante y explotada comercialmente es *Euterpe oleraceae*, que representa el 98% de producción de los frutos.

### **Figura 1**

*Palmera con racimos de açá, 2023*



Nota. El gráfico representa el entorno de la palmera de açá en estado de fructificación.

#### **2.2.2. Fenología y estados de madurez**

La palmera de açá fructifica en países como Brasil en tierra firme a una precipitación de 2600 a 2900 mm durante dos épocas del año de enero a mayo, y de septiembre a diciembre, las épocas con mayor fructificación ocurren durante las épocas más lluviosas, mientras en las épocas más secas abunda las floraciones. Sin embargo, esto depende del tipo de bosque y condiciones climáticas que se relacionan a la fenología de floración/fructificación. En Ecuador en los bosques inundados a una precipitación de 3900 mm la floración ocurre en la época lluviosa, mientras la fructificación en la época seca. Transcurridos 26 días tras la floración inicia la fecundación de los frutos, cuya maduración demora de 175 a 180 días. En el fruto existen diferentes estados de madurez

los frutos inmaduros son de color verde brillante, firmes y no presentan desprendimiento de color. Los frutos semimaduros o denominados pintones son de color verde con tonalidades violeta oscuro, existe desprendimiento de color violeta, son firmes y poseen alto contenido de fibra. Los frutos maduros son de color morado oscuro brillante, menos firmes a los frutos en los otros estados de madurez, y presentan desprendimiento de color púrpura durante la manipulación (Contreras, 2017; Cajas, 2020; Castro *et al.*, 2015).

### **2.2.3. Características físicas del fruto**

Los frutos de açai son frutos carnosos de forma globosa redonda-ovalada de 1,2 a 1,5 cm de diámetro polar y ecuatorial como se observa en la Figura 2, el cual cambia durante las diferentes etapas de madurez, y 1,5 g de peso que también se ve influenciado por el estado de madurez (Neida y Elba, 2007). Se caracterizan por tener un color violáceo-púrpura en estado maduro y verde en estado inmaduro, el mesocarpio del fruto tiene un espesor de 1 a 1,5 mm es de color violeta o púrpura que representa el 32% de su peso total y es la parte comestible, mientras la semilla de forma redonda y color café mide alrededor de 6 mm y representa el 68% que constituye la mayor parte de su tamaño (Costa de Almeida *et al.*, 2015).

### **Figura 2**

*Fruto de açai en estado verde, 2023.*



Nota. *El gráfico representa los racimos de açai en estado verde.*

#### **2.2.4. Aspectos composicionales**

El consumo de açáí (*Euterpe oleracea*) incrementó en varios países por las propiedades nutraceuticas, el alto contenido de compuestos fenólicos lo cual lo ubican como una de las 5 frutas con mayor potencial antioxidante (Rojano *et al.*, 2011).

Es una fuente idónea de antocianinas responsables de su color púrpura, las cuales son capaces de destruir células cancerosas, especialmente proantocianidinas cuyo contenido en el açáí es de 12,89 mg/g (Falla, 2020). Se ha evidenciado que son de 15 a 30 veces más a las que posee el vino tinto (Baltazar *et al.*, 2018). Siendo la cianidina-3-rutinosido y cianidina-3-glucosido las de mayor abundancia en este fruto (Falla, 2020). Castillo *et al.*, (2017) señalan que los valores antioxidantes obtenidos de extractos de açáí son mayores a los extractos de arándanos y moras.

Los compuestos fenólicos presentes en el açáí se agrupan en tres grupos clasificados de acuerdo a su estructura química: polifenoles, ácidos fenólicos y flavonoides. De los ácidos fenólicos presentes en el açáí los de mayor predominio son: ácido protocatecuico 0,75 mg/100 g de materia seca, ácido p-hidroxibenzoico 6,48 mg/100 g de materia seca y ácido vanílico 25,9mg/100g, los cuales se ha evidenciado que disminuyen a medida que avanza el estado de maduración (Correales, 2022).

En la Tabla 2 se muestra la composición nutricional del açáí reportada por Castro *et al.*, (2015), que incluye el análisis de fibra, proteína, carbohidratos y ácidos grasos de los frutos semimaduros y maduros, de la pulpa y semilla de açáí. Se observa que a medida que avanza el estado de madurez el % de fibra y carbohidratos de la pulpa disminuyen de 59,28% en estado semimaduro a 42,23 % en estado maduro y de 19,55% semimaduro a 18,28% maduro respectivamente. Los aspectos de madurez son importantes previos a su utilización, para los procesos de transformación posteriores.

**Tabla 2***Análisis nutricional del açai*

Variable	Pintón		Maduro	
	Pulpa	Semilla	Pulpa	Semilla
Humedad (%)	43,13	-	40,76	-
Extractoetéreo (%)	19,61	7,57	36,96	15,04
Cenizas (%)	1,53	2,51	2,29	2,6
Proteína (%)	0,03	0,06	0,03	0,06
Fibra cruda (%)	59,28	70,12	42,43	36,29
Carbohidratos (%)	19,55	-	18,28	-

Nota. En esta tabla se muestra la composición del açai en dos estados de madurez, comparando la parte semilla y pulpa del fruto. Tomado de Castro *et al.*, (2015).

El contenido de humedad en la pulpa del fruto de açai disminuye a medida del avance del estado de madurez, mientras para el contenido de grasa tanto en la pulpa y semilla se observa un incremento del 19,61% en la pulpa y 7,57% en la semilla en estado pintón o semimaduro a 36,96% en la pulpa y 15,04% en la semilla en estado maduro. El % de proteína en la pulpa y semilla no varían en los diferentes estados de madurez.

### **2.2.5. Compuestos bioactivos del açai y métodos de cuantificación**

Los compuestos bioactivos son considerados como compuestos esenciales y no esenciales sintetizados en alimentos de origen vegetal, dentro de estos compuestos se puede distinguir a cuatro principales grupos: fenoles, terpenos, sustancias azufradas y alcaloides. Dentro de las sustancias fenólicas los polifenoles son las moléculas con mayor actividad antioxidante que incluyen a los fenoles ácidos y flavonoides (Gamez-Villazana, 2022).

La cantidad de compuestos fenólicos en los alimentos varía de acuerdo con la variedad, especie, parte vegetal, condiciones de cultivo, grado de madurez y condiciones de almacenamiento. La actividad biológica de los polifenoles en la actualidad se ha relacionado con su poder antioxidante debido a la habilidad que poseen de quelar metales e inhibir la acción de los radicales libres en el cuerpo humano; consecuentemente evitar

el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares, cáncer, alzheimer, entre otras enfermedades (García *et al.*, 2012).

#### **2.2.6. Polifenoles en el açaí y método de cuantificación**

Los polifenoles son metabolitos secundarios con propiedades antioxidantes y sustancias fitoquímicas, dentro de los cuales se clasifican subgrupos como los flavonoides y antocianinas que poseen sustancias que sirven para aplicar en alimentos, en productos farmacéuticos y cosméticos. Los polifenoles del açaí son inestables a las condiciones ambientales de luz, temperatura, pH y presencia de oxígeno, siendo el pH el factor que más influencia tiene sobre la estabilidad química de la quercetina, catequina, naregina y ácido cafeíco que se pueden identificar en el cambio de coloración del fruto. Otro factor importante para considerar es el contenido de agua en el fruto que pueden perjudicar a las antocianinas por la hidratación que causa cambios en la estructura química debido al ataque nucleofílico en uno de los anillos, aspectos a tomar en cuenta para garantizar la estabilidad de los compuestos fenólicos (Correales, 2022).

Uno de los métodos más comunes para la determinación de compuestos fenólicos es el método de Folin-Ciocalteu, el cual se caracteriza en la capacidad que poseen los polifenoles para reducir el  $Mo^{6+}$ , es decir la transformación del complejo molibdato tungstato del reactivo de Folin-Ciocalteu a  $Mo^{5+}$  (García, 2016). Los compuestos fenólicos reaccionan como el reactivo de Folin-Ciocalteu en un pH básico, y se produce una reacción que cambia el color del reactivo de amarillo a un color azul intenso que tiene un máximo de absorción de 765 nm, que debe ser cuantificada mediante espectrofotometría en base a un patrón de ácido gálico (García *et al.*, 2012).

#### **2.2.7. Antocianinas en el açaí y método de cuantificación**

El açaí contiene antioxidantes dentro de su composición química definidos como flavonoides (orientina, homoorientina, vitexina, luteolina y velutina) dentro de los cuales se encuentran las antocianinas (cianidina 3-glucósido; 2, pelargonidina 3-glucósido). En la pulpa de açaí se encuentran (cianidina 3- O – rutinósido y cianidina 3- O- glucósido),

la cianidina es responsable del color magenta del fruto, mientras los colores formados previo a la maduración se deben a la pelargonidina, mientras el color violeta y azul se deben a la delfunidina caracterizado por tener un grupo hidroxilo más (Castillo *et al.*, 2017). Las antocininas también se caracterizan por ser inestables a las condiciones ambientales como temperatura, luz, oxígeno, almacenamiento, pH y a la presencia de flavonoides. Al igual que en los polifenoles el pH es el factor más relevante que afecta a la estabilidad de las antocianinas, siendo la acidez la que logra tener un efecto protector dentro de la molécula, mientras que a valores más altos de pH ocurre una pérdida de protón dando lugar a formas quinoidales de color púrpura que se puede degradar rápidamente debido a la oxidación (Moreno, 2017).

Para la cuantificación de las antocianinas en matrices de alimentos existen diferentes métodos tales como el método de espectroscopía de UV-Vis y el de cromatografía líquida de alta resolución HPLC, siendo el método de espectroscopía el más utilizado a una longitud de onda que va en un rango de 465 a 550 nm debido al tiempo de análisis y bajo costo a comparación HPLC. Este método de espectros permite identificar el contenido de antocianinas polimerizadas, es así que la concentración está dada por la absorbancia por el pH diferencial que permite la estimación del contenido de antocianinas monoméricas (Jurado, 2014).

$$\text{TAC} = A * \text{XMW} * \text{DF} * 100\epsilon * W \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

A= Absorbancia

MW= Peso molecular de cianidina-3-glucosido cloruro (484.84 g/mol)

DF= Factor de dilución

$\epsilon$ = Coeficiente de absortividad ( $24825 \text{ L mol}^{-1}\text{cm}^{-1}$ ).

W= Peso de la muestra (g).

### **2.2.8. Flavonoides en el açá y método de cuantificación**

En lo que respecta a los flavonoides el açá poseen alrededor del 31% tales como orientina, homoorientina, isovitexina y scoparina, de estos compuestos orientina y homoorientina disminuyen su concentración cuando el fruto llega a su fase de maduración (Correales, 2022). Los flavonoides se caracterizan por tener una estructura química muy variables y por conferir colores rojos, amarillos, violetas, entre otros, a las hojas, flores y frutos (Monedero, 2016). Debido a los grupos hidroxilo fenólicos que poseen dentro de su estructura química permiten la quelación del hierro, inhiben las oxidasas: lipoxigenasa, cicloxigenasa, xantina oxidasa y evitan la acción de los radicales hidroxilo y superóxido; protegiendo de esta manera al organismo de los daños producidos por los agentes oxidativos que son causantes de enfermedades degenerativas, por lo que resulta importante mantener las formas poliméricas de estos compuestos (Cruz, 2014).

Para la cuantificación se puede utilizar el método de Price y Butler, caracterizado por tener las mismas bases del método de Folin-Ciocalteu, debido a que el ion fenolato es oxidado y el ion férrico presente es reducido a ion ferroso, que es detectado por el reactivo de ferricianuro de potasio que provoca un cambio de coloración a azul que se mide mediante absorbancia (Ramírez, 2020).

#### **2.1.1 Capacidad antioxidante y métodos de determinación**

El açá posee una de las capacidades antioxidantes más altas que las bayas de color violeta/morado tales como las moras, arándanos, uvas, frambuesas, entre otras. Ya que presenta una capacidad estimada alrededor de 48,6  $\mu\text{mol ET}$  (Equivalentes de Trolox)/L, capacidad dada especialmente por la alta actividad que posee contra el radical piróxilo y en menor medida contra los radicales peroxinitrito e hidroxilo, por lo que tiene propiedades cardioprotectores y antiproliferativas (Castillo *et al.*, 2017).

En cuanto a la capacidad antioxidante existen varios métodos para su determinación, debido principalmente a los diferentes mecanismos de acción que poseen los antioxidantes. Razón por la cual para su determinación se debe tomar en cuenta las

estrategias de detección y cuantificación (García, 2016). Sin embargo, los métodos más comunes para la determinación de la capacidad antioxidante son los detallados a continuación en la Tabla 3.

**Tabla 3**

*Métodos para la determinación de la capacidad antioxidante*

Mecanismo	Método	Sustancia Oxidante	Patrón de referencia	Fundamento
<b>HAT</b>	ORAC	Radical peroxilo	Trolox	El radical peroxilo oxida a la fluoescina, por lo cual esta decrece. Por lo tanto, la medida se basa en mantener la fluorescencia en presencia a la sustancia oxidante.
	TRAP	Radical peroxilo	Trolox	El radical peroxilo oxida a una proteína, por lo tanto, la medida se basa en el tiempo en que demora la aparición de la fluorescencia.
	FRAP	Fe <sup>3+</sup> – TPTZ	FeSO <sub>4</sub>	Reducción de férrico a ferroso, se basa en la absorbancia del Fe <sup>2+</sup> , cuya concentración va a estar determinada por la sustancia antioxidante.
	TEAC	ABTS <sup>+</sup>	Trolox	El radical generado reacciona con la sustancia antioxidante, y genera un cambio de color, por lo tanto, la medida se basa en la reducción de la absorbancia.

DPPH	DPPH <sup>++</sup>	Trolox	El radical toma una coloración y reacciona con la sustancia antioxidante, por lo cual la medida se basa en la reducción de la absorbancia.
------	--------------------	--------	--

Nota. En esta tabla se detalla los diferentes métodos utilizados para la determinación de la capacidad antioxidante. Tomado de *García (2016)*.

El método ABTS fue propuesto en 1993, cuyo radical catión se caracteriza por tener un color verde-azul debido a la reacción generada por el persulfato potásico previo a la reacción con los antioxidantes. Durante la medición de la capacidad antioxidante el reactivo reacciona con la muestra estudiada, por lo cual existe una reducción del color. El radical catiónico ABTS se absorbe a una longitud de onda de 734 nm por lo que se fundamenta en la cuantificación de la decoloración que es medida mediante espectrometría. Para calcular el porcentaje de captación se utiliza la ecuación 1 (Ruiz, 2020; Orjuela, 2015).

$$\% \text{ de captación de ABTS} = \frac{A_{\text{inicial}} - A_{\text{final}}}{A_{\text{inicial}}} * 100 \quad (\text{Ecuación 2})$$

El método DPPH se caracteriza por disolverse únicamente en medios orgánicos y por obtenerse directamente sin una preparación previa (Kuskoski, Asuero, y Troncoso, 2005). Su fundamento consiste en la aceptación de un átomo o electrón de hidrógeno a través de la molécula de 1,1-difenil-2-picrilhidrazina, que provoca que exista una coloración violeta intensa, que se mide mediante espectrofotometría a una longitud de onda de 517 nm (Ruiz, 2020).

El método FRAP denominado también como método de poder reductor/antioxidante de hierro férrico, se caracteriza por la reducción de Fe<sup>3+</sup> a Fe<sup>2+</sup> en un medio ácido, con lo cual se tiene un color azul se mide mediante espectrofotometría a 593 nm. Sin embargo, la intensidad de la coloración va a estar influenciada por la concentración de compuestos

con potencial redox, el poder reductor de este método también está correlacionado con el grado de hidroxilación y la conjugación de los polifenoles (Castro, 2016).

### **2.1.2 Color y espacio de color CIELAB**

El color es considerado una percepción visual humana producida por la retina, la apreciación de la luz depende de los elementos que rodeen al objeto de enfoque, temperatura, brillo, fondo y como el cerebro procese, por lo que se considera al color como una medida subjetiva. Razón por la cual los métodos estándar caracterizados por la colorimetría triestímulo a base de sensaciones o atributos permiten expresar los colores de forma concisa a través de factores como la luminosidad, tono y saturación. El tono está relacionado con la diferencia de absorbancia y permite clasificar colores rojos, amarillos, verdes y azules, la saturación se basa en la intensidad del color desde colores grises a colores puros, y la luminosidad permite la clasificación del color entre claro y oscuro. Mediante el establecimiento de estos factores rige la generalización tricromática basada en un espacio vectorial, para lo cual existen diversos sistemas para definir el color, entre ellos el más conocido para evaluación visual es el espacio de color CIELAB debido a que permite tener medidas objetivas y reproducibles (González, 2010; Borja *et al.*, 2016).

El espacio de color CIELAB relaciona valores numéricos con la percepción de la vista, se caracteriza por ser un sistema cartesiano formado por 3 ejes, el eje vertical conocido como L\* representa la medida de luminosidad de negro 100 hasta blanco 0, se considera que la luminosidad es el atributo visual que observa la tonalidad y pureza sobre una superficie. También se forma por dos coordenadas, el eje horizontal denominado a\* representa medidas de color, valores positivos representados por el color rojo y valores negativos de color verde, y el eje de b\* perpendicular al eje de a\* representado por el color amarillo en valores negativos y color azul en valores positivos (Talens, 2017).

Los atributos de color se obtienen a partir de las siguientes ecuaciones:

$$\text{Luminosidad} = L^* \quad (\text{Ecuación 3})$$

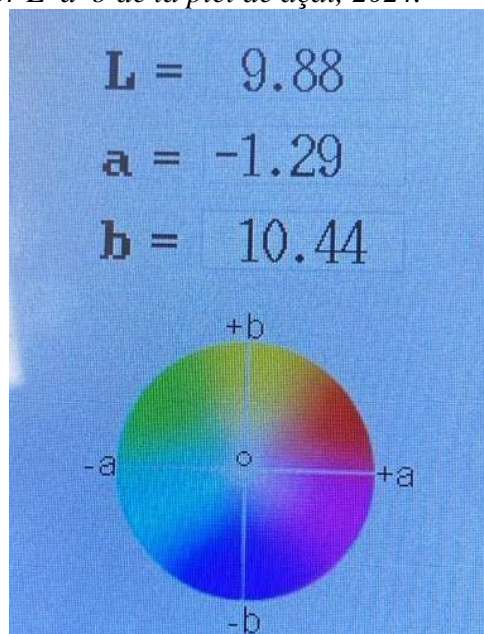
$$\text{Tonalidad} = h^* = \arctg \frac{b^*}{a^*} \quad (\text{Ecuación 4})$$

$$\text{Pureza} = C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Los valores de  $L^*$  van desde 0 a 100, sin embargo, puede observarse valores superiores cuando hay emisión de fluorescencia que no es habitual en frutos. Mientras el valor sea más próximo a 100 el fruto será más luminoso, y por el contrario mientras más cerca se encuentre de 0 el fruto será más oscuro.  $h^*$  mide la tonalidad basada en la orientación del color en base al ángulo de origen  $0^\circ$ . Se define que  $0^\circ$  es la posición inicial  $a^*$  caracterizada por ser positiva y dar colores rojizos, por el contrario, a un ángulo de  $90^\circ$  en sentido contrario se observa colores amarillos, mientras a un ángulo de  $180^\circ$  un color verde y a un ángulo de  $270^\circ$  colores azules.  $C^*$  es una medida de pureza o también denominada croma la cual parte desde el punto medio del eje y representa  $a^*=b^*=0$  (Talens, 2017; Carvajal *et al.*, 2011).

### Figura 3

Coordenadas de color  $L^*a^*b^*$  de la piel de açai, 2024.



Nota. El gráfico representa las coordenadas de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  medidas en el fruto de açai en estado maduro.

Elaboración propia.

### **2.3. Marco legal**

Desde el año 1992 se estableció los ejes para la protección del medio ambiente, tomando en cuenta el cambio climático y la biodiversidad.

Según la FAO (2013) a nivel internacional existen lineamientos para el aprovechamiento sostenible de frutos de palmeras silvestres provenientes de comunidades nativas y campesinas, bajo un marco legal basado en la ley N° 27867 Ley Forestal y de Fauna Silvestre y la ley N° 26821 Ley orgánica para el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales (Olivo, 2016).

A nivel nacional según el MAE (2017) existe una política enfocada en la gestión para la vida silvestre, para garantizar la sostenibilidad preservando el ambiente, la conservación del ecosistema, biodiversidad, integridad del patrimonio genético y uso de los recursos naturales de modo racional.

## CAPÍTULO III.

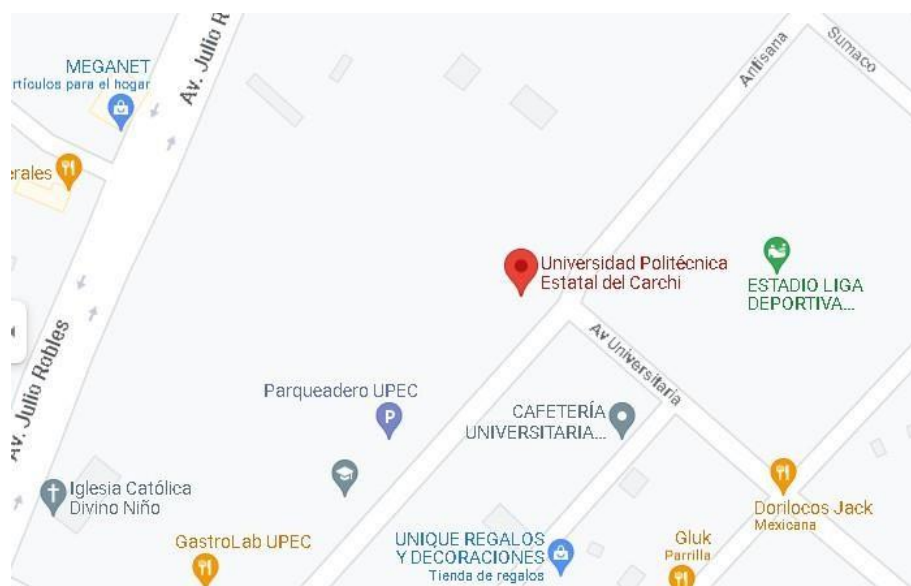
### METODOLOGÍA

#### 3.1. Descripción del área de estudio

Los frutos de la palma de açái (*Euterpe oleracea*) fueron recolectados en tres estados de madurez de cultivos silvestre localizados en la provincia de Sucumbíos de la región amazónica Sucumbíos (0.025816; -77.3619604). Se colocaron en fundas ziploc, y se transportaron hasta los laboratorios de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi (0.805363; -77.739710).

#### Figura 4

*Ubicación geográfica de la UPEC.*



Nota. Adaptado de Google (s.f.) Universidad Politécnica del Carchi. Recuperado el 15 de septiembre de 2023 de (Google, s.f.).

## **3.2. Enfoque y tipo de investigación**

### ***3.2.1. Enfoque***

La investigación tiene un enfoque cuantitativo ya que el estudio se realizó de forma experimental, para lo cual se obtuvieron datos de carácter numérico, para los valores de antocianinas, polifenoles, flavonoides y capacidad antioxidante que fueron reportados en sus respectivas unidades.

### ***3.2.2. Tipo de Investigación***

Para la determinación de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante del açaí se realizó una investigación de forma experimental y bibliográfica que fue sustentada a través de la información obtenida de: revistas científicas, periódicos, tesis de grado, bases de datos como: scopus, scielo, redalyc, springer, google académico, entre otras., que permitieron crear un soporte para determinar la variación de datos entre el açaí ecuatoriano con respecto al reportado por investigadores en açaí brasileño, colombiano y peruano.

Por otro lado, se considera una investigación experimental debido a las variables independientes, el estado de madurez y parte del fruto del açaí en función al contenido de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante. Esta variable fue cuantificada de acuerdo con el contenido de polifenoles, flavonoides y antocianinas totales y capacidad antioxidante.

## **3.3. Definición y operacionalización de variables**

### ***3.3.1. Definición de variables***

#### **Variables dependientes**

Dentro de la investigación se tuvo como variables cuantitativas a las variables dependientes (compuestos fenólicos y capacidad antioxidante) debido a que se obtuvieron datos numéricos para la cuantificación de polifenoles, antocianinas, flavonoides y capacidad antioxidante.

## Variable independiente

La variable independiente dentro de la investigación fue manejada con la finalidad de determinar los efectos que tiene sobre la variable dependiente. En el caso de estudio la variable independiente parte del fruto de açai (piel y pulpa) e índice de madurez fueron evaluados para determinar el estado de madurez óptimo para el aprovechamiento, y posteriormente determinar que parte del fruto tanto piel y pulpa contiene mayor cantidad de polifenoles, antocianinas, flavonoides y capacidad antioxidante.

### 3.3.2. Operacionalización de variables

**Tabla 4**  
*Operacionalización de variables*

Independiente	Dimensión	Indicadores	Técnica	Instrumento
Índice de madurez fruto	Estado de maduración caracterizado por el color de la epidermis	Verde	Espacio de color coordenadas L*,a* y b*.	Cielab 2019
		Verde-púrpura Púrpura		
Parte del fruto (piel y pulpa)	Separación de la piel (epidermis) y pulpa del fruto	Índice de madurez	Relación °Brix/acidez titulable	Brito y Vásquez (2013)
		°Brix	Reflectometría	(AOAC 932.14, 1932)
		pH	Conductimetría	(AOAC 10.04/84, 2005)

		Acidez total	Método de titulación	Blandón (2012)
		Peso de la pulpa	Gravimetría	(AOAC 968.30,2009)
		Peso de la cáscara		
Dependiente		Reducción de hierro férrico	Espectrofotometría	Nakamura <i>et al</i> (2014)
Compuestos fenólicos				
Capacidad antioxidante	Funcionalidad	FRAP Decoloración del radical ABTS	Espectrofotometría	(1999) y Suárez (2018)

Nota. En esta tabla se muestra las variables independientes y dependientes de la investigación.

### 3.4. Diseño experimental

La investigación se llevó a cabo utilizando un diseño experimental de bloques completamente al azar DBCA en arreglo factorial con dos factores: factor 1 estado de madurez con 3 niveles, y factor 2 parte del fruto con 2 niveles con 3 repeticiones por cada tratamiento, con el fin de evaluar la existencia de diferencias significativas. Se realizó un análisis de varianza ANOVA para determinar diferencias estadísticas entre parte del fruto y etapas de maduración. Para ello se realizó una prueba de Tukey al 5%. Software: InfoStat.

**Tabla 5***Diseño experimental*

Número de repeticiones	3
Número de tratamientos	6
Número de factores	2
Número de unidad experimental	18

**Tabla 6***Diseño de bloques completamente al azar DBCA en arreglo factorial 2x3*

Estado de madurez	Parte del fruto
M1	1
	2
M2	1
	2
M3	1
	2

**Tabla 7***Factores y niveles a medir*

	Factores	Nivel
<b>F1</b>	Estado de madurez	3
<b>F2</b>	Parte del fruto	2

### 3.5. Métodos

Se utilizaron frutos de la palma de açái (*Euterpe oleracea*) recolectados en tres estados de madurez en base al color de cobertura del fruto: verde, semimaduro(verde-púrpura) y maduro (púrpura) provenientes de cultivos silvestre localizados en la provincia de la región amazónica Sucumbíos (0,025816 -77,3619604). Se tomó manualmente alrededor de 1000 gramos por cada estado de madurez mencionado con anterioridad, y se colocaron

en fundas ziploc, que fueron almacenados a  $-3^{\circ}\text{C}$ , para posteriormente ser transportados. Se escogieron frutas sin daños, se lavaron con agua potable y clasificaron por su color superficial: verde, verde-púrpura y púrpura cada grupo formado por 60 frutos. Se utilizaron 30 frutos para el análisis fisicoquímico y 30 frutos para la determinación de polifenoles, flavonoides, antocianinas y capacidad antioxidante, estos fueron separados en piel, pulpa y semilla. A la piel y pulpa se liofilizó y molió hasta alcanzar un tamaño de partícula de 1mm, se envasó en recipientes de plástico que fueron almacenados a una temperatura inferior a  $-3^{\circ}\text{C}$ .

Para la determinación de polifenoles, flavonoides y capacidad antioxidante, se obtuvo primero la solución extractora por separado, el extracto de la pulpa y piel del fruto de acaí, utilizando una solución de metanol-agua-ácido fórmico (70:30:1); de acuerdo al método descrito por Hue y Col (2014). Se pesó 3 g de muestra seca por cada estado de madurez, se colocó en tubos de centrifuga de 15 mL y se añadió 5 mL de solución metanol-agua-ácido fórmico (70:30:0,1). Se realizó el proceso de extracción en el equipo MP Fastprep – 24 (velocidad 6,5 m/s por 1 min) se centrifugó en una centrifuga modelo Sigma 416 – K5 a 3800 rpm de velocidad a  $7^{\circ}\text{C}$  por 10 min. Se repitió el proceso de extracción y centrifugación por cuadruplicado. Se separó el sobrenadante, transfirió a un balón volumétrico ámbar de 25 mL, y aforó con solución de metanol-agua-ácido fórmico, hasta posteriormente ser utilizada para la determinación de los compuestos bioactivos mencionados con anterioridad.

### ***3.5.1. Análisis fisicoquímico***

Cada fruto fresco se pesó en una balanza analítica y se midió el diámetro longitudinal y polar los frutos mediante un pie de rey (Hanna).

Se evaluó el color de cada fruto de manera visual para clasificarlos de acuerdo al color de la piel tomando en cuenta los indicadores (verde, verde-púrpura y púrpura), al ser una medida subjetiva posteriormente se realizó la confirmación mediante una medición técnica entre (sólidos solubles/índice de madurez), y una medida instrumental mediante un colorímetro modelo WR-10; las medidas fueron realizadas en tres puntos para obtener los valores de las coordenadas CIELAB ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  y  $C^*$ ) ( 3 clases (clase 1:verde; clase

2: verde-púrpura; clase 3: púrpura) x 30 frutos x 3 medidas).

Los sólidos solubles se determinaron mediante un refractómetro H196801 (escala 0-85%Brix), se colocó dos gotas de zumo de açaí sobre el prisma de la superficie del equipo, y se expresó el resultado en °Brix. Para la determinación de acidez titulable se siguió el método descrito por Brito y Vásquez (2013), se licuó 30 g del fruto, se realizó una dilución y aforó en un balón de 200 ml para posterior titular con NaOH 0,1N hasta alcanzar un pH de 8.

El índice de madurez se determinó siguiendo la metodología empleada por Brito y Vásquez (2013) mediante una relación entre el contenido de sólidos solubles y la acidez.

### ***3.5.2. Determinación de compuestos bioactivos***

#### ***3.5.2.1. Cuantificación del contenido de polifenoles (TPC)***

Se usó el método empleado por Espín y Samaniego (2016) basado en el uso de una curva de calibración que relaciona el contenido de ácido gálico 0-100 mg y el contenido de polifenoles reportado en mg. En tubos de ensayo por triplicado se colocó extracto por cada muestra, con de agua destilada y de reactivo de Folin & Ciocalteu. Se dejó en reposo durante 3 min y se añadió 2 mL de carbonato de sodio al 20% de concentración. Se agitó el extracto obtenido en un vortex y se colocó a baño maría durante 40°C por 2 minutos, la absorbancia para realizar la curva se realizó a 760 nm en un espectrofotómetro (Shimadzu 2600) (Castillo y Janon, 2018).

#### ***3.5.2.2. Cuantificación del contenido de flavonoides (TFC)***

Para la determinación del contenido de flavonoides se utilizó el método adaptado de Zhishen *et al.*, (1999). Se elaboró la curva de calibración mediante interpolación de absorbancia con catequina por cada g y posteriormente el resultado se reportó en mg. Se colocó 1 mL por cada muestra realizada por triplicado y colocó 4 mL de agua destilada para después ser homogenizado mediante el uso de un vortex. Posterior se colocó 0,3 mL de nitrito de sodio al 5% que fue agitado en un vortex. Se dejó en reposo por 5 min y se

colocó 0,3 ml de cloruro de aluminio al 10% que fue dejado en reposo por 5 min. Se colocó 2 mL de NaOH al 1N y se aforó con de agua destilada. Finalmente, la muestra fue homogenizada para medir la absorbancia a 490 nm mediante el uso de un espectrofotómetro Shimadzu modelo 2600 (Castillo y Janon, 2018).

### **3.5.2.3. Cuantificación del contenido de antocianinas (TAC)**

Se utilizó el método empleado por Rapisarda *et al.*, (2000) y el de Torres (2010). Se utilizaron dos soluciones extractoras formadas por buffers de pH 1,0 y de pH 4,5, la primera formada por cloruro de potasio 0,2N y ácido clorhídrico 0,2N; y el buffer de pH 4.5 formado por acetado de sodio al 1M y ácido clorhídrico al 1N. Las soluciones extraídas fueron aforadas con solución extractora en balones ámbar de 50 ml. Posterior se pesó 0,25 g de muestra de acaí liofilizada dentro de un tubo centrifugo con 5 mL de buffer 1 y 4,5 respectivamente, cada uno se agitó por 1 hora en una placa agitadora, posterior se colocó en una centrifuga a 5500 rpm de velocidad por 10 min. Se separó el sobrenadante extraído y se transfirió hacia un balón volumétrico ámbar de 25 mL, este proceso fue repetido por triplicado hasta llevar a volumen con la solución tampón de pH 1 y pH 4,5, finalmente se realizó la medición mediante un espectrofotómetro (Shimadzu modelo 2600) a 510 y 700 nm (Castillo y Janon, 2018).

### **3.5.3. Determinación de la capacidad antioxidante**

#### **3.5.3.1. Evaluación de la actividad antioxidante mediante el método ABTS**

Se hizo una dilución con agua destilada para tener buffers con pH de 4,5 y 1, que fueron colocados en una celda para ser leídos mediante un espectrofotómetro (Shimadzu UV-VIS 2600, Japón) a 515 nm y 700 nm de longitud de onda.

Se utilizó el método basado en lo realizado por Re *et al.*, (1999) y Suárez (2018). Se realizó una curva de calibración de la absorbancia de las muestras interpoladas con un Trolox estándar, y se reportó en mg.

Se realizó una mezcla de buffer fosfato pH 7 con la solución de ABTS activado hasta obtener una lectura de absorbancia de 1,1 +/- 0,01 a una longitud de onda de 734 nm. Se colocó 200 µL de muestra en tubos de ensayos conjuntamente con 3800 µL de la solución diluida ABTS, para posterior dejar en reposo durante 45 minutos esta absorbancia fue medida a 734 nm en un espectrofotómetro (Shimadzu modelo 2600) (Castillo y Janon, 2018).

### **3.5.3.2. Evaluación de la actividad antioxidante método (FRAP)**

Se siguió la metodología empleada por (Babu *et al.*, 2013) y Samaniego *et al.*, (2020). La cuantificación de la capacidad antioxidante de las muestras se obtuvo mediante la interpolación de la absorbancia a través de una curva de calibración con un Trolox estándar. Se colocó una relación 1:1 de muestra y agua destilada en tubos de ensayo, adicional se colocó 2,5 ml de buffer fosfato de pH 6,6 y de solución de ferrocianida de potasio al 1% respectivamente. Posteriormente se colocó a baño María a 50 °C durante 20 minutos. Se colocó 2,5 ml de solución de ácido tricloroacético al 10% con 2,5 ml de agua destilada y 0,5 ml de  $FeCl_3$  al 1% e inmediatamente se homogenizó en un vortex. Se dejó reposar durante 30 minutos en la oscuridad y se midió la absorbancia en un espectrofotómetro Shimadzu modelo 2600 a una longitud de onda de 700 nm. Los resultados fueron representados en µmoles de Trolox equivalente por gramo de muestra seca.

## CAPÍTULO IV.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Parámetros fisicoquímicos

En la Tabla 8, se presentan los resultados de la determinación del peso, diámetro polar y longitudinal del açaí. Se evaluaron 30 frutos de cada estado de madurez establecidos en los indicadores (verde, verde-púrpura y púrpura) de la provincia de Sucumbíos, a fin de determinar sus características morfológicas. Como se observa en los resultados obtenidos Tabla 8 los valores de peso y diámetro incrementan mientras la madurez progresa. Los frutos de açaí en estado verde pasaron de tener un peso de 1,11 g, diámetro polar de 1,14 cm y diámetro longitudinal de 1,15 cm en estado tierno a un peso de 1,78 g, 1,73 cm de diámetro polar y 1,37 cm de diámetro longitudinal en estado maduro. Lo cual concuerda con lo mencionado por Castillo *et al.*, (2017) los frutos de açaí miden de 1,0 a 1,4 cm de diámetro, y son más grandes conforme alcanza la etapa de madurez.

Estos cambios morfológicos están relacionados con la madurez fisiológica, debido a que los frutos comienzan a desarrollarse después que ocurren los procesos de polinización y fertilización, para lo cual el peso y volumen son parámetros fundamentales para la comprobación del desarrollo del fruto; donde ocurren tres etapas el crecimiento, desarrollo y maduración (Martínez *et al.*, 2017). En las primeras etapas del desarrollo del fruto se produce la división celular, posteriormente ocurre el cambio de tamaño y alargamiento de los frutos debido al crecimiento de las vacuolas, y finalmente en la fase de maduración el número de células se mantiene constante por lo cual existe el aumento de tamaño en el fruto (Dos Santos *et al.*, 2015).

**Tabla 8***Características morfológicas de frutos de açaí en tres estados de madurez. n=180*

Estado de madurez	Peso (g)	Diámetro polar (cm)	Diámetro longitudinal (cm)
Verde	1,11 ± 0,07 a	1,14 ± 0,04 a	1,15 ± 0,04 a
Semi maduro	1,50 ± 0,01 b	1,45 ± 0,04 b	1,18 ± 0,06 a
Maduro	1,78 ± 0,07 c	1,73 ± 0,01 c	1,37 ± 0,02 b

Nota. Los resultados se expresan como media ± desviación estándar (DE) (n=180). Las letras diferentes indican diferencias significativas entre estados de madurez (p <0,05) utilizando el análisis ANOVA seguido de la prueba de Tukey.

De acuerdo con los valores obtenidos de esta investigación como se observa en la Tabla 8, se confirma que a medida que el fruto madura el peso aumenta debido al tamaño y dureza de la semilla alcanzando un tamaño de 7 a 10 mm (Castillo *et al.*, 2017). Según lo mencionado por Castro *et al.*, (2015) y Baltazar *et al.*, (2018) la semilla del açaí maduro constituye entre el 73% al 83% del peso total. Los resultados obtenidos confirman lo descrito por Ortega *et al.*, (2015), los que señalan un diámetro polar promedio de 1,425 ± 0,069 cm, diámetro longitudinal 1,324 ± 0,0103 cm y peso de 1,797 ± 0,266 g. Sin embargo, el tamaño del fruto además del estado de madurez se puede ver influenciado por el diámetro de la raquilla ya que de esto va a depender la disposición de las flores y la probabilidad de polinización relacionada con la producción de frutos (Velarde y Morales, 2008).

**Tabla 9***Análisis fisicoquímico de açaí en tres estados de madurez.*

Estado de madurez	Sólidos solubles (°Brix)	Acidez titulable (% ácido málico)	Índice de madurez (TSS/TA)
Verde	0,45 ± 0,07	A 0,44 ± 0,003 A	1,01 ± 0,15 C
Semi maduro	1,75 ± 0,07	B 0,44 ± 0,002 B	3,94 ± 0,17 B
Maduro	3,6 ± 0,14	C 0,26 ± 0,011 C	13,97 ± 0,07 A

Nota: Los resultados se expresan como media ± estándar (DE) (n=3). Las letras diferentes indican que existe diferencias significativas entre los estados de madurez (p<0,05), utilizando el análisis ANOVA seguido de un análisis Tukey.

En la Tabla 9 se presentan los resultados obtenidos de la determinación de sólidos solubles (SST) y acidez titulable (TA), a medida que el estado de maduración del açaí cambia de verde a púrpura el contenido de azúcares aumentó de 0,45 a 3,6 °Brix, mientras la acidez disminuye de 0,44 a 0,26%. Datos son similares a lo publicado por Castillo *et al.*, (2017) y Cardona (2005) quienes reportan niveles de acidez titulable para açaí entre 0,21 % a 0,5 % de ácido málico, valores relativamente bajos en comparación con otros frutos como la mora de castilla. Según lo reportado por Gómez (2004) se determinó valores entre 2,5 % a 3,3 % de ácido málico para la mora de castilla, estableciendo que a medida que avanza la etapa de madurez el porcentaje de ácido málico desciende. La disminución de los valores de acidez en los frutos maduros se debe a que los ácidos orgánicos son usados para el el proceso respiratorio, que posteriormente convertirse en azúcares, por lo cual la acidez es un factor importante ya que tiene impacto sobre la calidad de frescura y sabor del fruto (Buitrago *et al.*, 2015; Jiménez *et al.*, 2024).




Los sólidos solubles presentaron diferencias significativas entre los frutos en estado verde a estado maduro, ya que a medida del avance del estado de madurez los sólidos solubles incrementan. Forero *et al.*, (2014) mencionan que en frutas tropicales los sólidos solubles aumentan con el transcurso del proceso de maduración. Ya que durante el proceso de maduración los solutos que son depositados en las vacuolas se convierten en azúcares, proceso similar ocurre en bayas como la mora que el aumento de sólidos solubles esta relacionado con la transformación de los ácidos orgánicos en azúcares donde predomina el ácido málico, valores que se pueden ver afectados debido a la cosecha, condiciones agroecológicas, zona, variedad y grado de madurez (Moreno y Deaquiz, 2015).

La relación entre los sólidos solubles y la acidez titulable (índice de madurez IM) es un indicativo tanto del estado de desarrollo del fruto como de la calidad organoléptica del mismo, el incremento de este índice se relaciona directamente con la disminución del contenido de ácidos orgánicos, lo cual incrementa la calidad organoléptica, tal como se observa en la Tabla 9 a medida que el fruto madura la acidez disminuye y el índice de madurez aumenta de 1,01 en el fruto en estado verde a 13,97 con respecto al fruto en estado maduro (Moreno y Deaquiz, 2015).

Existen diferentes medidas para evaluar el estado de madurez del fruto, una de las medidas más utilizadas es el índice de madurez, cuyo objetivo es relacionar las características fisiológicas del fruto que se muestran durante la maduración (Torres *et al.*, 2016). Sin embargo, su correlación con el grado de madurez y la calidad suele cuestionarse, para lo cual se utiliza conjuntamente con otros indicadores como la colorimetría. Ayala *et al.*, (2013) han mencionado que el IM tiene una tendencia ascendente desde el estado de madurez inicial hasta llegar a la madurez total, lo cual concuerda con los datos presentados en la Tabla 9, desde la etapa inicial hasta el estado maduro.

**Tabla 10**

*Clasificación visual del açaí en tres estados de madurez.*

Estado de madurez	Índice de madurez (TSS/TA)	Característica	
Verde	1,01 ± 0,15 C	Color verde 100%	
Semimaduro	3,94 ± 0,17 B	Color verde 50%- color púrpura 50%	
Maduro	13,97 ± 0,07 A	Color púrpura 100%	

Nota: Los resultados se expresan como media ± estándar (DE) (n=3). Las letras diferentes indican que existe diferencias significativas entre los estados de madurez ( $p < 0,05$ ), utilizando el análisis ANOVA seguido de un análisis Tukey.

Se realizó una tabla de colores para clasificar los tres estados madurez de acuerdo con el recubrimiento de la epidermis de los frutos, en la Tabla 10 se observa el cambio de coloración de la epidermis de los frutos que es un indicador del índice de madurez fisiológico. Se observó que al inicio el fruto presenta una cáscara de coloración verde estado inmaduro, posteriormente pasa a un color verde-púrpura estado pintón o semimaduro donde la cáscara tiene color verde y púrpura, y finalmente al estar completamente maduro oscurece hasta tener un color de cáscara completamente púrpura.

Según Carrasco *et al.*, (2015) la coloración predominante de la piel para la cosecha de los frutos debe ser en mayor porcentaje de color púrpura de la mayoría de los frutos en los racimos.

**Tabla 11**

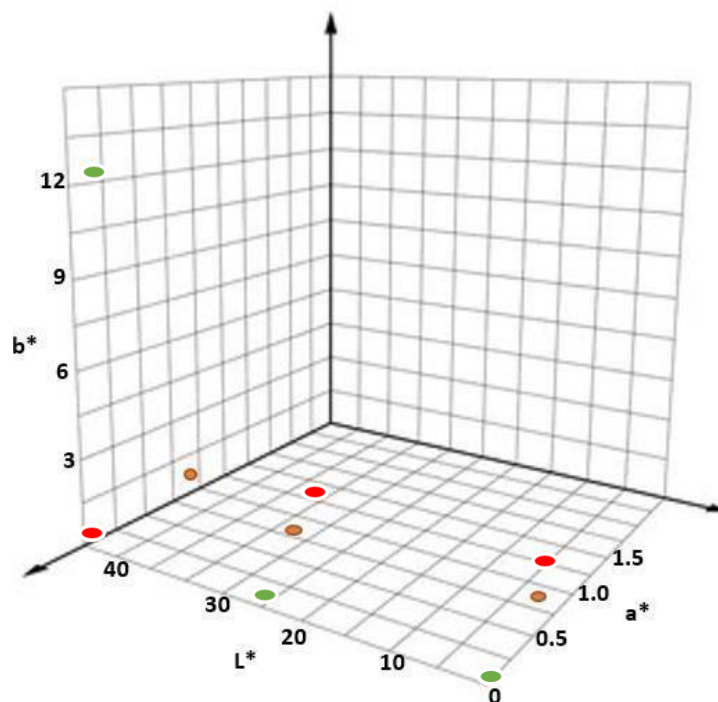
*Valores medios y desviación estándar de L\* a\* b\* de las tres clases de madurez de açái.*

Estado de madurez	L*	a*	b*
Verde	28,9±0,47 A	-6,13±0,34 A	13,3±0,66 A
Semi maduro	32,5±0,7 B	0,86±0,26 A	0,5±0,05 B
Maduro	33,6±0,26 B	1,43±0,97 B	-1,61±0,07 C

Nota: Los resultados se expresan como media ± estándar (DE) (n=3). Las letras diferentes indican que existe diferencias significativas entre los estados de madurez (p<0,05), utilizando el análisis ANOVA seguido de un análisis Tukey.

**Figura 5**

*Coordenadas L\*, a\* y b\* con respecto a tres estados de madurez del açái*



Nota. El gráfico representa las coordenadas de L\*, a\* y b\* medidas en el fruto de açái en los diferentes estados de madurez.

Como se puede observar en la Figura 5 los valores de L\* y a\* aumentan con el grado de madurez de los frutos, debido al oscurecimiento natural de los mismos. Que se atribuye a la disminución del color verde, debido a la pérdida de los pigmentos de la clorofila para dar paso a la aparición de colores amarillos, naranjas y rojos (Salinas *et al.*, 2010). Según (Forero *et al.*, 2014) se tuvo una tendencia similar en frutos de mortiño donde los valores de a\* de coloración verde fueron disminuyendo a medida del avance del estado de madurez por coloraciones rojizas. En la coordenada b\* (cambio de color amarillo a azul) a medida del avance del estado de madurez los frutos pasan a tener valores negativos debido al cambio de color a una tonalidad azul.

Los cambios de coloración debido a la madurez del fruto se observan en la Tabla 11, donde la coordenada a\* mostró el mayor cambio, ya que se tuvo valores negativos de  $-6,13 \pm 0,34$  color verde que progresivamente con la madurez pasaron a  $1,43 \pm 0,97$  en estado maduro, y en la coordenada b\* los cambios fueron menores ya que los valores pasaron de  $13,3 \pm 0,66$  a  $-1,61 \pm 0,07$ .

Se analizó la relación del color de la piel del fruto con el estado de madurez de este en los 3 niveles identificados subjetivamente a través de la vista, donde se observó la predominancia de colores verdes en el estado 1 verde o inmaduro debido a la alta concentración de clorofilas en comparación con el estado de madurez 2 semimaduro y 3 maduro. Estos resultados concuerdan con lo expuesto por el Instituto de investigaciones científicas SINCHI (2018) quienes manifiestan la maduración del fruto está relacionado con el color, ya que los frutos inmaduros pasan de color verde a verde limón con manchas púrpuras en la superficie hasta llegar a tener un color púrpura en su totalidad con el transcurso de la maduración.

A media del avance del estado de madurez del fruto, el contenido de clorofila disminuye e incrementa la concentración de antocianinas, las cuales se encuentran en altos niveles en el estado maduro del fruto, siendo responsables del color púrpura. Una tendencia similar fue reportada por Dalgo *et al.*, (2014) quienes determinaron en el mortiño el contenido de clorofila y antocianinas en diferentes estados de madurez, donde la concentración de clorofila descendió desde el estado de madurez inicial de 0,075 mg/g

a 0,019 mg/g en el mortiño en estado maduro. Mientras la concentración de antocianinas en el mortiño verde fue de 41 mg/kg, el cual a medida del avance del estado de madurez incrementó a un promedio de 75 a 450 mg/kg en el fruto maduro.

#### 4.2. Compuestos bioactivos y capacidad antioxidante

Se ha reportado que el açaí posee un alto contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante. “Los cambios en la composición están relacionados con el estado de madurez del fruto” (Instituto nacional de investigaciones SINCHI, 2018, p. 19). Durante el transcurso de la maduración cambia el contenido de compuestos bioactivos, ya que en frutos verdes existe alto contenido fenólico, mientras durante la maduración el contenido de antocianinas aumenta (Gordon *et al.*, 2012).

**Tabla 12**

*Valores medios del contenido de polifenoles (TPC), flavonoides (TFC) y antocianinas (TAC).*

Estado comestible	Estado de madurez	Polifenoles (mg GAE/g)	Flavonoides (mg CAT/g)	Antocianinas (mg/100g)
Pulpa	Tierno	74,13 ± 3,40	42,31 ± 1,29	2,1 ± 1,40
	Semi maduro	45,87 ± 1,71	36,47 ± 1,71	22,25 ± 0,59
	Maduro	33,20 ± 2,18	33,03 ± 2,18	90,16 ± 2,16
Piel	Tierno	121,81 ± 2,55	60,13 ± 2,55	4,27 ± 1,11
	Semi maduro	91,44 ± 1,05	38,82 ± 4,11	19,85 ± 0,46
	Maduro	51,50 ± 2,17	27,00 ± 0,04	99,59 ± 0,93

*Nota:* Los resultados se expresan como media ± estándar (DE) (n=3).

Los resultados obtenidos en la Tabla 12 muestran que el contenido de polifenoles disminuyó considerablemente a medida del avance del estado de madurez de 74,13 ± 3,40 mg GAE/g en la pulpa en estado tierno a 33,20 ± 2,18 mg GAE/g en la pulpa en estado maduro, y de 121,81 ± 2,55 mg GAE/g en la piel en estado tierno a 51,50 ± 2,17 mg GAE/g en la piel en estado maduro. El análisis de varianza ANOVA (Anexo 1) de los resultados estableció que existe un efecto del estado de madurez y parte del fruto con respecto al contenido de polifenoles ( $p < 0,05$ ).

#### 4.2.1. Cuantificación del contenido de polifenoles en el açaí

**Tabla 13**

Resultado del análisis de significancia por Tukey a partir del contenido de polifenoles (mg GAE/g) de açaí.

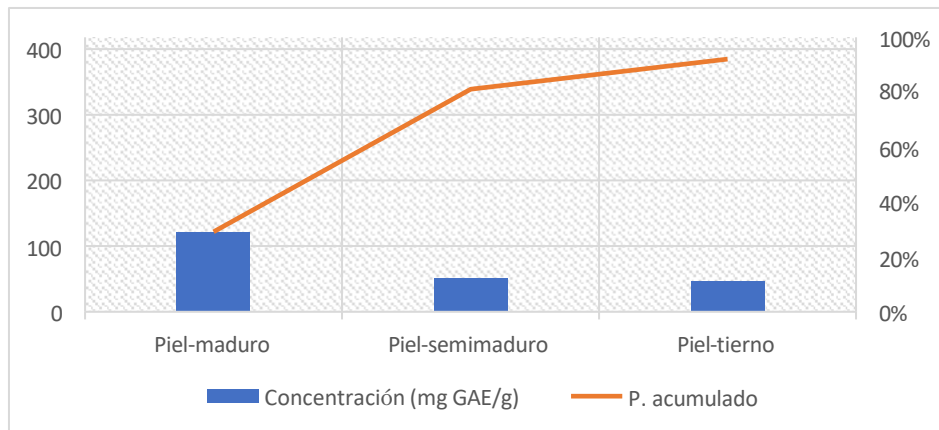
Tratamientos	Promedio $\pm$ desviación estándar	Tukey
T1	121,81 $\pm$ 2,55	A
T3	91,44 $\pm$ 1,05	B
T2	74,13 $\pm$ 3,40	C
T5	51,50 $\pm$ 2,17	C
T4	45,87 $\pm$ 1,71	D
T6	33,20 $\pm$ 2,18	D

Nota: Las letras diferentes indican que existe diferencias significativas entre los estados de madurez y parte del fruto ( $p < 0,05$ ) utilizando el análisis ANOVA seguido de un análisis Tukey.

Los resultados obtenidos en la Tabla 13 muestran que la composición de polifenoles cambia durante la maduración, lo que se confirma lo expuesto por Avilés *et al.*, (2017) quienes manifiestan que el contenido de polifenoles varía de acuerdo con las condiciones ambientales, estado de madurez, ubicación geográfica y tipo de suelo. Así como también con lo expuesto por Concellón *et al.*, (2011) quienes mencionan que el alto contenido de polifenoles en estados de madurez inicial o tierno se debe a las reacciones bioquímicas en el fruto por lo que hay mayor contenido durante el desarrollo de este, debido a que los ácidos fenólicos cumplen con la función protectora de la semilla durante su crecimiento. Datos similares fueron reportados por Rojano *et al.*, (2011) en frutos maduros de açaí colombiano, se cuantificó un contenido total de 31,72 mg ácido gálico/g de muestra liofilizada. Por otro lado, Quiñones (2018) también cuantificó el contenido de polifenoles en açaí peruano donde obtuvo valores inferiores a los reportados 26,18 mg ácido gálico/g de muestra liofilizada. Los resultados obtenidos confirman lo expuesto por otros autores en investigaciones similares donde también se identificó que durante el estado inmaduro del fruto existe una mayor concentración de polifenoles, y disminuye el contenido cuando el fruto empieza el estado maduro (Correales, 2022).

**Figura 6**

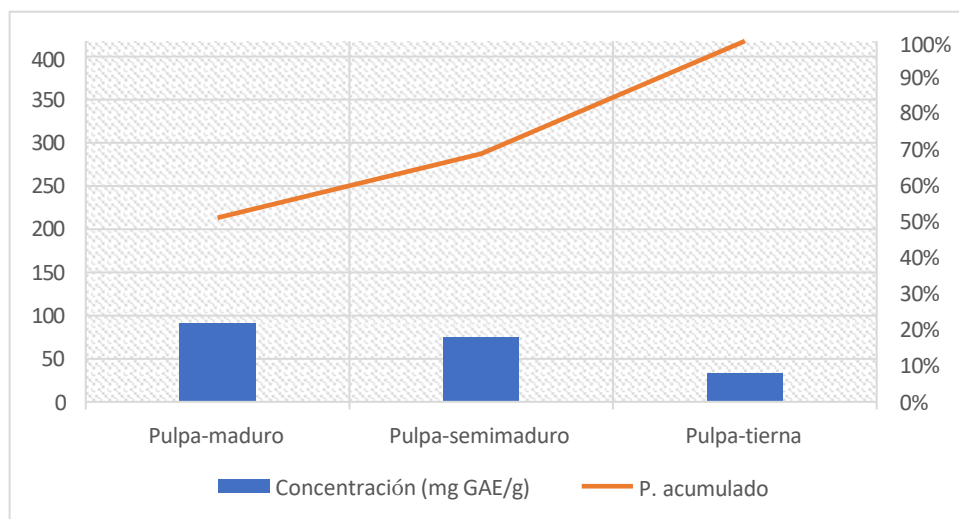
*Efecto del estado de madurez y piel del fruto sobre el contenido de polifenoles (TPC).*



Nota. El gráfico representa la concentración de polifenoles medidos en el fruto de açai con respecto al estado de madurez y piel del fruto.

**Figura 7**

*Efecto del estado de madurez y pulpa del fruto sobre el contenido de polifenoles (TPC).*



Nota. El gráfico representa la concentración de polifenoles medidos en la pulpa del fruto de açai con respecto al estado de madurez.

En las figuras 6 y 7 se observa el comportamiento de los polifenoles en los tres estados de maduración en función de la piel y pulpa del fruto el cual tuvo un  $r^2 = 0,9973$ . Se ha demostrado que el contenido de polifenoles en el açai depende del estado de maduración del fruto, siendo los extractos de la piel más altos que los de la pulpa en los tres estados

de maduración identificados. Lo que concuerda con lo expuesto por Varo (2018) quien menciona que el mayor contenido de los compuestos bioactivos de los frutos rojos se encuentra en las pieles. Según Concellón *et al.*, (2017) mencionan que durante el proceso de maduración es común que el contenido de polifenoles disminuya debido a que estos funcionan ejercen una función protectora durante el desarrollo del fruto, por lo tanto, termina cuando el fruto llega a la madurez fisiológica.

#### 4.2.2. Cuantificación del contenido de flavonoides en el açaí

**Tabla 14**

*Resultado del análisis de significancia por Tukey a partir del contenido de flavonoides (mg CAT/g) de açaí.*

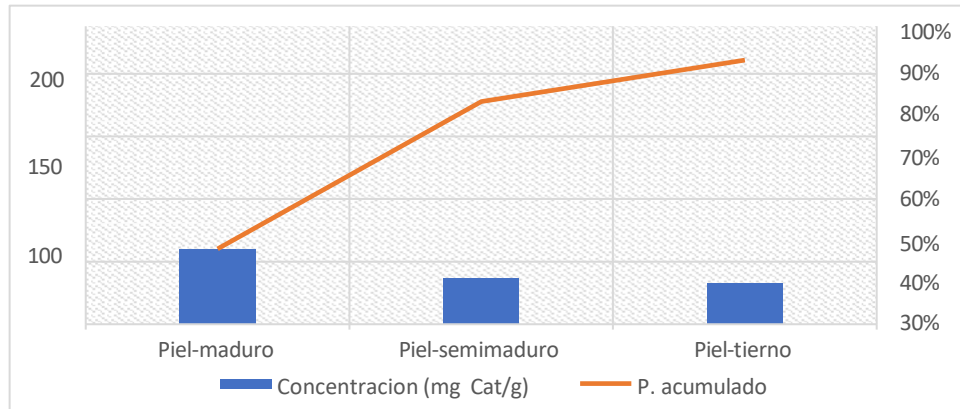
Tratamientos	Promedio $\pm$ desviación estándar (mg CAT/g)	Tukey
T1	60,13 $\pm$ 2,55	A
T2	42,31 $\pm$ 1,29	B
T3	38,82 $\pm$ 4,11	B
T4	36,47 $\pm$ 1,71	B
T6	33,03 $\pm$ 2,18	C
T5	27,00 $\pm$ 0,04	C

Nota. Las letras diferentes indican que existe diferencias significativas entre los estados de madurez y parte c del fruto ( $p < 0,05$ ) utilizando el análisis ANOVA seguido de un análisis Tukey.

La Tabla 14 muestra los resultados del contenido de flavonoides en el fruto de açaí. Se observa que existe efecto del estado de madurez y parte del fruto con respecto al contenido de flavonoides, lo cual fue corroborado al realizar un análisis de varianza ANOVA (Anexo 2) donde se encontró diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

**Figura 8**

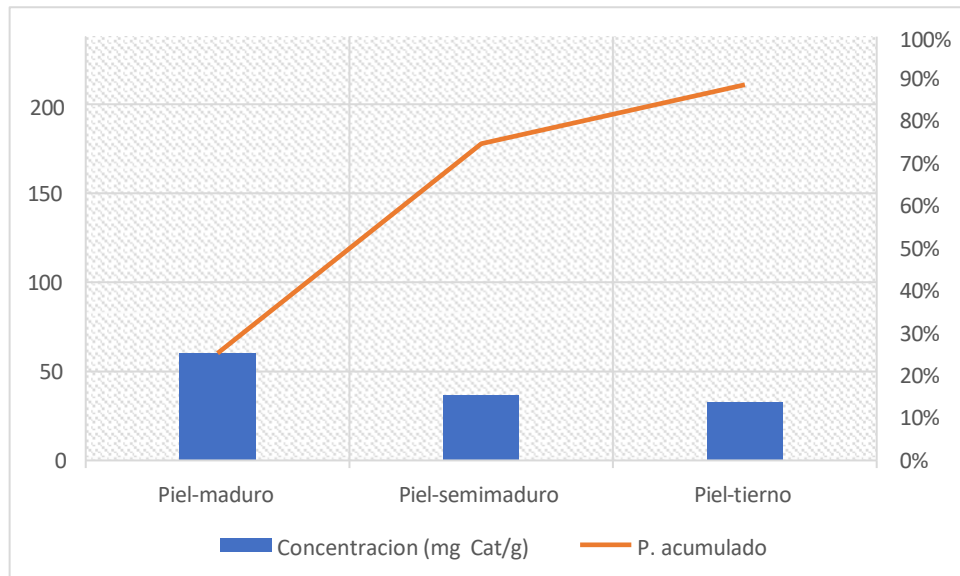
*Efecto del estado de madurez y piel del fruto sobre el contenido de flavonoides (TPC).*



*Nota.* El gráfico representa la concentración de flavonoides medidos en el fruto de açaí con respecto al estado de madurez y piel del fruto.

**Figura 9**

*Efecto del estado de madurez y pulpa del fruto sobre el contenido de flavonoides (TPC).*



*Nota.* El gráfico representa la concentración de flavonoides medidos en el fruto de açaí con respecto al estado de madurez y pulpa del fruto.

Las figuras 8 y 9 muestran el comportamiento de los flavonoides en los tres estados de maduración con respecto a la piel y pulpa del fruto el cual tuvo un  $r^2 = 0,9979$ . Se observó una variación de  $60,13 \pm 2,55$  mg CAT/g en la piel en estado tierno a  $27,00 \pm 0,04$  mg

CAT/g en la piel en estado maduro, y de  $42,31 \pm 1,29$  mg CAT/g en la pulpa en estado tierno a  $33,03 \pm 2,18$  mg CAT/g en la pulpa en estado maduro, observando una mayor concentración en la piel en estado tierno  $60,13 \pm 2,55$  mg CAT/g a comparación de los demás tratamientos, demostrando que los flavonoides disminuyen a medida del desarrollo del estado de madurez del fruto, lo cual es atribuido al equilibrio que ocurre entre la biosíntesis y metabolismo del fruto (Samaniego *et al.*, 2020). Estos resultados son similares a los obtenidos por Coutinho *et al.*, (2017) y Pacheco-Palencia *et al.*, (2009), quienes reportaron datos que oscilan entre 12,05 mg/100g y 205,6 mg/100g respectivamente para el contenido de flavonoides en açai, estos valores varían debido a la existencia de factores tales como condiciones climáticas, variedad, cosecha y fase de maduración. El Instituto Sinchi (2018) afirma que la concentración de flavonoides además del estado de madurez del fruto depende del suelo y factores ambientales que condicionan al contenido de los mismos, debido a que los flavonoides se encuentran involucrados a la calidad del suelo, procesos de fotosíntesis, transferencia de energía y fotosensibilización.

#### 4.2.3. Cuantificación del contenido de antocianinas en el açai

**Tabla 15.** Resultado del análisis de significancia por Tukey a partir del contenido de antocianinas mg/100g de açai.

Tratamientos	Promedio $\pm$ desviación estándar (mg/100g)	Tukey
T6	$99,59 \pm 0,93$	A
T3	$90,16 \pm 2,16$	B
T2	$22,25 \pm 0,59$	B
T5	$19,85 \pm 0,46$	B
T4	$4,27 \pm 1,11$	C
T5	$2,1 \pm 1,40$	C

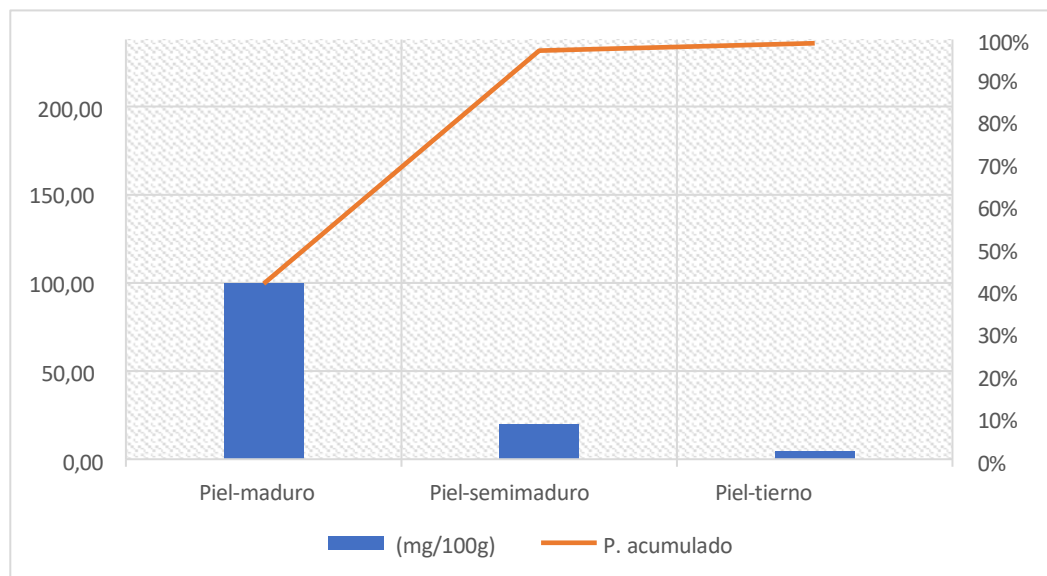
*Nota.* Las letras diferentes indican diferencias significativas entre estados de madurez y parte del fruto ( $p < 0,05$ ) utilizando un análisis ANOVA seguido de un análisis Tukey.

La Tabla 15, muestra el contenido de antocianinas de los frutos de açai en tres estados de madurez de dos partes comestibles. Donde se observa que existe una tendencia creciente

a medida del avance del estado de madurez, lo cual se puede relacionar directamente con el cambio de coloración del recubrimiento del fruto. El contenido de antocianinas en la piel fue mayor al de la pulpa debido a que las antocianinas son las principales responsables de otorgar el color característico al fruto, consecuentemente se tuvo una mayor concentración en el fruto maduro, debido a que la concentración de estas se ve influenciado por la región de cultivo, condiciones climáticas y la exposición al sol durante el proceso de maduración (Corona *et al.*, 2020).

**Figura 10**

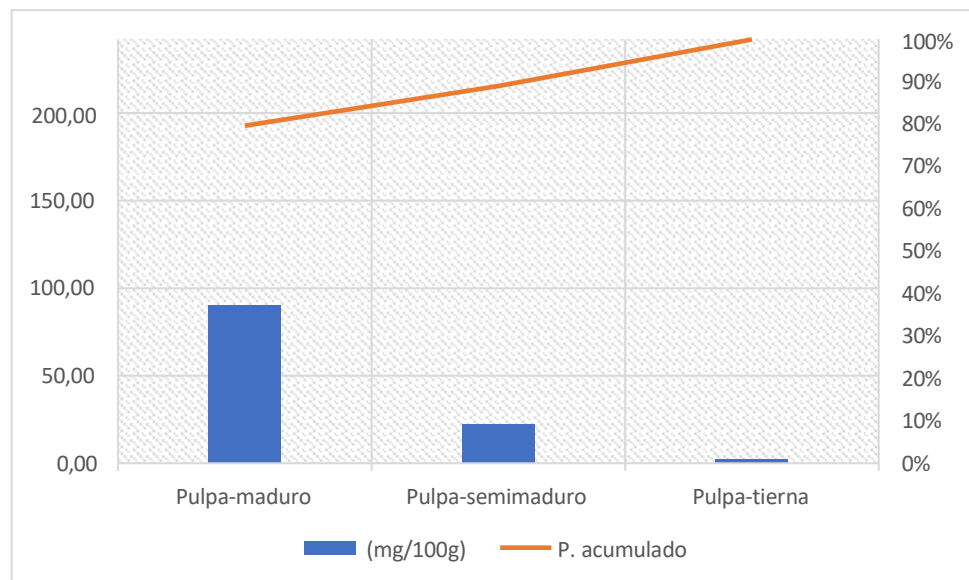
*Efecto del estado de madurez y piel del fruto sobre el contenido de antocianinas (TAC).*



Nota. El gráfico representa la concentración de antocianinas medidos en el fruto de açaí con respecto al estado de madurez y piel del fruto.

**Figura 11**

*Efecto del estado de madurez y pulpa del fruto sobre el contenido de antocianinas (TAC).*



Nota. El gráfico representa la concentración de antocianinas medidos en el fruto de açaí con respecto al estado de madurez y pulpa del fruto.

Como se muestra en las figuras 8 y 9 el contenido de antocianinas en los frutos de açaí aumentó de  $2,1 \pm 1,40$  mg/100g en la pulpa en estado tierno, y de  $4,28 \pm 1,11$  mg/100g en la piel en estado tierno a  $90,16 \pm 2,17$  mg/100g en la pulpa y  $99,59 \pm 0,93$  mg/100g en la piel del fruto en estado maduro respectivamente. La piel de açaí en estado maduro exhibió el mayor contenido de antocianinas  $99,59 \pm 0,93$  mg/100g, mientras la pulpa de açaí en estado tierno mostró el valor más bajo  $2,1 \pm 1,40$  mg/100g. Se realizó un análisis de varianza ANOVA (Anexo 3) donde se determinó que existe un efecto del estado de madurez y parte del fruto con respecto al contenido de antocianinas ( $p < 0,05$ ).

Los resultados obtenidos muestran una tendencia similar a otras investigaciones, donde las biomoléculas características de las antocianinas son sintetizadas durante el proceso de maduración especialmente en frutos rojos. Sin embargo, la concentración de antocianinas en los frutos de açaí fue menor a la determinada por Rojano *et al.*, (2011) y Sanabria y Sangrosis (2007), quienes reportaron valores de 268,5 mg/100g a 730 mg/100g, lo cual según Hurtado y Pérez (2014), puede deberse a que aquellos frutos

con pH entre 5 a 7 como el açaí que posee un pH de 5,45 provoca que las antocianinas sean inestables debido a la posición del esqueleto de antocianidina durante condiciones de almacenamiento postcosecha. Mientras otros investigadores afirman que la variación del contenido de antocianinas también se debe a las condiciones ambientales y nutrientes del suelo que pueden afectar al metabolismo del fruto y la concentración del pigmento. El Instituto Sinchi (2018) determinó que la concentración de antocianinas de frutos que crecen en palmas en zonas inundadas es de  $20,03 \pm 3,33$  mg/100g, por el contrario, en tierra firme el contenido es de alrededor de  $108,95 \pm 2,1951$  mg/100g. Lo cual se relaciona con el valor obtenido para la piel del fruto en estado maduro  $99,59 \pm 0,93$ , ya que el mismo fue cosechado de una palma en estado firme.

El contenido de compuestos fenólicos de los frutos de açaí provenientes de la provincia de Sucumbíos se comparan favorablemente con los valores obtenidos por otros autores. A nivel general se ha demostrado que estos compuestos varían de acuerdo con la parte del fruto y estado de madurez, ya que a nivel estadístico se encontró diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) dentro de los resultados obtenidos. Según Wang *et al.*, (2015) las variaciones en el contenido fenólico de los frutos pueden deberse a la variedad, parte del fruto, lugar de cultivo y método de extracción. El mayor contenido de compuestos se observó en la piel del fruto; polifenoles  $51,50 \pm 2,17$  mg GAE/g, flavonoides  $27,00 \pm 0,04$  mg CAT/g y antocianinas  $131,25 \pm 2,82$  mg/100g, mientras en la pulpa se cuantificó un menor contenido de compuestos fenólicos; polifenoles  $33,20 \pm 2,18$  mg GAE/g, flavonoides  $33,03 \pm 2,18$  mg CAT/g y antocianinas  $105,22 \pm 1,13$  mg/100g, debido a que los compuestos fenólicos en la piel ejercen una función protectora del fruto de algunos agentes oxidantes, luz UV, defensa contra herbívoros e infecciones causadas por microorganismos. Evaluación de la actividad antioxidante mediante el método ABTS

**Tabla 16**  
*Valores medios de la capacidad antioxidante evaluada por los métodos ABTS y FRAP.*

Parte del fruto	Estado de madurez	ABTS ( $\mu\text{mol TE/g}$ )	FRAP ( $\mu\text{mol TE/g}$ )
-----------------	-------------------	-------------------------------	-------------------------------

	Tierno	1336,96 ± 89,25	880,58 ± 19,72
	Semi maduro	835,75 ± 6,96	544,10 ± 7,32
Pulpa	Maduro	402,40 ± 10,38	315,43 ± 4,96
	Tierno	1474,97 ± 35,54	1033,86 ± 19,98
	Semi maduro	1048,63 ± 23,40	881,42 ± 10,26
Piel	Maduro	463,22 ± 24,92	430,94 ± 9,23

*Nota.* Los resultados se expresan como media ± estándar (DE) (n=3).

La Tabla 16 muestra los resultados obtenidos de la capacidad antioxidante del açaí realizada por los métodos ABTS y FRAPP, se observa que durante la maduración del fruto la capacidad antioxidante disminuye en las dos partes comestibles tanto en la piel como en la pulpa del fruto. Se realizó un análisis de varianza ANOVA donde se determinó que existe efecto del estado de madurez y parte del fruto con respecto a la capacidad antioxidante ( $p < 0,05$ ).

### **Tabla 17**

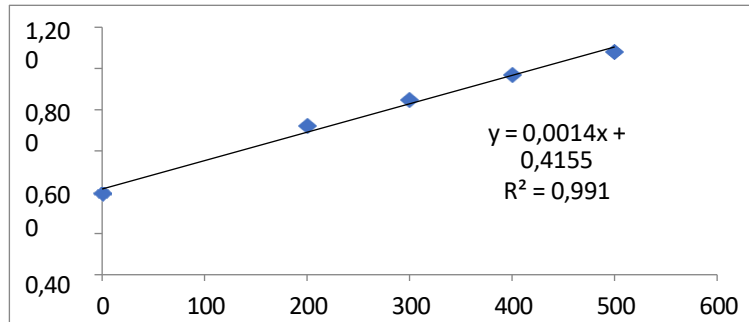
*Resultado del análisis de significancia por Tukey a partir de la capacidad antioxidante ABTS ( $\mu\text{mol TE/g}$ ) de açaí.*

Tratamientos	Promedio ± desviación estándar	Tukey
T1	1474,97 ± 35,54	A
T2	1336,96 ± 89,25	B
T3	1048,63 ± 23,40	C
T4	835,75 ± 6,96	D
T5	463,22 ± 24,92	E
T6	402,40 ± 10,38	E

*Nota.* Las letras diferentes indican diferencias significativas entre estados de madurez y parte del fruto ( $p < 0,05$ ) utilizando un análisis ANOVA seguido de un análisis Tukey.

**Figura 12**

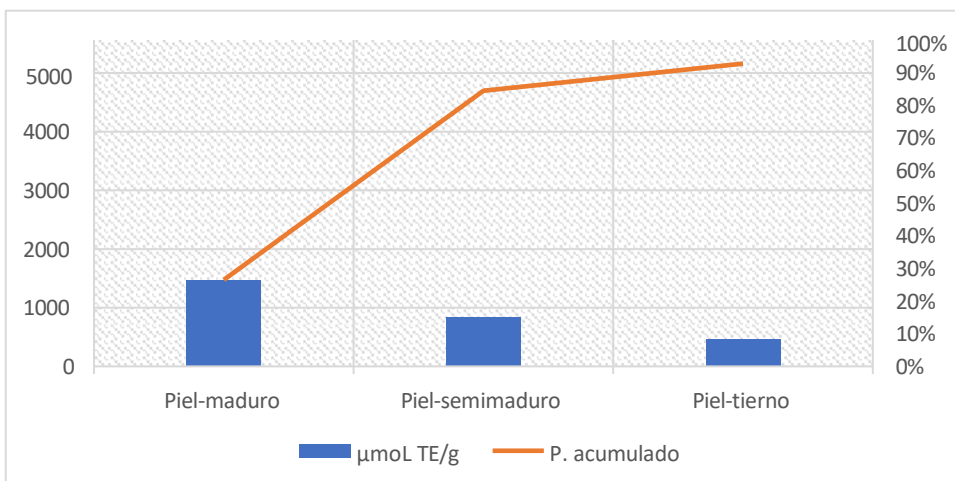
Curva de absorbancia empleada para la cuantificación de la capacidad antioxidante por el método ABTS.



La Tabla 17 muestra la capacidad antioxidante evaluada por el método ABTS donde se obtuvo mayores valores en la piel del fruto en el estado de madurez tierno o verde  $1474,97 \pm 35,54 \mu\text{mol TE/g}$ , y varió hasta  $40,40 \pm 10,38 \mu\text{mol TE/g}$  en la piel en estado maduro, mientras en la pulpa en estado tierno varió de  $1336,96 \pm 89,25 \mu\text{mol TE/g}$  a  $402,40 \pm 10,38 \mu\text{mol TE/g}$  en la pulpa en estado maduro, de los 6 tratamientos evaluados el tratamiento de la piel de açaí en estado tierno presentó la mayor capacidad antioxidante  $1474,97 \pm 35,54 \mu\text{mol TE/g}$ , confirmando que la capacidad antioxidante disminuye durante la maduración del fruto.

**Figura 13**

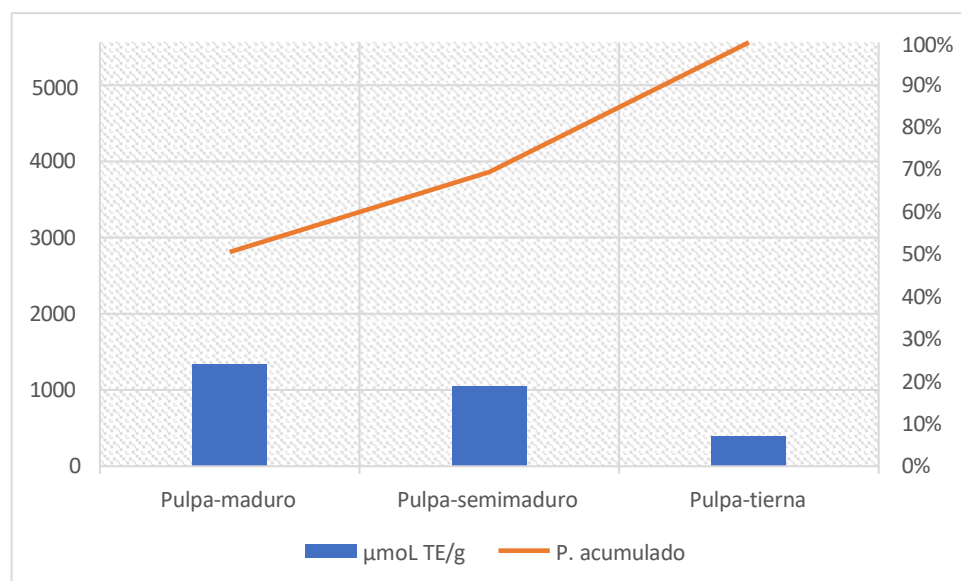
Efecto del estado de madurez y piel del fruto sobre la capacidad antioxidante por el método ABTS.



Nota. El gráfico representa la concentración de antioxidantes medidos en el fruto de açaí con respecto al estado de madurez y piel del fruto.

**Figura 14**

*Efecto del estado de madurez y pulpa del fruto sobre la capacidad antioxidante por el método ABTS.*



Nota. El gráfico representa la concentración de antioxidantes medidos en el fruto de açai con respecto al estado de madurez y pulpa del fruto.

#### 4.2.4. Evaluación de la actividad antioxidante mediante el método FRAPP

**Tabla 18**

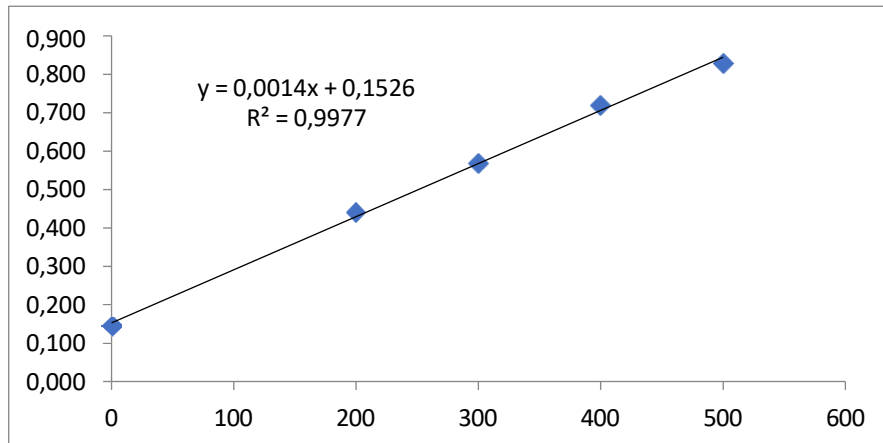
*Resultado del análisis de significancia por Tukey a partir de la capacidad antioxidante FRAP (μmol TE/g) de açai.*

Tratamientos	Promedio ± desviación estándar FRAP	Tukey
T1	1033,86 ± 19,98	A
T2	880,58 ± 19,72	B
T3	881,42 ± 10,26	B
T4	544,10 ± 7,32	C
T5	430,94 ± 9,23	D
T6	315,43 ± 4,96	E

Nota. Las letras diferentes indican diferencias significativas entre estados de madurez y parte del fruto ( $p < 0,05$ ) utilizando un análisis ANOVA seguido de un análisis Tukey.

**Figura 15**

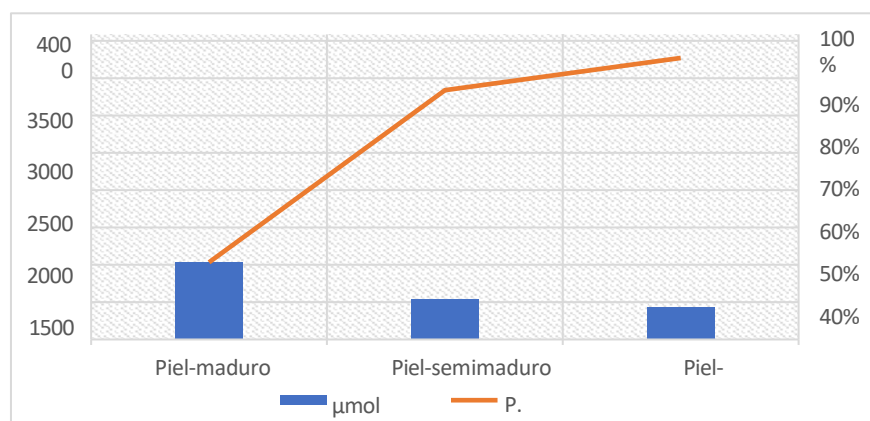
*Curva de absorbancia empleada para la cuantificación de la capacidad antioxidante por el método FRAP.*



En la Tabla 18 se observa una tendencia similar en la capacidad antioxidante evaluada por el método FRAP, debido a que se registró mayor capacidad antioxidante en la piel del fruto en estado tierno  $1033,86 \pm 19,98 \mu\text{mol TE/g}$ , se realizó un análisis de varianza ANOVA donde se determinó que existe efecto del estado de madurez y parte del fruto con respecto a la capacidad antioxidante del fruto ( $p < 0,05$ ) evaluada por el método FRAP.

**Figura 16**

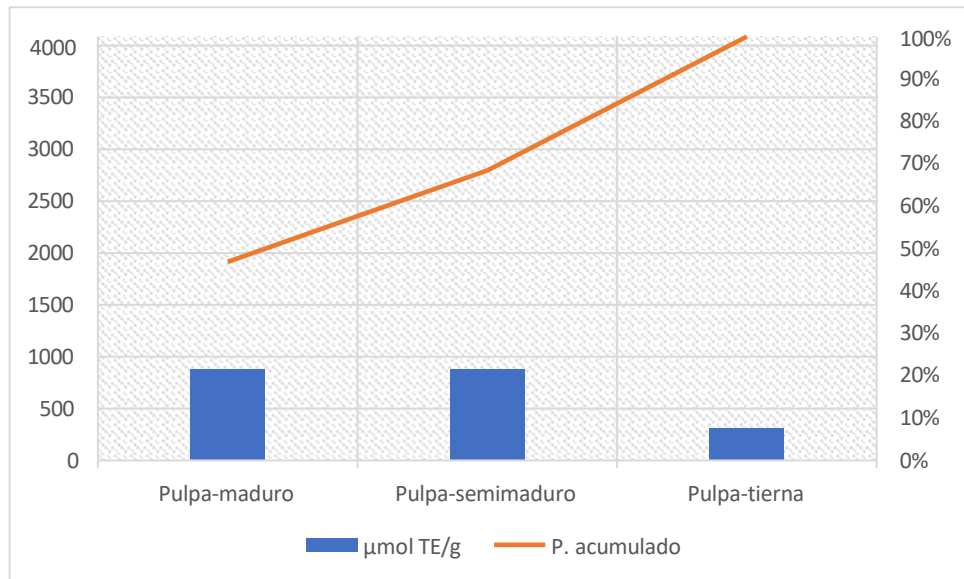
*Efecto del estado de madurez y piel del fruto sobre la capacidad antioxidante por el método FRAP.*



*Nota.* El gráfico representa la concentración de antioxidantes medidos en el fruto de açaí con respecto al estado de madurez y piel del fruto.

**Figura 17**

*Efecto del estado de madurez y pulpa del fruto sobre la capacidad antioxidante por el método FRAP*



Nota. El gráfico representa la concentración de antioxidantes medidos en el fruto de açaí con respecto al estado de madurez y pulpa del fruto.

Las figuras 13 y 14 representan los resultados obtenidos para la piel de açaí en estado tierno pasaron de  $1033,86 \pm 19,98 \mu\text{mol TE/g}$  a  $430,94 \pm 9,23$  en estado maduro, mientras en la pulpa se observó una disminución de  $880,58 \pm 19,72 \mu\text{mol TE/g}$  en estado tierno a  $315,43 \pm 4,96 \mu\text{mol TE/g}$  en la pulpa en estado maduro. El valor de la actividad antioxidante obtenido por ambos métodos fue superior al informado por Rojano *et al.*, (2011) y Dos Santos *et al.*, (2008), quienes obtuvieron valores de  $40330 \pm 19,65 \mu\text{mol TE/100g}$  a  $830 \pm 19,65 \mu\text{mol TE/g}$  de actividad antioxidante respectivamente.

En ambos ensayos la mayor capacidad antioxidante se registró en la piel del fruto de açaí en estado tierno, lo cual se debe a que en la piel del fruto predominan los compuestos fenólicos tales como polifenoles, flavonoides y antocianinas que protegen al fruto de factores externos como plagas, pesticidas y radiación UV (Corona *et al.*, 2020). Por otro lado, esta capacidad antioxidante de la piel del fruto está estrechamente relacionada a la concentración de los compuestos bioactivos, vitamina C y de las fases de maduración que ejercen la función protectora del fruto especialmente de la piel que aseguran la evolución del mismo (Rincon y Garzón, 2012).

La capacidad antioxidante también disminuye debido al desarrollo del estado de madurez del fruto, debido a que los compuestos fenólicos son los principales contribuyentes de dicha capacidad. Los resultados obtenidos para el fruto de açái concuerdan con los descritos por otros autores (Fabio *et al.*, 2013).

Con los datos obtenidos de la capacidad antioxidante por los métodos FRAP y ABTS, se observó que existe una mayor capacidad antioxidante por el método de ABTS a comparación del método FRAP, lo cual se atribuye a que cada método posee diferentes mecanismos de acción. El método ABTS genera radicales que son aplicables a sistemas antioxidantes hidrófilos y lipófilos, mientras FRAP se caracteriza por la capacidad reductora por la transferencia de electrones (Zapata *et al.*, 2013; Mercado *et al.*, 2013).

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

Las coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  aumentan a medida que avanza el estado de madurez de los frutos ya que los mismos cambian de coloración debido al oscurecimiento natural tornándose púrpuras por la disminución de los colores verdes del estado tierno del fruto. La coordenada  $b^*$  tuvo valores negativos debido a la maduración del fruto y al cambio de coloración a tonalidades azules características de las antocianinas que predominan en el estado maduro.

Las características morfológicas, características fisicoquímicas de sólidos solubles totales y pH, y contenido de compuestos fenólicos (antocianinas) denotaron un incremento a medida que el estado de madurez del fruto aumenta, al contrario de la acidez titulable, contenido de polifenoles, flavonoides y capacidad antioxidante que disminuyen con la maduración del fruto.

El contenido de compuestos bioactivos tales como polifenoles, flavonoides y capacidad antioxidante cambian durante la maduración del fruto debido a que los mismos ejercen una función protectora, por lo que no necesariamente pueden ser aprovechados en estado maduro sino también se pueden utilizar sus extractos en estado verde o tierno para la industria cosmética o de aditivos.

La concentración de antocianinas aumenta durante el proceso de maduración que puede ser evidenciado en el color púrpura del fruto en estado maduro, lo que le proporciona un potencial nutracéutico.

La capacidad antioxidante evaluada por los métodos FRAPP y ABTS fue mayor en la piel del fruto en estado tierno o verde debido a la relación directa de los compuestos bioactivos que ejercen una función protectora en el fruto para permitir el desarrollo del mismo, se utilizaron dos técnicas para evaluar la capacidad antioxidante debido a que

cada una de las técnicas utilizan compuestos diferentes y operan por diversos mecanismos

## **Recomendaciones**

Tomar en cuenta factores de condiciones ambientales, ubicación geográfica, tipo de suelo época de cosecha y método de conservación durante la cosecha y postcosecha para identificar cómo interfieren estos factores en el contenido de compuestos bioactivos del fruto.

Realizar una caracterización de los tipos de polifenoles que posee el açáí ecuatoriano tomando en cuenta el lugar de crecimiento de la palma ya que puede incidir en la concentración de los mismos.

Elaborar un alimento a base del fruto e identificar la estabilidad de los compuestos bioactivos durante la aplicación de procesos tecnológicos.

## REFERENCIAS

- Castillo, Y., Hernández, M., y Lares, M. (2019). Componentes bioactivos del Asai. Obtenido de <http://ve.scielo.org/pdf/avft/v36n3/art02.pdf>
- Castro, G., Orellana, P., y Pajares, Y. (2016). Comparación de dos métodos para la evaluación de la capacidad reductora del hierro. Obtenido de <https://biblioteca-farmacia.usac.edu.gt/tesis/QB1138.pdf>
- Correales, J. (2022). Revisión bibliográfica de los polifenoles del asaí y su estabilidad química en los procesos de extracción de pulpa realizado en Colombia. Obtenido de <https://repository.udca.edu.co/bitstream/handle/11158/5004/CorrealesTF.pdf?sequence=1>
- Cruz, J. (2014). Determinación de fenoles y flavonoides de extractos de hojas de planta con actividad antioxidante. Obtenido de <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/30097/javier%20eduardo%20cruz%20espinoza.pdf?sequence=1&isallowed=y>
- Espinoza, M., & Olivo, J. (2019). Determinación de las propiedades del Palmiche (euterpe oleracea martius), para su posterior aplicación en propuestas culinarias. Obtenido de [file:///C:/users/cliente/downloads/bingq-gs-19p70%20\(1\).pdf](file:///C:/users/cliente/downloads/bingq-gs-19p70%20(1).pdf)
- Falla, S. (2020). Evaluación técnico financiera para la producción del aceite de açaí partiendo de los residuos del proceso de despulpado para green and inclusive group sas. Obtenido de <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8003/1/6111688-2020-II-IQ.pdf>
- FAO. (2013). Lineamientos para la elaboración de la declaración de manejo para el aprovechamiento de frutos de palmeras silvestres en tierras de comunidades nativas y comunidades campesinas. Obtenido de <https://faolex.fao.org/docs/pdf/per173729anx.pdf>
- Gamez-Villazana, J. (2022). Avances en la determinación de compuestos bioactivos en

- alimentos. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/358738872\\_avances\\_en\\_la\\_determinacion\\_de\\_compuestos\\_bioactivos\\_en\\_alimentos](https://www.researchgate.net/publication/358738872_avances_en_la_determinacion_de_compuestos_bioactivos_en_alimentos)
- García, E., Fernández, I., y Fuentes, A. (2012). Determinación de polifenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/52056/Garcia%20Mart%c3%adnez%20et%20al.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- García, P. (2016). Técnicas analíticas avanzadas para la determinación de compuestos bioactivos en muestras vegetales. Obtenido de <https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/43689/26119225.pdf>
- Garzón, A., Narváez, C., Vincken, J., y Gruppen, H. (2017). Polyphenolic composition and antioxidant activity of açai (*Euterpe oleracea* Mart.) from Colombia. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.107>
- Henríquez, C. (2015). Proyecto de Factibilidad Económico - Financiero para la fabricación y comercialización de productos cosméticos a base de la Baya Açai. Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/4877/1/t-ucsg-pre-ecog-186.pdf>
- Indecopi. (2019). Acaí. Obtenido de <https://intranetweb.indecopi.gob.pe/documents/20791/3180041/Acai.pdf/69d4fa7f-fed9-4c49-fdd4-0af4d2984257>
- Kuskoski, M., Asuero, A., & Troncoso, J. (2005). Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. Obtenido de <https://www.scielo.br/j/cta/a/b58t9s5zllxjbl5pvzzxhcf/?format=pdf&lang=es>
- Lichtenthaler, R., Rodrigues, R., Maia, J., Papagiannopoulos, M., Heinz, F., & Friedhelm, M. (2009). Total oxidant scavenging capacities of *Euterpe oleracea* Mart. (Açaí) fruits. Obtenido de <https://doi.org/10.1080/09637480500082082>
- MAE. (2012). Normativa marco legal ley de gestión ambiental. Obtenido de <https://www.ambiente.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2012/09/constitucion>

n\_de\_bolsillo\_final.pdf

MAE. (2017). Política nacional para la gestión de la vida silvestre. Obtenido de <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/04/acuerdo-029-politica-nacional-para-la-gestion-de-vida-silvestre.pdf>

Monedero, J. (2016). Identificación y caracterización de flavonoides por espectrometría de masas en melazas residuales de un ingenio azucarero. Obtenido de [https://repository.icesi.edu.co/biblioteca\\_digital/bitstream/10906/81090/1/tg01522.pdf](https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/81090/1/tg01522.pdf)

Muñoz, A., Ramos, F., Alvarado, C., y Castañeda, B. (2007). Evaluación de la capacidad antioxidante y contenido de compuestos fenólicos en recursos vegetales promisorios. Obtenido de [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=s1810-634x2007000300003](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s1810-634x2007000300003)

Olivo, J. (2016). La protección de la biodiversidad en el derecho ambiental mexicano: un análisis de la legislación desde el enfoque de especies amenazadas y su hábitat crítico. Obtenido de [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0041-86332016000300347](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0041-86332016000300347)

Orjuela, A. (2015). Determinación de la actividad antioxidante de extractos y fracciones de hojas de *Chromolaena*. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/326430784.pdf>

Ortega, E., Jurado, B., Ramos, E., Zamudio, K., & Aparicio, E. (2015). Caracterización fisicoquímica y evaluación de la actividad antioxidante del aceite de *Euterpe precatoria* Mart. obteniendo por diferentes métodos de extracción. Obtenido de <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v81n1/a05v81n1.pdf>

Ortega, E., Jurado, B., Ramos, E., Zamudio, K., y Aparicio, E. (2015). Caracterización fisicoquímica y evaluación de la actividad antioxidante del aceite de *Euterpe precatoria* Mart, Obtenido por diferentes métodos de extracción. Obtenido de <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v81n1/a05v81n1.pdf>

- Ramírez, C. (2020). *Evaluación de la extracción de flavonoides a partir de la cáscara de naranja*. Obtenido de <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8180/1/6151508-2020-2-IQ.pdf>
- Ribeiro, A., Chaves, A., Resende, É., Costa, M., Soares, M., y Caliari, M. (2019). *Propiedades estructurales y fisicoquímicas de la pulpa de açaí liofilizada (Euterpe oleracea Mart.)*. Obtenido de <https://doi.org/10.1590/fst.34818>
- Rojano, A., Zapata, I., Alzate, A., Mosquera, A., Cortés, F., y Gamboa, L. (2011). *Polifenoles y Actividad Antioxidante del Fruto Liofilizado de Palma Naidi (Açaí Colombiano) (Euterpe oleracea Mart.)*. Medellín. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v64n2/v64n2a18.pdf>
- Romao, M., Freitas, G., Barcellos, I., Soares, R., Teixeira, D., Soares, R., . . . Castro, Á. (2020). *El extracto de semilla de açaí (Euterpe oleracea Mart.) protege contra la esteatosis hepática y la fibrosis en ratones alimentados con una dieta rica en grasas: papel del sistema local de renina-angiotensina, estrés oxidativo e inflamación*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0753332221004121>
- Ruiz, M. (2020). *Determinación de la actividad antioxidante*. Obtenido de <https://bonga.unisimon.edu.co/bitstream/handle/20.500.12442/7986/Gu%C3%ADa%20de%20Determinaci%C3%B3n%20de%20la%20actividad%20antioxidante.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Vallejo, P. (2015). *Desarrollo y evaluación de una barra de fruta a partir del fruto de asaí (Euterpe precariota)*. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/50026/1/tesis%20pamela%20vallejo%20final.pdf>

## ANEXOS

### Anexo 1

#### Figura 18

*Análisis de varianza contenido de polifenoles.*

##### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Concentracion (mg GAE/g)	18	1,00	0,99	3,30

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	16318,07	5	3263,61	618,87	<0,0001
Estado comestible	6221,33	1	6221,33	1179,73	<0,0001
Estado de madurez	9291,49	2	4645,75	880,95	<0,0001
Estado comestible*Estado d..	805,25	2	402,62	76,35	<0,0001
Error	63,28	12	5,27		
Total	16381,35	17			

#### Figura 19

*Análisis estadístico Tukey al 5% del contenido de polifenoles.*

**Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=2,35866**

Error: 5,2735 gl: 12

Estado comestible Medias n E.E.

Piel	88,25	9	0,77	A
------	-------	---	------	---

Pulpa	51,07	9	0,77	B
-------	-------	---	------	---

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

**Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=3,53715**

Error: 5,2735 gl: 12

Estado de madurez Medias n E.E.

Tierno	97,98	6	0,94	A
--------	-------	---	------	---

Semi maduro	68,66	6	0,94	B
-------------	-------	---	------	---

Maduro	42,35	6	0,94	C
--------	-------	---	------	---

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

## Anexo 2

### Figura 20

*Análisis de varianza DBCA del contenido de flavonoides.*

#### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Concentracion (mg Cat/g)	18	0,96	0,95	6,02

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1793,17	5	358,63	62,02	<0,0001
Estado comestible	127,73	1	127,73	22,09	0,0005
Estado de madurez	1282,12	2	641,06	110,86	<0,0001
Estado comestible*Estado d..	383,33	2	191,66	33,14	<0,0001
Error	69,39	12	5,78		
Total	1862,57	17			

### Figura 21

*Análisis estadístico Tukey al 5% del contenido de flavonoides.*

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=6,29804

Error: 5,2735 gl: 12

Estado comestible	Estado de madurez	Medias	n	E.E.
Piel	Tierno	121,81	3	1,33 A
Piel	Semi maduro	91,44	3	1,33 B
Pulpa	Tierno	74,14	3	1,33 C
Piel	Maduro	51,50	3	1,33 D
Pulpa	Semi maduro	45,87	3	1,33 D
Pulpa	Maduro	33,20	3	1,33 E

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

## Anexo 3

### Figura 22

*Análisis de varianza DBCA del contenido de antocianinas.*

#### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
(mg/100g)	12	1,00	1,00	3,14

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	18997,42	5	3799,48	2451,08	<0,0001
Estado comestible	28,24	1	28,24	18,22	0,0053
Estado de madurez	18898,13	2	9449,06	6095,68	<0,0001
Estado comestible*Estado d..	71,05	2	35,53	22,92	0,0016
Error	9,30	6	1,55		
Total	19006,72	11			

### Figura 23

Análisis estadístico Tukey al 5% del contenido de antocianinas.

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,75890

Error: 1,5501 gl: 6

Estado comestible Medias n E.E.

Piel	41,24	6	0,51	A
Pulpa	38,17	6	0,51	B

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

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=2,70124

Error: 1,5501 gl: 6

Estado de madurez Medias n E.E.

Maduro	94,87	4	0,62	A
Semi maduro	21,05	4	0,62	B
Tierno	3,19	4	0,62	C

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

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=4,95507

Error: 1,5501 gl: 6

Estado comestible Estado de madurez Medias n E.E.

Piel	Maduro	99,59	2	0,88	A
Pulpa	Maduro	90,16	2	0,88	B
Pulpa	Semi maduro	22,25	2	0,88	C
Piel	Semi maduro	19,86	2	0,88	C
Piel	Tierno	4,28	2	0,88	D
Pulpa	Tierno	2,11	2	0,88	D

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

### Anexo 4

#### Figura 1

Análisis de varianza DBCA de la capacidad antioxidante.

Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
umol TE/g	18	1,00	1,00	1,95

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1258267,03	5	251653,41	1429,70	<0,0001
Estado comestible	183682,65	1	183682,65	1043,55	<0,0001
Estado de madurez	1032342,40	2	516171,20	2932,49	<0,0001
Estado comestible*Estado d..	42241,99	2	21120,99	119,99	<0,0001
Error	2112,21	12	176,02		
Total	1260379,25	17			

**Anexo 5**

Certificado del aval CIDEN



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI-  
FOREIGN AND NATIVE LANGUAGES CENTER**

Informe sobre el Abstract de Artículo Científico o  
Investigación.

**Autor:** Fernanda Lizbeth Guanochanga Llumiugsi

**Fecha de recepción del abstract:** 24 de febrero de 2025


**Fecha de entrega del informe:** 24 de febrero de 2025

El presente informe validará la traducción del idioma español al inglés si alcanza un porcentaje de: 9 – 10 Excelente.

Si la traducción no está dentro de los parámetros de 9 – 10, el autor deberá realizar las observaciones presentadas en el ABSTRACT, para su posterior presentación y aprobación.

Observaciones:

Después de realizar la revisión del presente abstract, éste presenta una apropiada traducción sobre el tema planteado en el idioma Inglés. Según la rúbrica de evaluación de la traducción en Inglés, ésta alcanza un valor de 9,5; por lo cual se valida dicho trabajo.

<p>Revisado por:</p> <p>Firmado digitalmente por JESSICA PAOLA YANDUN BECERRA Fecha: 2025.02.25 10:52:07 -0500</p>	<p>Aprobado por:</p>  <p>Firmado electrónicamente por: JUAN CARLOS LOPEZ RUANO</p>
<p>Lcda. Jéssica Yandún Becerra <b>Docente del CIDEN</b></p>	<p>MSc. Juan Carlos López <b>Director de Centros Académicos y de Formación Complementaria</b></p>