



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE BIOTECNOLOGÍA

**DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE
DE LA PULPA, SEMILLAS Y CÁSCARA DE *Salacca zalacca* EN TRES ESTADOS DE
MADUREZ**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:

Ingeniera biotecnóloga

AUTOR: NUBIA PAMELA JAMI JAMI

TUTOR: ELENA DEL ROCÍO COYAGO CRUZ

Quito -Ecuador

2025

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, Nubia Pamela Jami con documento de identificación N° 1753277787 manifiesto que:

Soy la autora y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 5 de marzo del año 2025

Atentamente,



Nubia Pamela Jami

N° 1753277787

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Nubia Pamela Jami con documento de identificación N° 1753277787, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy la autora del Trabajo experimental: “Determinación de compuestos fenólicos y actividad antioxidante de la pulpa, semillas y cáscara de *Salacca zalacca* en tres estados de madurez”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniera en Biotecnología, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 5 de marzo del año 2025

Atentamente,



Nubia Pamela Jami Jami

N° 1753277787

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Elena del Rocío Coyago Cruz con documento de identificación N° 1713762647, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE LA PULPA, SEMILLAS Y CÁSCARA DE *Salacca zalacca* EN TRES ESTADOS DE MADUREZ, realizado por Nubia Pamela Jami Jami con documento de identificación No. 1753277787, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 5 de marzo del año 2025

Atentamente,



Ing. Elena del Rocío Coyago Cruz PhD.

N° 1713762647

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO

A mis padres, quienes me brindaron la oportunidad para poder estudiar. A mi madre, por su apoyo y por acompañarme en cada paso de mi carrera. A mi padre, quien desde el cielo sigue siendo mi fortaleza y guía.

A mis hermanas, por estar siempre a mi lado. A Laurita y Domenica, mis queridas sobrinas, quienes son mi mayor inspiración y fuerza para seguir luchando.

A mi amiga Dagmar Almeida, a quien tuve la fortuna de conocer en la Universidad y que me apoyó incondicionalmente a lo largo de mi carrera. Gracias por estar siempre a mi lado.

A mi amigo el Ing. Honey, a quien conocí en poco tiempo y que me ha apoyado en cada momento. Aprecio mucho todo lo compartido. Gracias por tu amistad.

A mi querida tutora Elena del Rocío Coyago-Cruz, quien me impulso día a día a explorar el mundo de la investigación y todo lo que se encuentra detrás de cada fruta. Gracias por creer en mí.

Nubia Pamela Jami

Resumen

El presente estudio determinó la concentración de compuestos fenólicos totales y la actividad antioxidante en la pulpa, semillas y cáscara de *Salacca zalacca* (Gaertn.) Voss en tres estados de madurez y en diferentes fracciones de la fruta. Las muestras en estudio incluyeron un estado de desarrollo inicial (E1) que correspondió a 30 días luego de la floración, estado de desarrollo intermedio (E2) 90 días luego de la floración y madurez comercial (E3) 120 días luego de la floración. En muestra fresca se evaluó el peso, tamaño (diámetro longitudinal y diámetro ecuatorial), pH, sólidos solubles, acidez titulable total, humedad y cenizas. Además, se cuantificó los compuestos fenólicos totales por espectrofotometría empleando el método de Folin-Ciocalteu y la actividad antioxidante empleando el método ABTS y DPPH con lectura en microplacas. Los resultados mostraron diferencias significativas entre las diferentes fracciones (pulpa, cáscara y semillas), al igual que con los estados de madurez. Así, las semillas mostraron los mayores valores de pH (6,4 en E2 y E3); la pulpa en sólidos solubles (20,3 °Brix en E3), acidez titulable (0,9% en E2), humedad (80,9% en E1), fenoles totales (6295,9 mg EAG/100 g PS en E1) y actividad antioxidante por ABTS (99,9 % de inhibición en E2), mientras en la cáscara el contenido de cenizas (3,1% en E3) y actividad antioxidante por DPPH (97,5 % de inhibición en E2). Estos resultados enfatizan la importancia del estado de madurez y la fracción en estudio al evaluar la calidad comercial y las características funcionales de esta fruta.

Palabras claves: Compuestos bioactivos, Alimentos funcionales, Nutracéutico, ABTS, DPPH.

Abstract

The present study determined the concentration of total phenolic compounds and antioxidant activity in the pulp, seed and peel of *Salacca zalacca* (Gaertn.) Voss at three stages and in different fruit fractions. The samples under study included an initial stage of development (E1) which corresponded to 30 days after flowering, intermediate stage of development (E2) 90 days after flowering and commercial maturity (E3) 120 days after flowering. Fresh samples were evaluated for weight, size (longitudinal diameter and equatorial diameter), pH, soluble solids, total titratable acidity, moisture and ash. In addition, total phenolic compounds were quantified by spectrophotometry using the Folin-Ciocalteu method and antioxidant activity using the ABTS method and DPPH method with microplate reading. The results showed significant differences between the different fractions (pulp, peel and seeds), as well as with the maturity stages. Thus, seeds showed the highest pH values (6.4 in E2 and E3); pulp in soluble solids (20.3 °Brix in E3), titratable acidity (0.9% in E2), moisture (80.9% in E1), total phenols (6295.9 mg/100 g PS in E1) and antioxidant activity by ABTS (99.9% inhibition in E2), while peel in ash content (3.1% in E3) and antioxidant activity by DPPH (97.5% inhibition in E2). These results emphasise the importance of the maturity stage and the fraction under study when evaluating the commercial quality and functional characteristics of this fruit.

Key words: *Bioactive compounds, Functional foods, Nutraceutical, ABTS, DPPH*

Índice de contenido

1	Introducción	1
2	Marco conceptual	3
2.1	Compuestos fenólicos.....	3
2.2	Calidad comercial de las frutas.....	6
2.3	Actividad antioxidante.....	7
2.3.1	Métodos de cuantificación de actividad antioxidante.....	9
2.4	<i>Salacca zalacca</i>	10
3	Metodología	14
3.1	Muestreo	14
3.2	Evaluación de la composición fisicoquímica del salak en los tres estados de madurez y en las diferentes fracciones.....	15
3.3	Determinación del contenido de compuestos fenólicos totales del salak en los tres estados de madurez y en las diferentes fracciones.	18
3.4	Cuantificación de la actividad antioxidante del salak en los tres estados de madurez y en las diferentes fracciones.....	19
a)	Actividad antioxidante por DPPH.....	19
b)	Actividad antioxidante por ABTS.....	21
3.5	Análisis estadístico	22
4	Resultados y discusión	23

4.1	Composición fisicoquímica de los tres estados de madurez de la pulpa, semillas y cáscara de salak	23
4.2	Contenido de compuestos fenólicos totales en tres estados de madurez de la pulpa, semillas y cáscara del salak	49
4.3	Actividad antioxidante en tres estados de madurez de la pulpa, semillas y cáscara de salak	51
5	Conclusiones	58
6	Recomendaciones	59
7	Bibliografía	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Vía del ácido shikímico	4
Figura 2 Especies reactivas de oxígeno (ROS) y su regulación por antioxidantes enzimáticos	8
Figura 3 Morfología de la planta de salak.....	12
Figura 4 Estructura del fruto salak	13
Figura 5 Lugar de muestreo del salak	15
Figura 6 Valores promedio del peso de la fruta y las semillas de salak.....	25
Figura 7 Valores promedio del diámetro longitudinal del fruto y las semillas de salak	28
Figura 8 Valores promedio del diámetro ecuatorial del fruto y las semillas de salak	31
Figura 9 Valores promedio de pH de la pulpa, la cáscara, y de las semillas de salak	34
Figura 10 Valores promedio de los sólidos solubles de la pulpa, la cáscara, y de las semillas de salak	37
Figura 11 Valores promedio de la acidez titulable total de la pulpa, la cáscara, y de las semillas de salak.....	41
Figura 12 Valores promedio del contenido de humedad de la pulpa, la cáscara, y de las semillas de salak.....	45
Figura 13 Valores promedio del contenido de ceniza de la pulpa, la cáscara, y de las semillas de salak	48
Figura 14 Valores promedio del contenido de fenoles totales de la pulpa, la cáscara, y de las semillas de salak	51
Figura 15 Valores promedio de inhibición de DPPH por parte de la pulpa, la cáscara, y de las semillas de salak	54

Figura 16 Valores promedio de inhibición de ABTS por parte de la pulpa, la cáscara, y de las semillas de salak57

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Cálculo de acidez titulable total	16
Ecuación 2. Determinación del contenido de humedad	17
Ecuación 3. Determinación del contenido de cenizas	17
Ecuación 4. Compuestos Fenólicos totales	19
Ecuación 5. Porcentaje de inhibición del radical DPPH	20

1 Introducción

En las regiones tropicales y subtropicales existe una amplia diversidad de frutas, muchas de ellas consideradas exóticas por su sabor, textura, aroma y apariencia distintiva. Además de sus cualidades sensoriales, estas frutas se destacan por sus propiedades nutritivas y los beneficios que aportan a la salud humana. Sin embargo, el consumo de muchas de estas frutas es limitado debido al desconocimiento de sus características por parte de los consumidores (Enriquez-Valencia et al., 2020).

El creciente interés por descubrir nuevas fuentes de compuestos bioactivos ha dirigido la atención hacia frutas exóticas no convencionales (Coyago-Cruz, Guachamin, Villacís, et al., 2023). En este contexto, Ecuador, conocido por su mega diversidad, alberga una gran cantidad de frutas tropicales exóticas, tanto nativas como introducidas. Entre estas se encuentra el salak *Salacca zalacca* (Gaertn. Voss.) conocido como “fruta de la serpiente” debido a su cáscara escamosa. Esta fruta es originaria de Indonesia, donde su cultivo es común, sin embargo, el salak ha comenzado a expandirse en Ecuador, especialmente en las provincias de Pichincha, Santo Domingo de los Tsáchilas, Napo, Sucumbíos y Orellana (Djaafar et al., 2024; Sánchez-Mendoza & Palacios-Cedeño, 2024).

El salak es conocida por su alto contenido en vitaminas, minerales, ácidos orgánicos y compuestos bioactivos, tales como flavonoides, taninos y alcaloides presentes principalmente en la cáscara. Así, se han documentado usos medicinales de sus semillas y cáscara en medicina popular. A su vez, investigaciones recientes han demostrado que el salak posee propiedades anticancerígenas, antioxidantes, antidiabéticas y antiinflamatorias

(Oriente, 2023; Setyawaty et al., 2020; Widowati et al., 2023).

En este contexto, el objetivo de esta investigación fue determinar la concentración de compuestos fenólicos totales y la actividad antioxidante en la pulpa, semillas y cáscara de *Salacca zalacca* en tres estados de madurez de la fruta. Para lo cual se consideró evaluar la composición fisicoquímica de las tres partes de la fruta en cada estado de madurez; analizar el contenido de compuestos fenólicos totales mediante el método espectrofotometría de Folin-Ciocalteu; y cuantificar la actividad antioxidante mediante los métodos DPPH y ABTS. Así, este estudio pretende contribuir al conocimiento y potencialización de la fruta en beneficio de los consumidores y productores ecuatorianos.

2 Marco conceptual

2.1 Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos son un grupo diverso de moléculas derivadas del metabolismo secundario de las plantas, con más de 8000 estructuras químicas identificadas. Estos compuestos se encuentran ampliamente distribuidos en frutas, verduras, tallos, raíces, flores, semillas y cereales (Abarca-Vargas & Vera, 2018). Se caracterizan por la presencia de al menos un grupo funcional fenol, que consiste en un anillo aromático unido a uno o más grupos hidroxilo (-OH) (Martín, 2018; Correa-Salgado et al., 2024).

Los compuestos fenólicos se clasifican en ácidos fenólicos, que incluyen ácidos benzoicos y cinámicos, y los flavonoides, que abarcan subgrupos como flavonoles, antocianos, flavanonas y flavonas. La diferencia estructural clave entre estos grupos es que los ácidos fenólicos poseen un solo anillo aromático, mientras que los flavonoides presentan dos anillos fenólicos conectados por una cadena de tres átomos de carbonos (Coyago-Cruz, Corell-González, et al., 2017; Coyago-Cruz, Moya, et al., 2023; Sánchez & Figueroa, 2022).

La biosíntesis de compuestos fenólicos se da principalmente a través de la ruta del ácido shikímico, mientras que la vía del ácido malónico es menos común en plantas y más frecuente en hongos y animales (Lone et al., 2020). La ruta del ácido shikímico

Figura 1), comienza con la condensación del fosfoenolpiruvato (PEP) y la *D*-eritrosa-4-fosfato, derivados de la glucólisis y la vía de las pentosas fosfato, respectivamente. Este proceso da lugar a la síntesis de fenilalanina, que es convertida en ácido cinámico por la

enzima fenilalanina amonio liasa (PAL), precursor de flavonoides, antocianinas, lignina y otros fenoles esenciales en las plantas (Herrera et al., 2016; Martín, 2018).

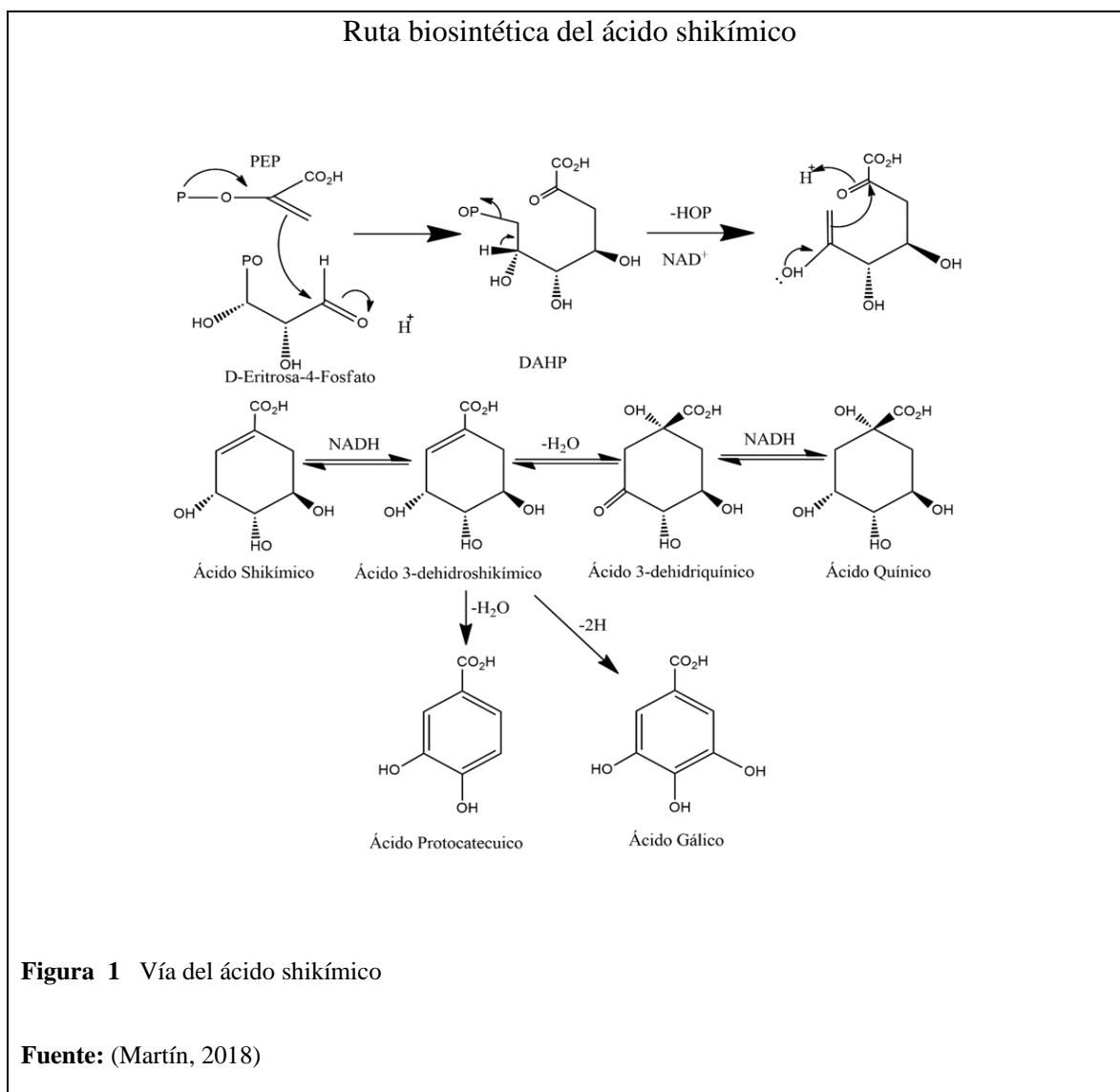


Figura 1 Vía del ácido shikímico

Fuente: (Martín, 2018)

En las plantas, los compuestos fenólicos son susceptibles a la oxidación, un proceso facilitado por enzimas fenolasas, que catalizan la transformación de monofenoles en difenoles y luego en quinonas. Estas reacciones pueden dar lugar a la formación de flobafenos, polímeros

amorfos de color rojizo que contribuyen al color y propiedades defensivas de las plantas (Azcón et al., 2013).

Los polifenoles son importantes en el sabor, aroma y color de alimentos y bebidas. Por ejemplo, el sabor amargo de la cerveza se debe a la humulona, el color rojo del vino a las antocianinas, y el sabor y aroma del té a sus polifenoles. *S. zalacca* también contiene compuestos fenólicos como flavonoides, taninos y ácidos fenólicos, los cuales contribuyen a su color y sabor característicos. Además, los compuestos fenólicos en las plantas actúan como mecanismos de defensa contra depredadores y como fitoalexinas y sustancias alelopáticas (Correa-Salgado et al., 2024; Mazumdar et al., 2019).

Los compuestos fenólicos tienen un importante valor nutricional por sus múltiples beneficios para la salud humana, principalmente debido a su actividad antioxidante, que protege contra el daño oxidativo ocasionado por los radicales libres (Alwi et al., 2023; Lin et al., 2016). Se ha demostrado que el consumo de estos compuestos está asociado con una reducción en el riesgo de enfermedades crónicas, como el cáncer, diabetes tipo 2, y síndrome metabólico (Lin et al., 2016; Nardini, 2022). Además, poseen efectos antiinflamatorios, y son beneficiosos en la prevención de enfermedades cardiovasculares y neurodegenerativas, como el Alzheimer (Abarca-Vargas & Vera, 2018; Nurzyńska-Wierdak, 2023).

El consumo de alimentos ricos en compuestos fenólicos no solo es beneficioso para la salud en general, sino que también apoya el rendimiento físico y promueve un estilo de vida más saludable (González-Gross & Urrialde, 2024). Estudios sugieren, por ejemplo, que los compuestos fenólicos presentes en el vino están asociados a una menor incidencia de

enfermedades cardiovasculares, dado que favorecen la vasodilatación dependiente del endotelio y reducen la inflamación (Rodríguez et al., 2024; Vega-Castellanos et al., 2024)

2.2 Calidad comercial de las frutas

Las frutas son un componente esencial de una dieta equilibrada, ya que aportan una amplia variedad de nutrientes, como proteínas, vitaminas, carbohidratos y minerales. Además, de estos nutrientes, contienen compuestos bioactivos que son fundamentales para una alimentación adecuada y contribuyen a la prevención de diversas enfermedades (Yousuf et al., 2020).

Dado que muchas frutas se consumen frescas, la seguridad alimentaria es un aspecto crítico en su producción y consumo. La implementación de buenas prácticas en las etapas de producción, recolección y manejo postcosecha es fundamental para reducir el riesgo de contaminación y minimizar las pérdidas relacionadas con el deterioro del producto (FAO & CIRAD, 2021). Es así, como diversos estudios han evaluado la influencia de factores postcosecha en la calidad de las frutas, destacándose el tiempo y la temperatura de almacenamiento como los elementos más importantes. La refrigeración adecuada prolonga la vida útil del producto y reduce la tasa de deterioro, lo que ayuda a retrasar el envejecimiento, ablandamiento y cambios en la textura y el color. En productos frescos, la apariencia, textura, sabor y valor nutricional son criterios de calidad para los consumidores (Brasil & Siddiqui, 2018).

En este contexto, en Ecuador, la evaluación de la calidad de las frutas se realiza siguiendo normas establecidas en la normativa INEN, destacándose las siguientes regulaciones aplicables:

➤ **NTE INEN 1750:1994 - Hortalizas y frutas frescas:** Esta normativa define el procedimiento para la recolección de muestras de frutas y hortalizas frescas (NTE-INEN-1750, 2012).

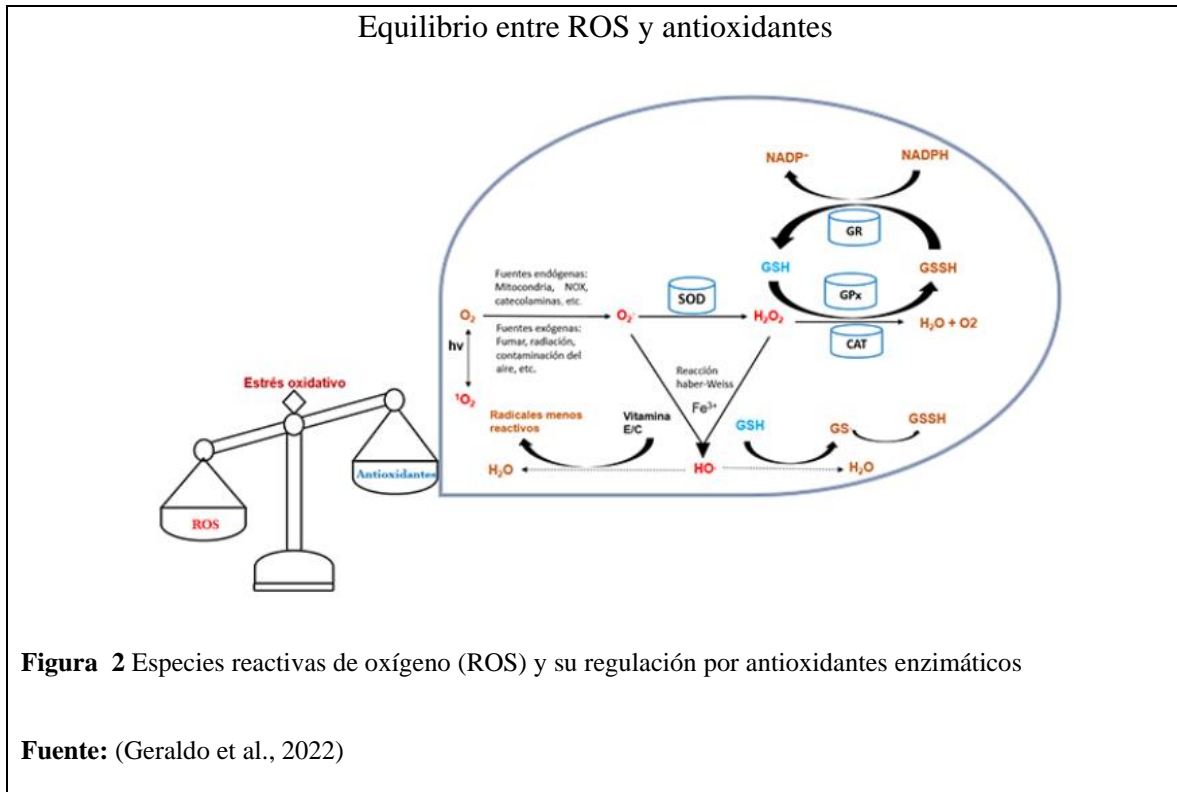
➤ **NTE INEN 1751:1996 Frutas frescas, definiciones y clasificación:** Esta normativa establece definiciones y clasificaciones para frutas destinadas a la comercialización en estado fresco (NTE-INEN-1751:96, 2012).

2.3 Actividad antioxidante

Durante el metabolismo celular, y en situaciones de desequilibrio entre la formación de radicales libres y los mecanismos antioxidantes, se generan especies reactivas de oxígeno (ROS), incluyendo oxígeno singlete, lo que ocasiona estrés oxidativo (Figura 2). Estas especies reactivas, si no son neutralizadas, pueden causar daño a nivel celular y tisular (Anwar et al., 2018; Galarza et al., 2023).

Dentro del contexto celular, los antioxidantes pueden clasificarse en endógenos y exógenos. Los antioxidantes endógenos, como el superóxido dismutasa (SOD) y el glutatión peroxidasa, son producidos naturalmente en el organismo y ayudan a neutralizar los radicales libres generados durante el metabolismo. Por otro lado, los antioxidantes exógenos, obtenidos a través de la dieta, incluyen compuestos como vitaminas y polifenoles presentes en frutas y

verduras. Ambos tipos de antioxidantes colaboran para defender al organismo contra el daño oxidativo (Clemente-Suárez et al., 2023).



Los antioxidantes exógenos se subdividen en naturales y sintéticos. Los antioxidantes naturales, como la vitamina C, E y A, así como la coenzima Q10, están presentes en diversas partes de las plantas, como frutas, verduras, semillas, hojas, raíces y cortezas (Kebede & Admassu, 2019). Los antioxidantes sintéticos, como el butilhidroxianisol (BHA) y el butilhidroxitolueno (BHT), son elaborados artificialmente para mejorar la estabilidad y vida útil de productos alimentarios, aunque su uso ha generado preocupaciones de seguridad a largo plazo debido a reportes de efectos adversos, como alergias cutáneas, problemas

gastrointestinales y riesgo de cáncer en dosis elevadas (Carbajal et al., 2021; Carocho & Ferreira, 2013; Clemente-Suárez et al., 2023; Lourenço et al., 2019).

2.3.1 Métodos de cuantificación de actividad antioxidante

Existen métodos para evaluar la actividad antioxidante *in vitro* que proporcionan una estimación aproximada, sin embargo, la *in vivo*, que refleja mejor la actividad en condiciones biológicas (Castañeda et al., 2008; Kuskoski et al., 2009). Es así como a continuación se exponen diversas metodologías comunes para determinar la actividad antioxidante:

- Método ABTS (TEAC): Basado en la decoloración del radical catiónico ABTS^{•+} que proviene del ácido 2,2'-azino-bis-(3-etilbenzotiazolin-6-sulfonato de amonio), el cual absorbe la luz a 734 nm. Es una técnica sensible y versátil para medir antioxidantes en matrices hidrofílicas y lipofílicas (Coyago et al., 2024; Munteanu & Apetrei, 2021).
- Método DPPH: Utiliza el radical libre DPPH[•] que proviene del 2,2-difenil-1-picrilhidrazil, que cambia de color violeta a amarillo pálido en presencia de antioxidantes, evaluándose la capacidad antioxidante a 515 nm hasta 520 nm (Coyago-Cruz, Alarcón, et al., 2024; Sirivibulkovit et al., 2018).
- Método FRAP: Este método mide la capacidad de reducción del ion férrico Fe³⁺ a su forma ferrosa Fe²⁺ mediante la formación de un complejo azul. Se evalúa a 593 nm. Es una técnica simple y rápida, aunque no mide directamente la neutralización de

radicales libres (Amarowicz & Pegg, 2019; Benzie & Devaki, 2017; Munteanu & Apetrei, 2021; Vielma-Puente et al., 2023).

- Método CUPRAC: Evalúa la capacidad de reducir el ion cúprico Cu^{2+} a Cu^{+} en presencia de neocuproína (2,9-dimetil-1,10-fenantrolina). La medición se realiza a 450 nm y permite analizar antioxidantes tanto hidrofílicos como lipofílicos (Apak, 2017; Apak et al., 2004; Mejía-Reyes et al., 2022).
- Método ORAC: Basado en la capacidad de los antioxidantes para donar átomos de hidrógeno y detener la reacción en cadena de la oxidación. En este método los radicales de peroxilo se generan a partir de compuestos azo, como AIBN (α , α' -azobis(isobutironitrilo)), que actúa como un generador lipofílico, descomponiéndose térmicamente para liberar radicales libres. En el ensayo, la disminución de fluorescencia se registra mediante un fluoro-metro (Munteanu & Apetrei, 2021; Shahidi & Zhong, 2015; Zapata & Zapata, 2022).

2.4 *Salacca zalacca*

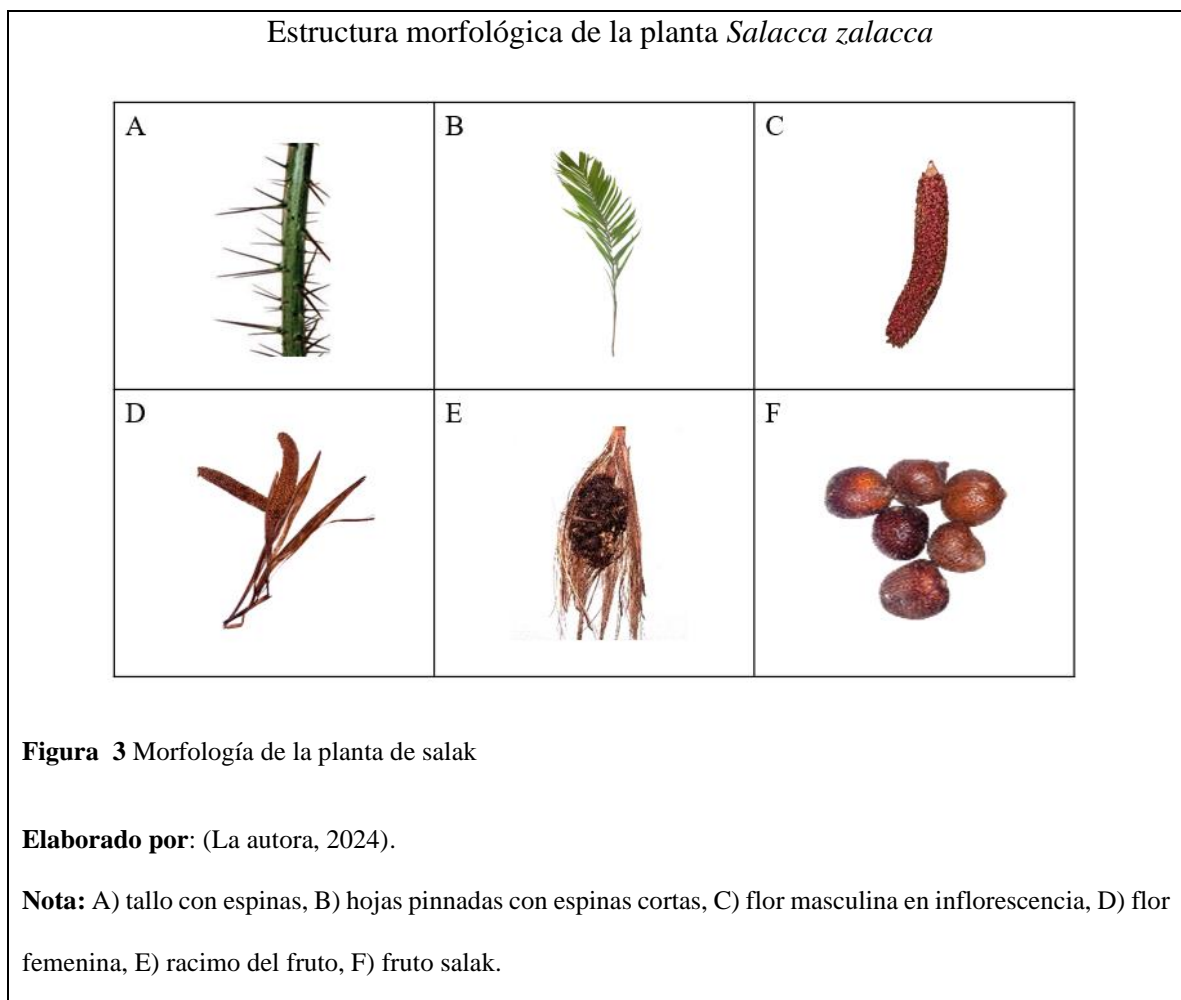
Ecuador es un país reconocido por su biodiversidad y su capacidad para cultivar una gran variedad de frutas, hortalizas y vegetales, incluyendo numerosas frutas exóticas y no tradicionales. En los últimos años, la demanda de ciertas frutas exóticas ecuatorianas ha crecido en los mercados internacionales, impulsada por su apariencia distintiva, sabores únicos y alto valor nutricional. Sin embargo, muchas frutas no tradicionales continúan siendo poco conocidas y subexplotadas, incluso dentro de sus propias regiones de origen (Coyago-Cruz et al., 2023).

En el Ecuador, las frutas exóticas que han logrado llegar a mercados internacionales incluyen a la pitahaya, piña, mango, aguacate, plátano, granadilla y guanábana (Capa et al., 2023 ; Morales et al., 2024). Sin embargo, existen frutas exóticas como el *Salacca zalacca* (Gaertn.) Voss, que está logrando abrirse mercados internacionales. Esta fruta también conocida como salak o “fruta de la serpiente” es una especie nativa del Sudeste Asiático y ampliamente cultivada en Indonesia y Malasia (Sato et al., 2023). La descripción botánica se expone a continuación (Kumoro et al., 2020):

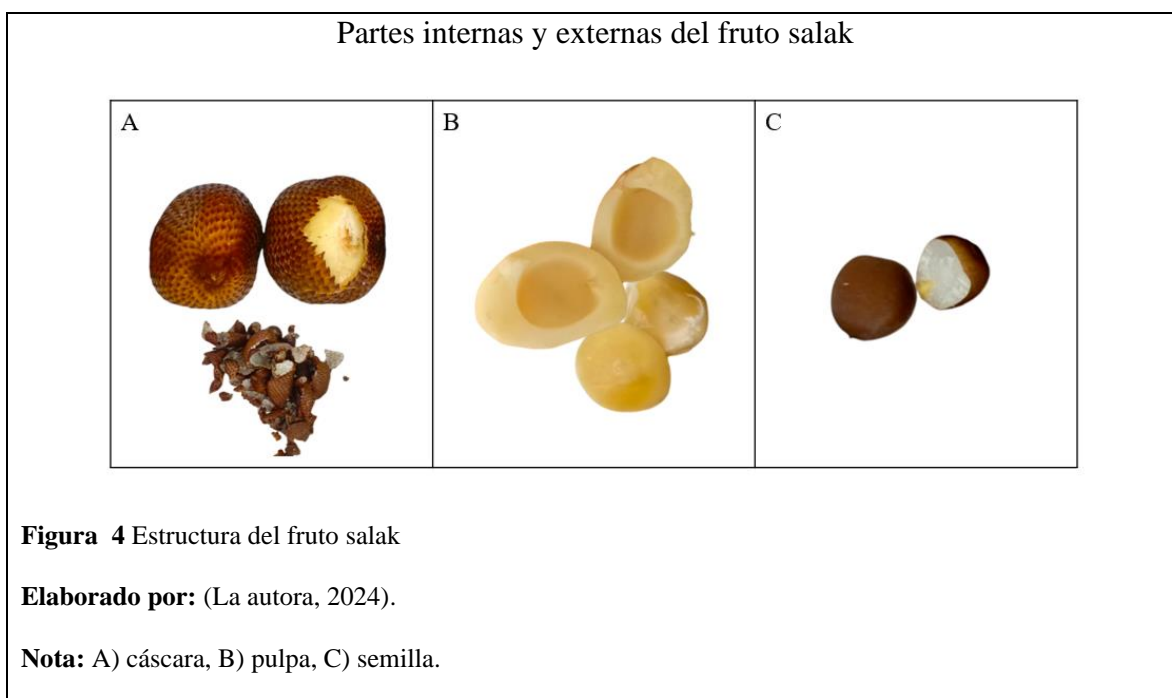
Reino:	Plantae
Subreino	Tracheobionta
Subdivisión	Spermatophyta
Filo	Estreptofitas
Clase	Liliopsida
Subclase	Magnoliidae
Orden	Arecales
Familia	Areceaceae
Género	Salacca
Especie	<i>Salacca zalacca</i> (Gaertn.) Voss

En la Figura 3 se muestra la morfología de la planta de salak, que es una palmera caracterizada por sus largas y espinosas hojas pinnadas, que pueden alcanzar hasta 10 metros de longitud. Los frutos crecen en racimos en la base del tallo y tiene una forma ovalada o

fusiforme, con un tamaño promedio de 5 a 8 cm de largo y 5 cm de ancho. Las inflorescencias son ramificadas y presentan diferencias en tamaño y color entre las flores masculinas y femeninas. Las flores masculinas son más largas (50 a 90 cm) y de color rojizo, mientras que las femeninas miden de 20 a 30 cm y tienen una corola amarilla en el exterior y roja en el interior (Saleh et al., 2018; Yahia, 2011).



El fruto de salak está cubierto por escamas brillantes de color marrón amarillento a marrón rojizo, con puntas espinosas en los extremos (Figura 4). La pulpa es de color blanco amarillento y se vuelve más dulce y menos ácida a medida que madura, alcanzando una textura suave y crujiente. Cada fruto puede contener de 0 a 3 semillas de color marrón a negro, de aproximadamente 2 a 3 cm de longitud (Kumoro et al., 2020; Saleh et al., 2018; Yahia, 2011).



En Ecuador, el cultivo de salak ha comenzado a expandirse, especialmente en las provincias de Pichincha, Santo Domingo de los Tsáchilas, Napo, Sucumbíos y Orellana, contribuyendo al desarrollo económico de estas regiones (Saleh et al., 2018; Sánchez-Mendoza & Palacios-Cedeño, 2024).

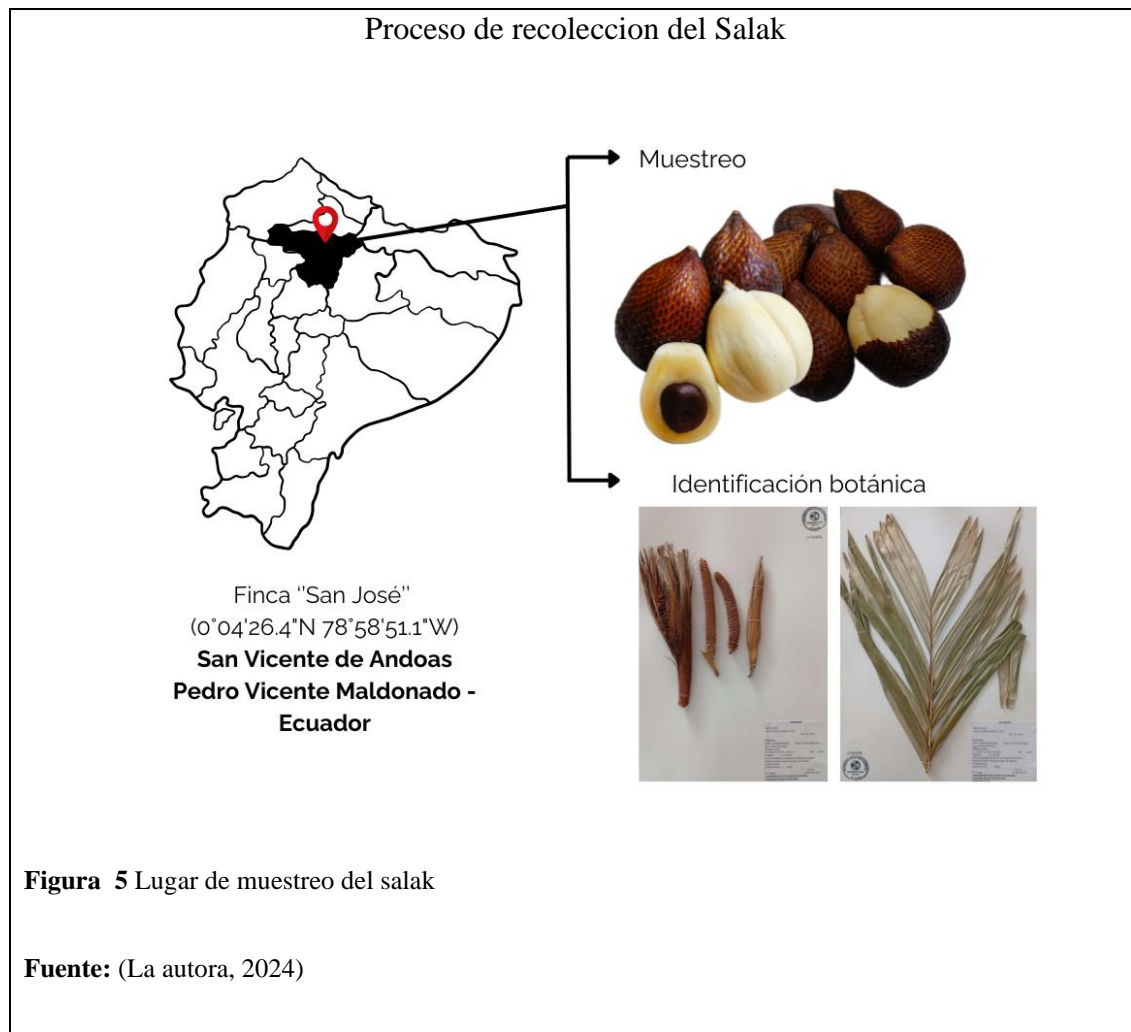
3 Metodología

3.1 Muestreo

Esta investigación se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Politécnica Salesiana (UPS), sede Quito, campus el Girón. Así, las muestras de salak fueron recolectadas en la Finca “San José” ubicada en el Km 107 del Cantón Pedro Vicente Maldonado, en la provincia de Pichincha, Ecuador (0°04'26.4"N 78°58'51.1"W) (Figura 5).

La muestra incluyó material vegetal, el cual fue prensado y secado para la identificación botánica en el Herbario de la UPS a cargo del PhD Marco Cerna, botánico especializado para dicho fin. A su vez, se muestrearon 20 frutas al azar, en diferentes estados de desarrollo fenológico, los cuales incluyeron un estado de desarrollo inicial (E1) que correspondió a 30 días luego de la floración, estado de desarrollo intermedio (E2) 90 días luego de la floración y madurez comercial (E3) 120 días luego de la floración. Posteriormente, las frutas fueron transportadas en un cooler provisto de papel para el respectivo análisis.

La fruta del salak recolectado se dividió en dos partes y de cada parte se separó la pulpa, cáscara y semillas, las cuales fueron caracterizadas por separado. En las primeras diez frutas se evaluó la calidad comercial y la segunda fracción fue troceada por separado y almacenada en congelación a -80 °C para luego ser liofilizadas en un equipo Christ Alpha 1-4 LDplus (GmbH, Osterode am Harz, Alemania). La muestra seca fue molida y almacenada en frascos ámbar y bajo nitrógeno hasta el respectivo análisis.



3.2 Evaluación de la composición fisicoquímica del salak en los tres estados de madurez y en las diferentes fracciones

La composición fisicoquímica de las diferentes fracciones de la fruta en los tres estados de desarrollo fenológico consideró la determinación del peso, tamaño, pH, sólidos solubles, acidez titulable, humedad y contenido de cenizas. La determinación de cada parámetro se repitió por diez ocasiones. Los detalles de cada determinación se detallan a continuación:

- a) **Peso:** Se midió en una balanza analítica ME204TE/00 (Mettler Toledo Greifensee, Suiza) previamente calibrada (Coyago-Cruz, Corell, Moriana, et al., 2017).
- b) **Tamaño:** Se midió el diámetro ecuatorial y longitudinal de las frutas usando un calibrador digital Titan 24715 (Titan, Kent, WA, EE. UU) (Coyago-Cruz, Corell, Stinco, et al., 2017).
- c) **pH:** Cada fracción en estudio se trituró en un mortero y en el líquido residual se cuantificó el pH utilizando un potenciómetro S220 (Mettler Toledo, Suiza) (Coyago-Cruz, Guachamin, Méndez, et al., 2023).
- d) **Sólidos solubles:** Se trituró en un mortero por separado cada una de las fracciones en estudio, y se tomó una gota del extracto resultante, el cual se colocó en el lente de un refractómetro portátil (Boeco, Alemania) (Coyago-Cruz, Valenzuela, et al., 2024).
- e) **Acidez titulable:** Se pesó 1 gramo del material vegetal en un Erlenmeyer con 20 mL de agua destilada y 3 gotas de fenolftaleína. La mezcla se tituló con una solución de hidróxido de sodio (NaOH) 0,1 N (Coyago-Cruz, Guachamin, Méndez, et al., 2023). La acidez titulable total se calculó empleando la Ecuación 1.

$$\% \text{ de acidez} = \frac{V \text{ NaOH} * \text{meq. ácido} * \text{Factor de dilución} * 100}{g \text{ o } V \text{ jugo} * V. \text{muestra titulada}}$$

Ecuación 1. *Cálculo de acidez titulable total*

Donde:

V NaOH: Volumen de hidróxido de sodio a 0,1 N

meq. Ácido: Miliequivalentes del ácido dominado (Ácido cítrico)

g o V jugo: Peso o Volumen en mililitros (mL) del extracto de fruta

V muestra titulada: Volumen en mililitros de titulación (mL)

- f) **Humedad:** Se pesó 1,0 gramo de material vegetal en una caja Petri y se secó en una estufa (Esco, Malasia) a 110 °C hasta peso constante (Coyago-Cruz et al., 2018). La cuantificación de la humedad se realizó usando la Ecuación 2.

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{peso final}}{\text{eso inicial}} * 100$$

Ecuación 2. *Determinación del contenido de humedad*

- g) **Cenizas:** Se pesó 1,0 gramo de material vegetal en un crisol y se calcinó la muestra en una mufla (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, Estados Unidos) a una temperatura de 550 °C, hasta obtener cenizas blancas (Coyago-Cruz, Valenzuela, et al., 2024). El cálculo del contenido de cenizas empleó la Ecuación 3.

$$\text{Cenizas (\%)} = \frac{\text{Peso de cenizas}}{\text{Peso de la muestra fresca}} * 100$$

Ecuación 3. *Determinación del contenido de cenizas*

3.3 Determinación del contenido de compuestos fenólicos totales del salak en los tres estados de madurez y en las diferentes fracciones.

La cuantificación de los compuestos fenólicos totales se realizó por sextuplicado, siguiendo la metodología propuesta por Coyago-Cruz (2017). Se pesó 40,0 mg de polvo liofilizado y se mezcló con 1,0 mL de una solución al 80% de metanol acidificado con HCl (ácido clorhídrico) al 0,1%. La muestra se homogenizó utilizando un Vortex clásico F202A0173 (Velp Scientifica, Alemania) y posteriormente se agitó en el ultrasonido FS60 D (Fisher Scientific, Estados Unidos) durante 3 minutos. La mezcla se colocó en una centrifugadora 5430 R (Eppendorf, Alemania) a 13000 rpm durante 3 min a 4 °C. Este procedimiento se repitió por dos ocasiones más, empleando 500 uL de la solución metanólica. El sobrenadante obtenido al final fue filtrado mediante un filtro de 0,45 µm PVDF, el cual fue almacenado hasta su posterior cuantificación.

Para la cuantificación de la muestra, se utilizó una mezcla de 20 µL del sobrenadante filtrado en una placa de cultivo de tejidos VWR de 96 pocillos junto con 100 µL de Folin-Ciocalteu. Esta mezcla fue agitada durante un minuto en un agitador plano Type 65800 (Thermolyne Maxi-Mix III, Estados Unidos), cubierto con aluminio. Luego, se incorporaron 75 µL de carbonato de sodio al 20% y se dejó reposar durante 120 minutos para medir la absorbancia en un espectrofotómetro para microplacas UV-Visible EPOCH (Biotek, Estados Unidos) a una longitud de onda de 750 nm.

La curva de calibración se elaboró mediante diluciones 0, 5, 10, 15, 20, 25, 50 a partir de una solución madre de ácido gálico. La concentración de fenoles totales se calculó mediante la Ecuación 4 y se expresó en miligramos de equivalente de ácido gálico por 100 gramos de peso seco (mg EAG/100 g PS) (Coyago-Cruz, Guachamin, Vera, et al., 2023).

$$FT \left[mg \frac{EAG}{100 g PS} \right] = (C) \times \frac{V}{m} \times Fd \times 100$$

Ecuación 4. *Compuestos Fenólicos totales*

Donde:

C = concentración obtenida de la curva de calibración (mg/mL)

V = volumen del extracto (mL)

m = masa (g)

Fd = Factor de dilución

3.4 Cuantificación de la actividad antioxidante del salak en los tres estados de madurez y en las diferentes fracciones

La actividad antioxidante será evaluada por el método DPPH y ABTS, tal como se describe a continuación:

a) Actividad antioxidante por DPPH

La determinación de la actividad antioxidante por DPPH se realizó por sextuplicado, siguiendo la metodología descrita por Coyago-Cruz et al. (2023).

Se pesó 20 mg de muestra liofilizada y se mezcló con 2 mL de metanol puro. Esta mezcla se homogeneizó utilizando un Vortex clásico F202A0173 (Velp Scientifica, Alemania) y luego se agitó en un baño de ultrasonido FS60 D (Fisher Scientific, Estados Unidos) durante 3 minutos. El

sobrenadante fue separado por centrifugación en un equipo 5430 R (Eppendorf, Alemania) a 13000 rpm durante 3 minutos a una temperatura de 4 °C.

Para preparar la solución estándar, se mezclaron 10 mL de metanol grado HPLC con 2 mg de Trolox y se realizó las diluciones respectivas para realizar la curva de calibración.

En cuanto a la solución del radical DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo), se disolvió 5 mg de DPPH en 50 mL de una solución acuosa de metanol al 80%. Esta solución se dejó reposar durante 40 minutos en la oscuridad y luego se diluyó a diferentes concentraciones, ajustándose hasta obtener una absorbancia de 0,7 a una longitud de onda de 515 nm.

Para la cuantificación de la actividad antioxidante por DPPH se mezcló 20 µL del extracto de la muestra o los estándares, con 180 µL de la solución de radicales DPPH en una placa de cultivo de tejidos VWR de 96 pocillos. Posteriormente, la placa se agitó por 30 min en la oscuridad en un agitador plano Type 65800 (Thermolyne Maxi-Mix III, Estados Unidos). Finalmente, se midió la absorbancia a una longitud de onda de 515 nm utilizando un espectrofotómetro para microplacas UV-Visible EPOCH (Biotek, Estados Unidos) (Coyago-Cruz, Alarcón, et al., 2024).

La actividad antioxidante se expresó en porcentaje de inhibición usando la Ecuación 5 y la inhibición de la muestra se calculó empleando la ecuación de la curva de calibración.

$$\% \text{ Inhibición} = \frac{(A_b - A_a)}{A_b} \times 100$$

Ecuación 5. *Porcentaje de inhibición del radical DPPH*

Donde:

$A_b = \text{absorbancia del blanco}$

$A_a = \text{absorbancia del estándar}$

b) Actividad antioxidante por ABTS

La cuantificación de la actividad antioxidante se realizó con seis repeticiones empleando el método ABTS se realizó utilizando el método descrito por Coyago-Cruz, Guachamin, Villacís, et al. (2023). Se pesó 20 mg de polvo liofilizado de cada muestra con 0,8 mL de metanol al 50%. La mezcla se homogenizó en un Vortex clásico F202A0173 (Velp Scientifica, Alemania) y se agitó en un ultrasonido FS60 D (Fisher Scientific, Estados Unidos) durante 2 minutos. El sobrenadante fue recuperado por centrifugación en una microcentrífuga 5430 R (Eppendorf, Alemania) a 14000 rpm durante 3 minutos a una temperatura de 4 °C. El extracto sólido nuevamente se extrajo con 0,8 mL de acetona al 56% siguiendo el procedimiento antes descrito. Finalmente, el extracto líquido se filtró a través de un filtro PVDF de 0,45 μm .

La curva de calibración empleó una solución de 2,5 mM de Trolox, disuelto en etanol y las diluciones se prepararon disolviendo 0, 5, 10, 20, 25, 50 y 75 μL de la solución madre con 280 μL de etanol. Para la obtención del radical ABTS⁺, se preparó una solución 1:1 de 7mM de ABTS (ácido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) y 2,45 mM de persulfato de potasio. Esta mezcla se dejó reposar en condiciones de oscuridad durante 16 horas. Transcurrido el tiempo de reposo, se realizó una dilución 1/10 del radical ABTS y se cuantificó la absorbancia a 734 nm, procurando que se encuentre en un valor de 0,7.

Para la cuantificación se mezcló 20 μL de la muestra o estándar con 180 μL del radical ABTS y se cuantificó a 734 nm utilizando un espectrofotómetro para microplacas UV-Visible EPOCH

(Biotek, Estados Unidos). La actividad antioxidante se expresó en % de inhibición del radical ABTS (Coyago et al., 2024).

3.5 Análisis estadístico

El análisis estadístico consideró un ANOVA simple empleando el programa INFOSTAT y se comparó cada grupo de muestras mediante la prueba Tukey's a un nivel de significancia de $p < 0,05$. Las gráficas fueron realizadas con el programa SIGMAPLOT 14.0.

4 Resultados y discusión

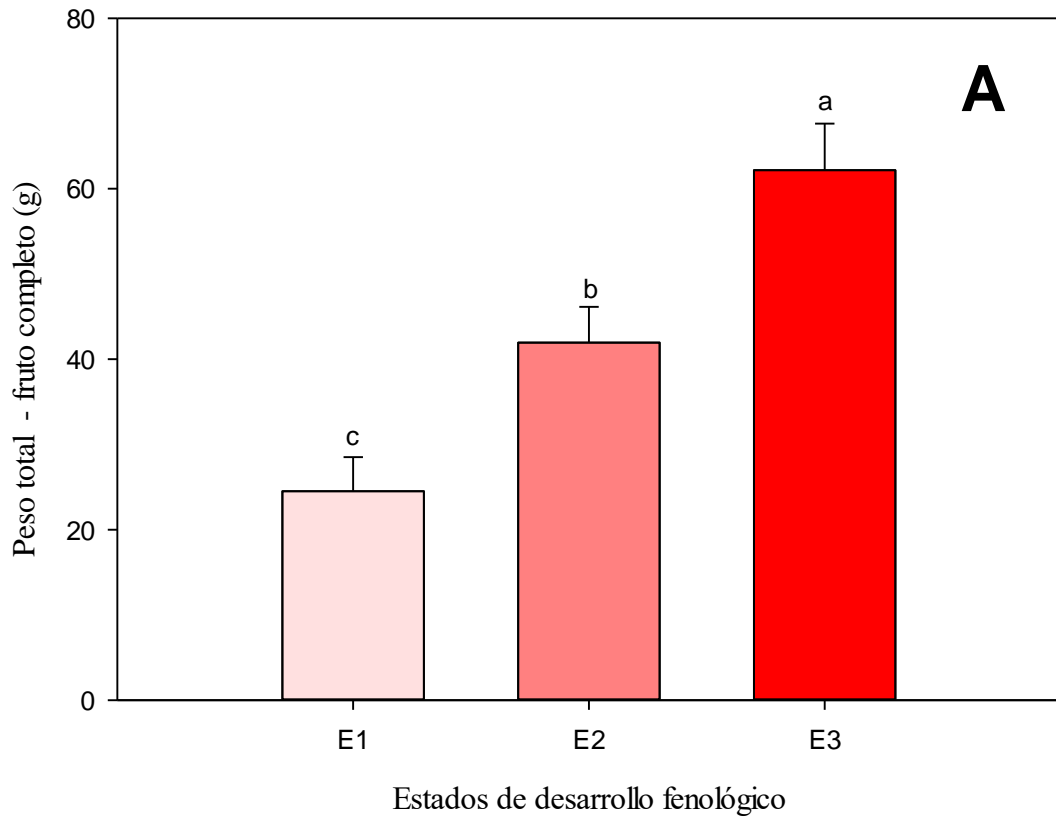
4.1 Composición fisicoquímica de los tres estados de madurez de la pulpa, semillas y cáscara de salak

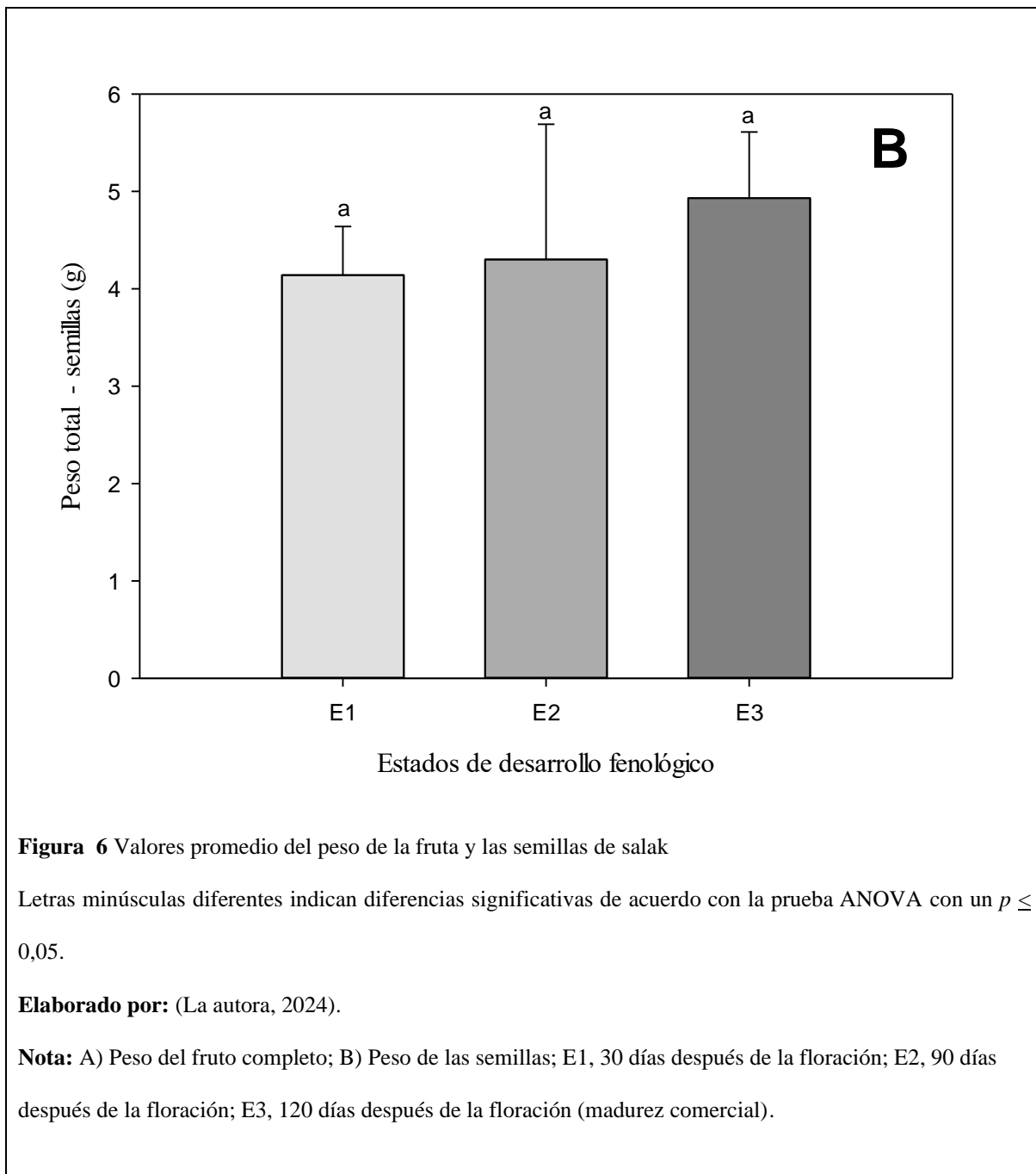
El estudio de la composición fisicoquímica de las diferentes fracciones de salak consideró pulpa, cáscara y semillas, a distintos estados de desarrollo fenológico de la fruta, los cuales incluyen 30 días después de la floración (E1), 90 días luego de la floración (E2) y 120 días luego de la floración que correspondió a la madurez comercial (E3), consideró la evaluación del peso, tamaño, pH, sólidos solubles, acidez titulable total, humedad y contenido de cenizas. Cada uno de los resultados con la respectiva discusión se exponen a continuación:

- **Peso**

En la Figura 6 se presentan los valores promedio del peso del fruto completo (Figura 6-A) y de las semillas (Figura 6-B) de salak en los tres grados de madurez. Así, el peso del fruto completo en los tres estados de madurez mostró diferencias significativas, sin embargo, las semillas presentaron igualdades. A su vez, los mayores valores se reportaron en un grado de madurez E3. Los valores encontrados en este estudio, en el caso de la madurez comercial E3 estuvieron en concordancia con los pesos de la fruta reportados por otros autores, quienes presentaron un rango de 50 g a 100 g en distintas variedades de salak (Yahia, 2011), mientras que otros autores presentaron un valor de 56,0 g (Coyago-Cruz, Guachamin, Villacís, et al., 2023).

Peso del fruto y de las semillas de salak





- **Tamaño**

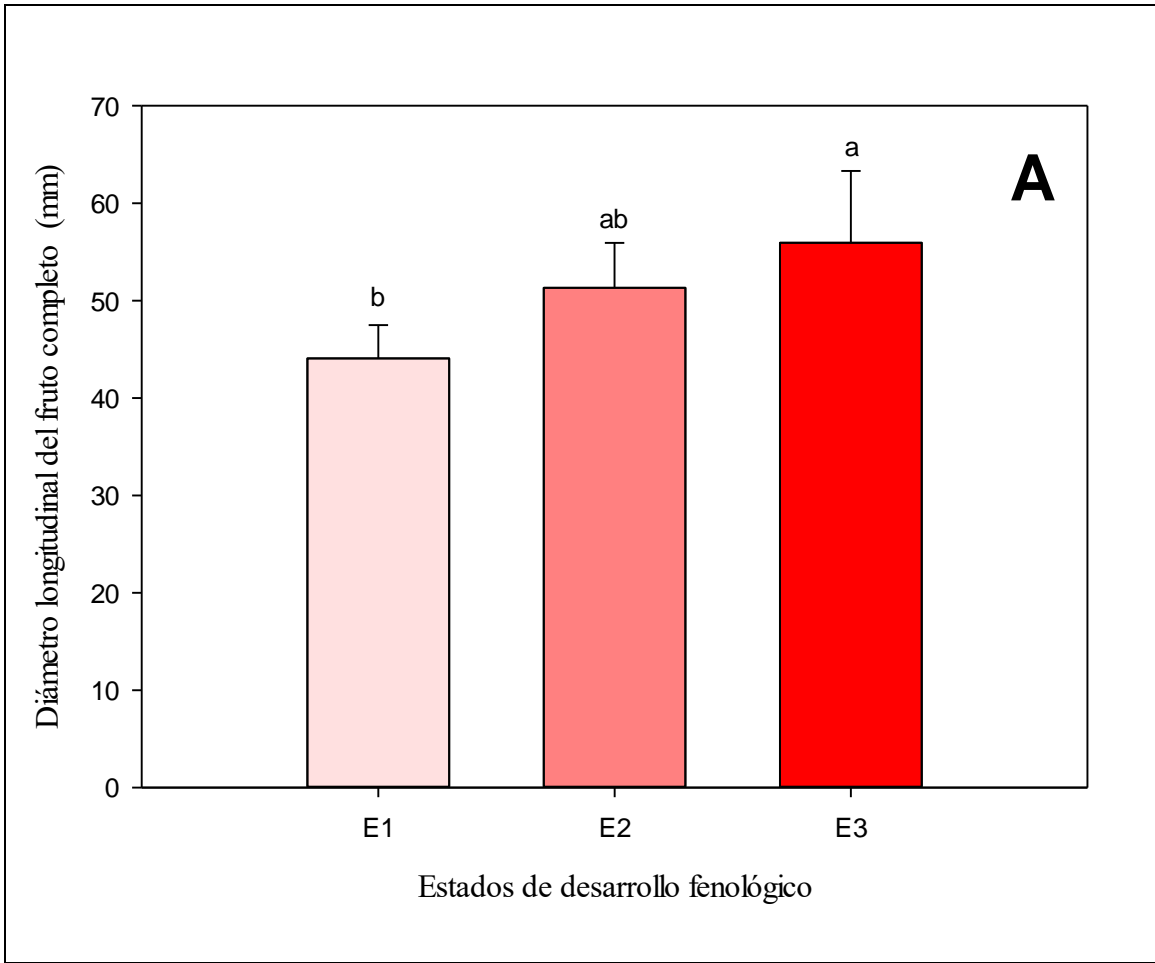
En la Figura 7 se presentan los valores promedio del diámetro longitudinal de los tres estados de desarrollo fenológico de la fruta (Figura 7-A) y las semillas (Figura 7-B) de salak. Los

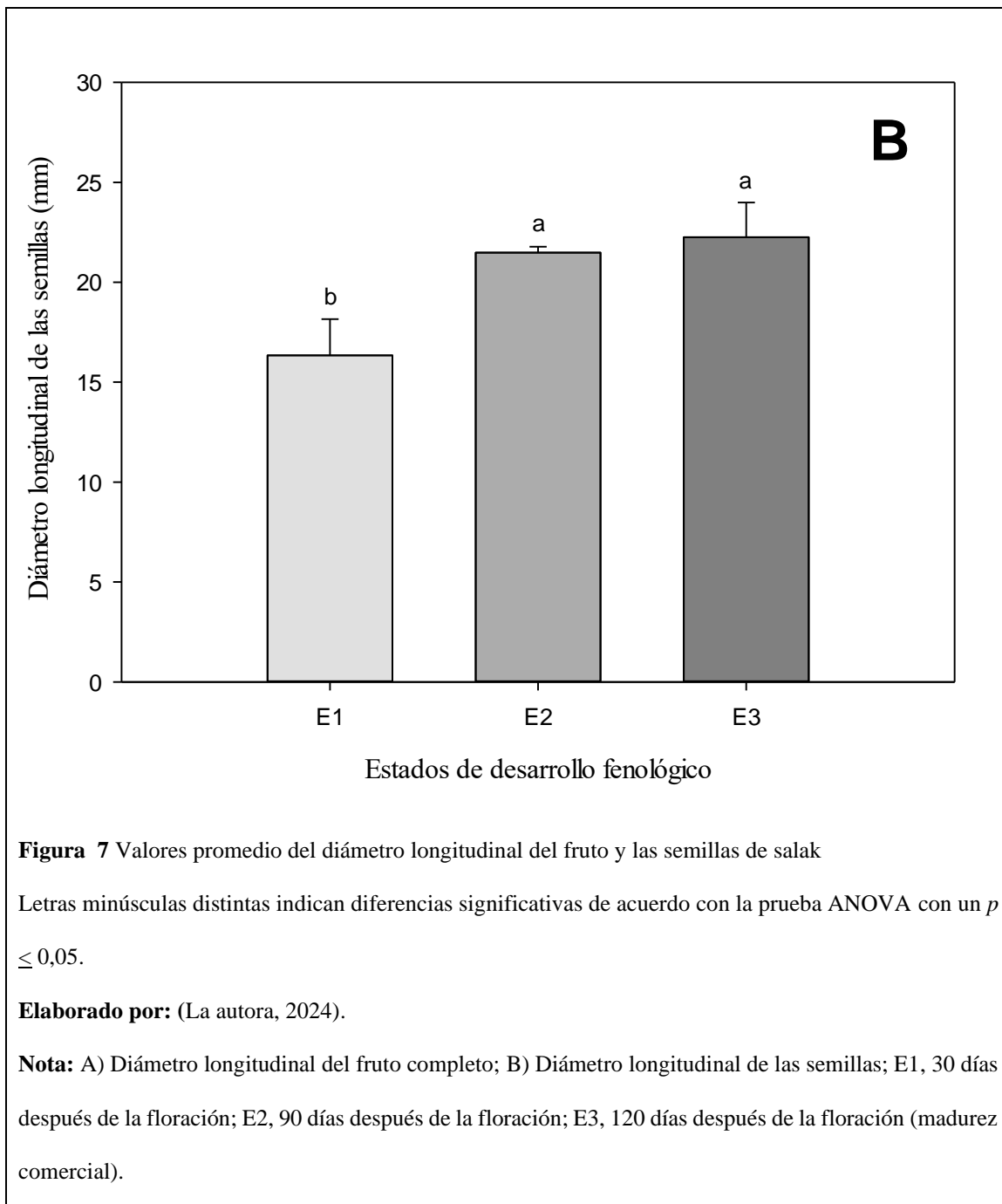
resultados mostraron que la fruta en E3 presentó el mayor diámetro longitudinal (55,95 mm).

Estos valores estuvieron en concordancia con los reportados por otros autores quienes presentaron un rango de 2,5 a 10,0 cm en fruta madura de salak (Kumoro et al., 2020), otros un valor de 6,0 cm (Coyago-Cruz, Guachamin, Villacís, et al., 2023; Saleh et al., 2018).

Para el caso de las semillas, se reportó igualdad estadística con respecto al diámetro longitudinal entre los estados de desarrollo fenológico E2 y E3. Los resultados en el estado E3 de salak, estuvieron en concordancia con los datos reportados por otros autores que presentaron un rango entre 2,0 a 3,0 cm (Kumoro et al., 2020).

Diámetro longitudinal del fruto completo y las semillas de salak
--

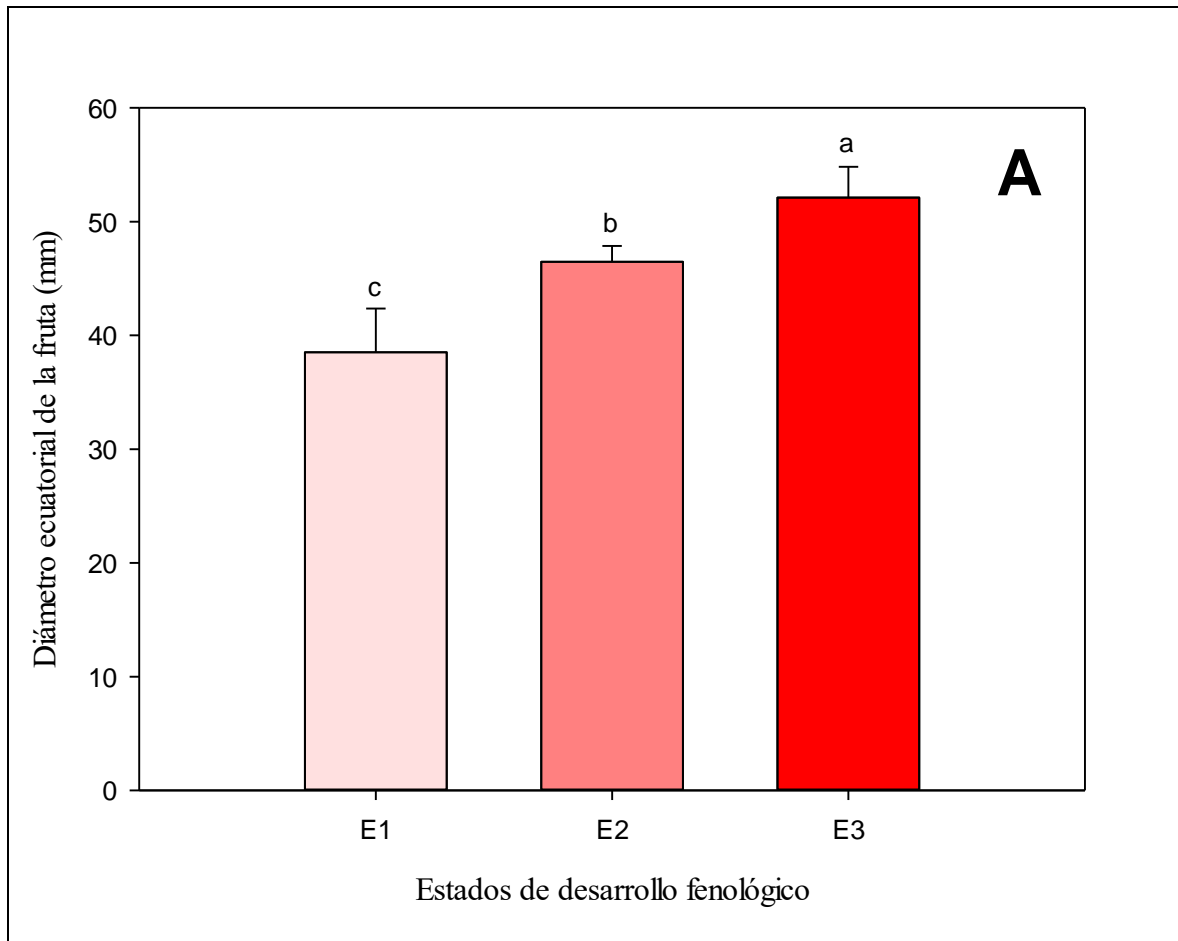


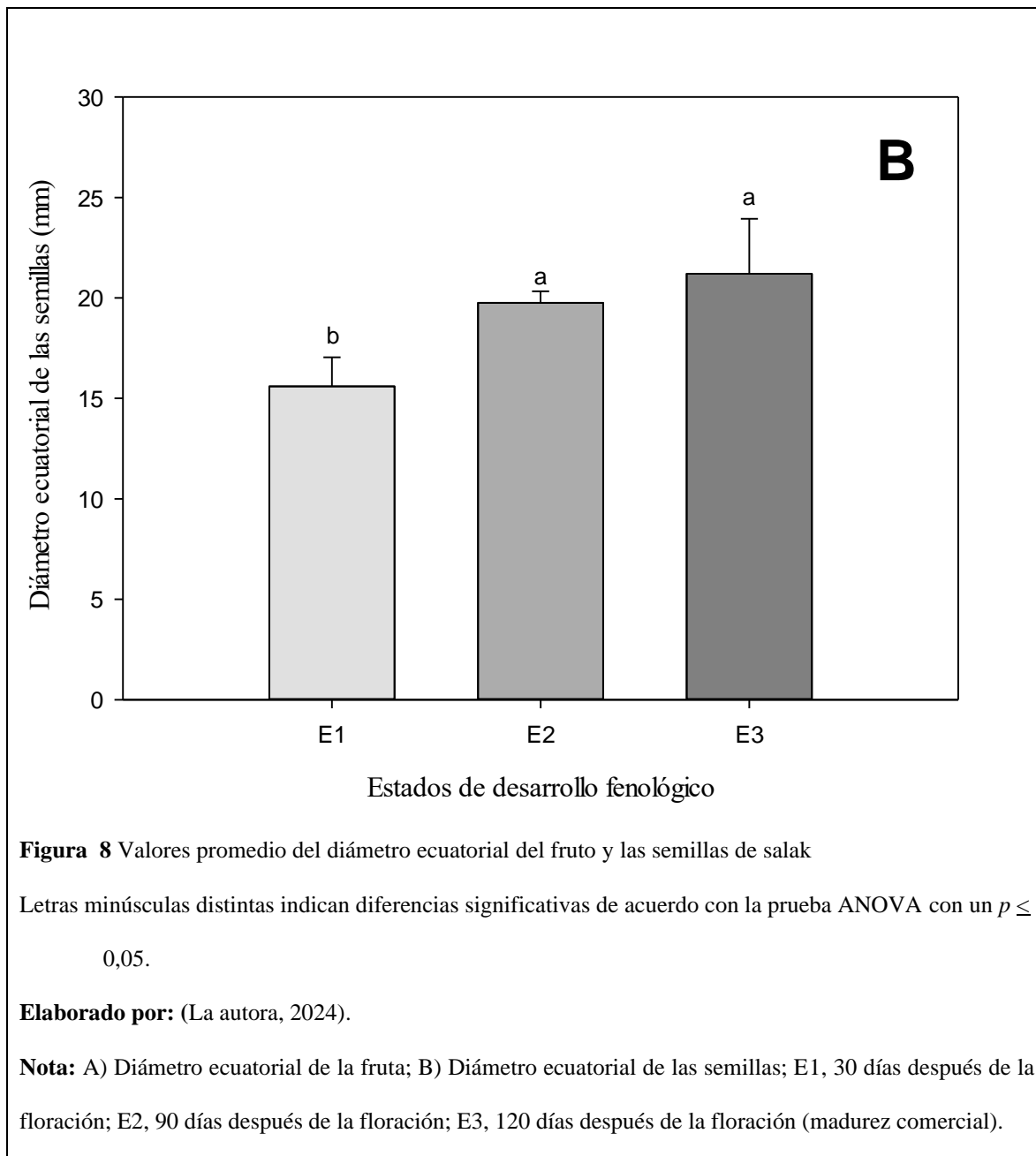


En la Figura 8 se presentan los valores promedio del diámetro ecuatorial de los tres estados de desarrollo fenológico de la fruta completa (Figura 8-A) y las semillas (Figura 8-B) de salak. El

diámetro ecuatorial de la fruta mostró diferencias estadísticas en los tres estados de desarrollo fenológico. Los resultados del diámetro ecuatorial del fruto de salak en el estado de desarrollo E3, estuvieron en concordancia con los resultados reportados por otros autores quienes presentaron un rango entre 4,0 a 7,0 cm para fruta madura (Ismail & Abu, 2018). A su vez, otros autores mostraron un valor de 5,1 g (Coyago-Cruz, Guachamin, Villacís, et al., 2023). Por otra parte, el diámetro ecuatorial de las semillas mostró igualdad estadística entre los estados de desarrollo fenológico E2 y E3. Estos valores fueron comparables con los valores reportados por otros autores que presentaron un rango entre 15,0 a 27,0 mm (Lim, 2012).

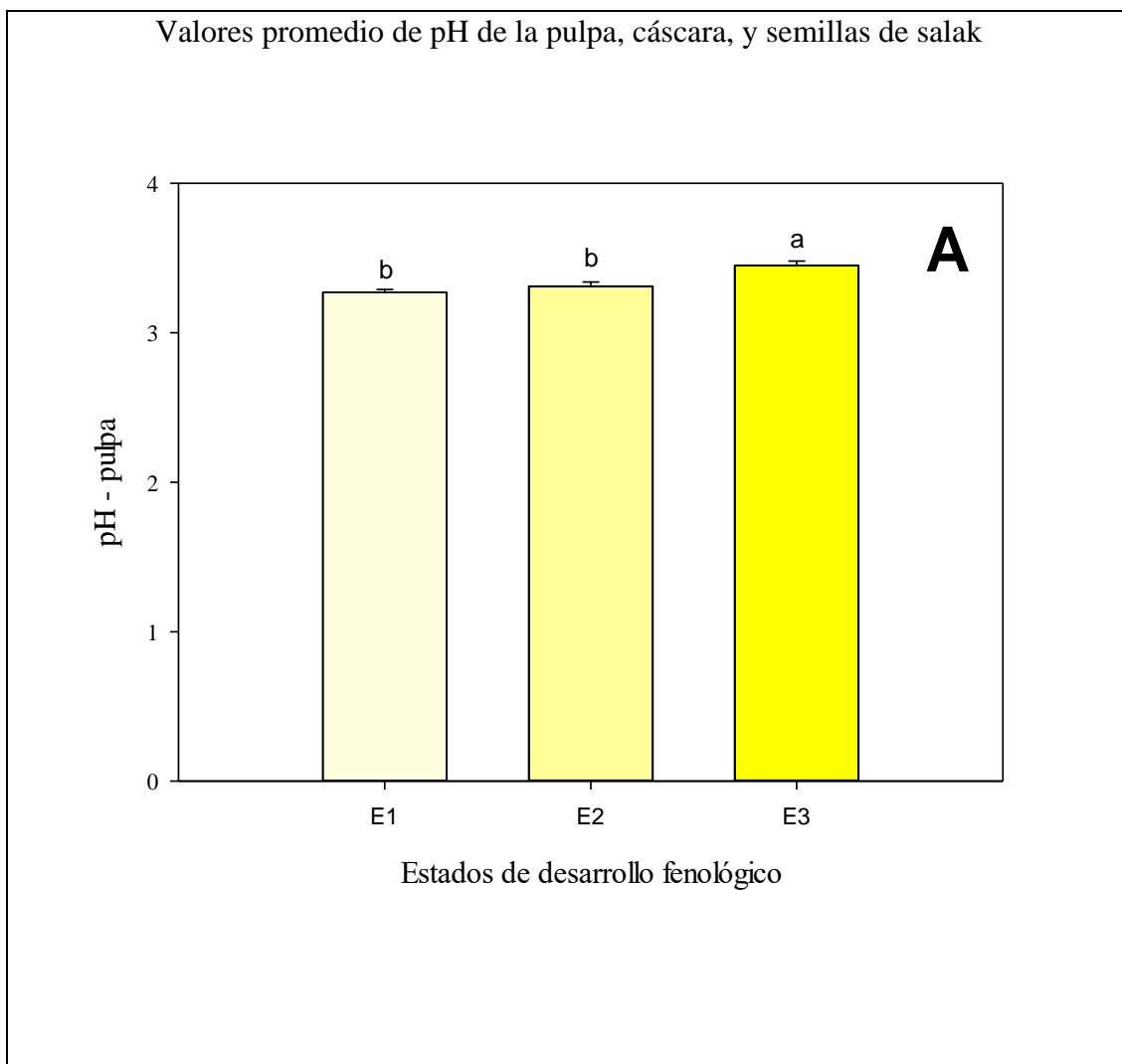
Diámetro ecuatorial del fruto y las semillas de salak

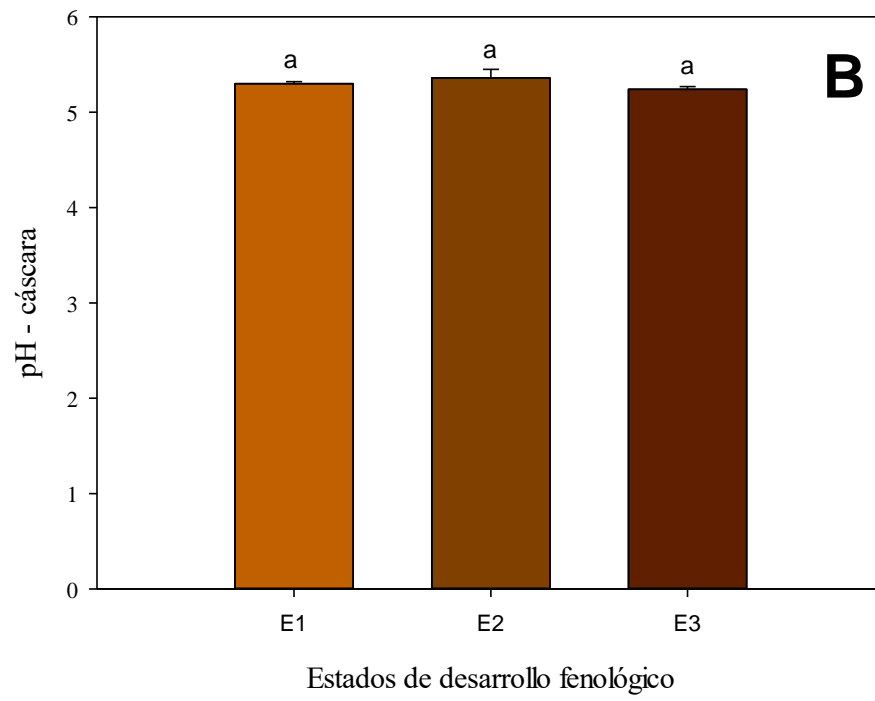


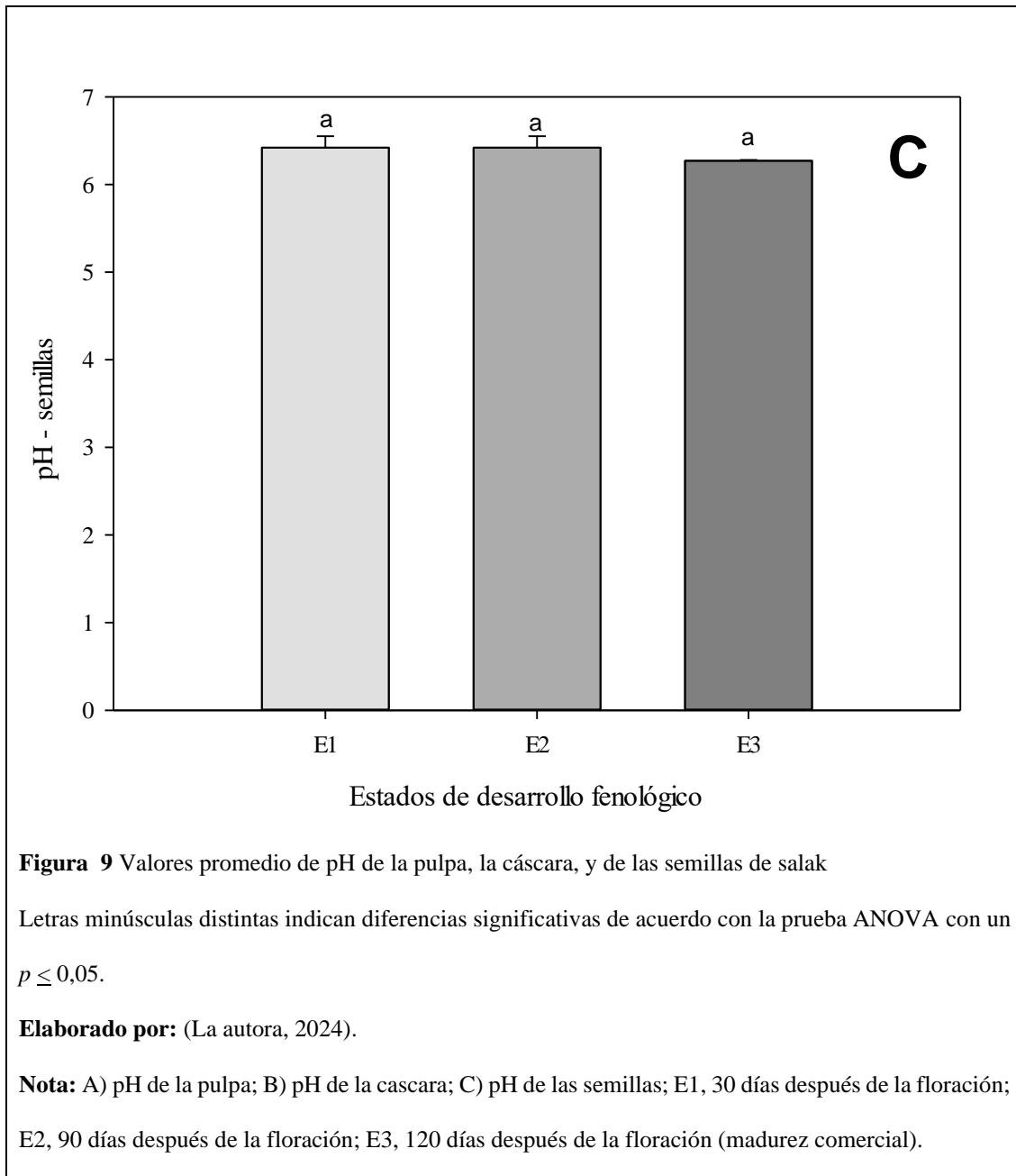


- pH

En la Figura 9 se presentan los valores promedio del pH de los tres estados de desarrollo fenológico de la pulpa (Figura 9-A) las semillas (Figura 9-B) y la cáscara (Figura 9-C) de salak. Los valores de pH de la pulpa fueron mayores en el estado de desarrollo fenológico E3, sin embargo fueron menores a los reportados por otros autores, quienes presentaron un rango de pH de 4,2 a 5,2 (Djaafar et al., 2024). A su vez, otros autores mostraron un valor de pH de 4,2 en fruta madura de salak (Coyago-Cruz, Guachamin, Villacís, et al., 2023). Para el caso de la cáscara y las semillas no se mostraron diferencias significativas en los tres estados de desarrollo fenológico.





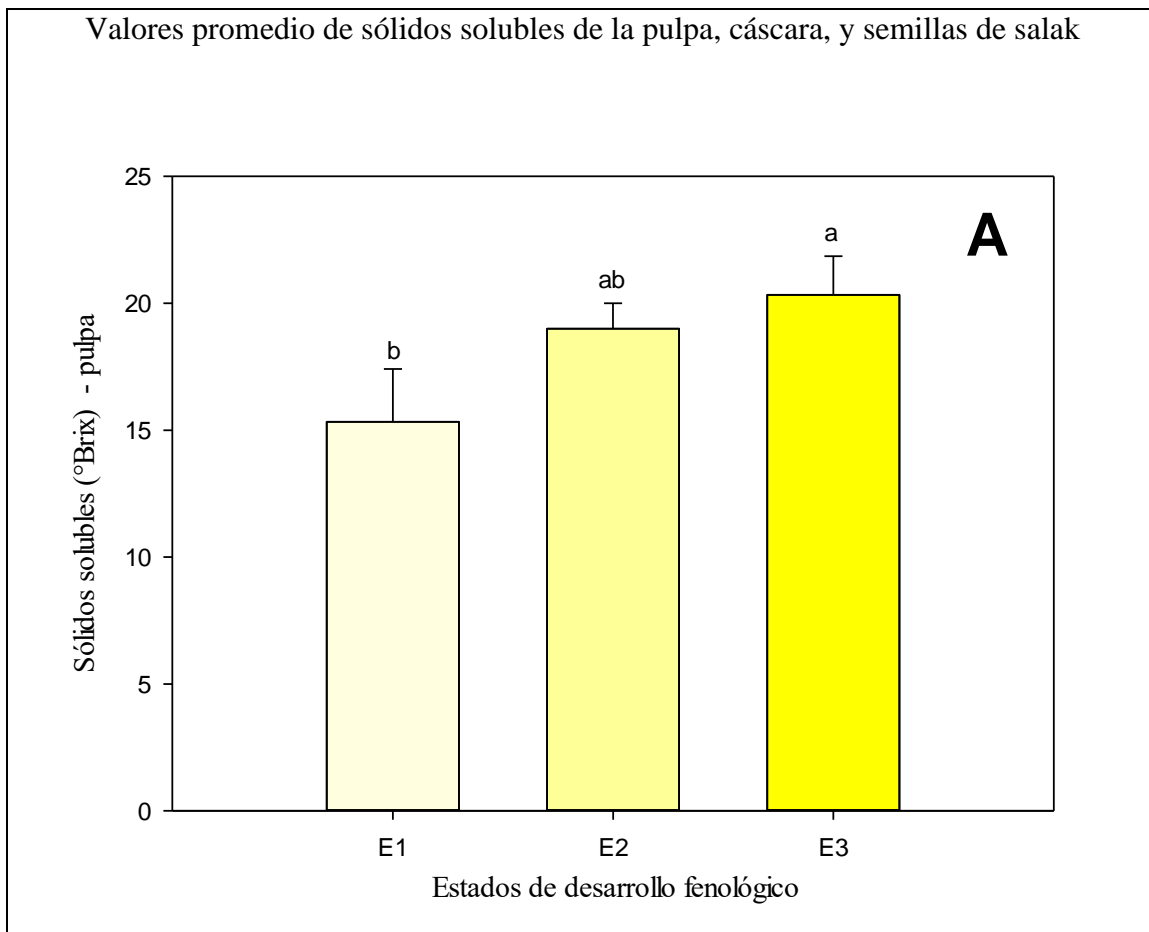


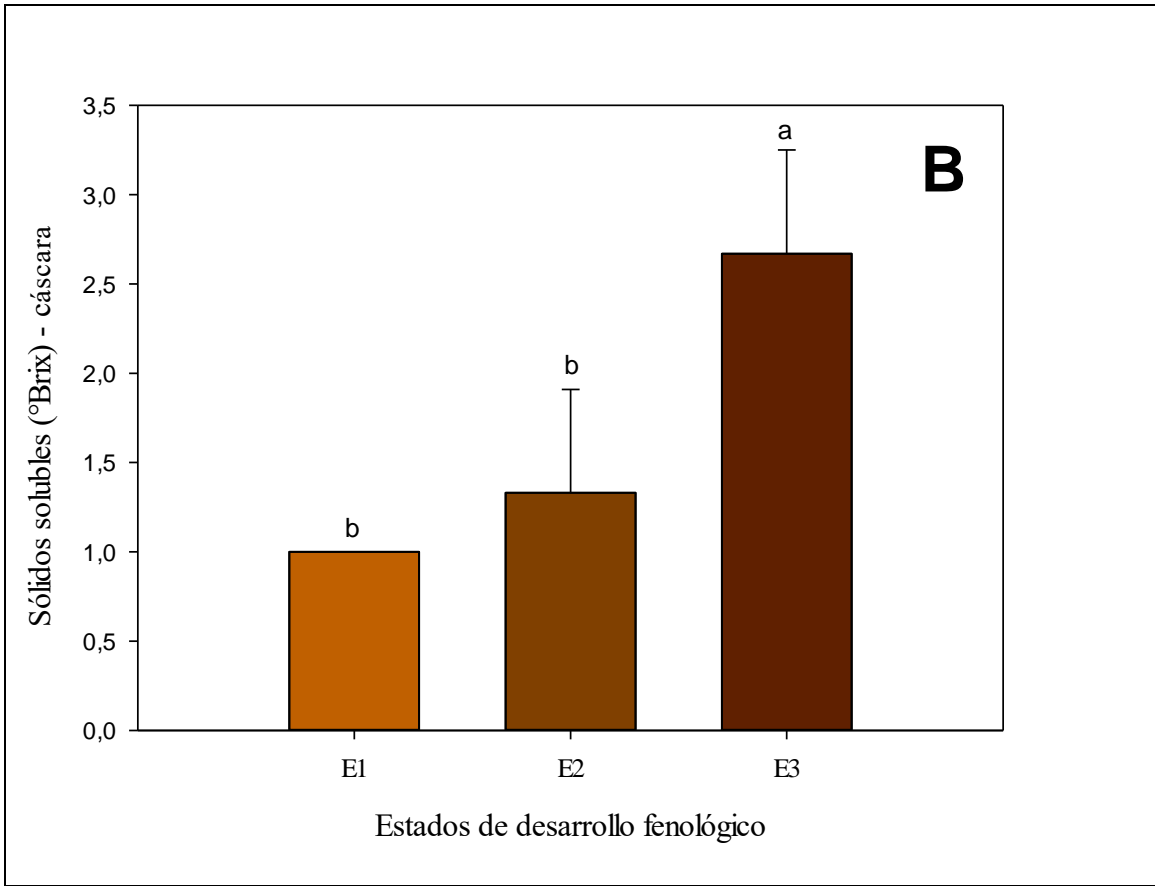
Sólidos solubles

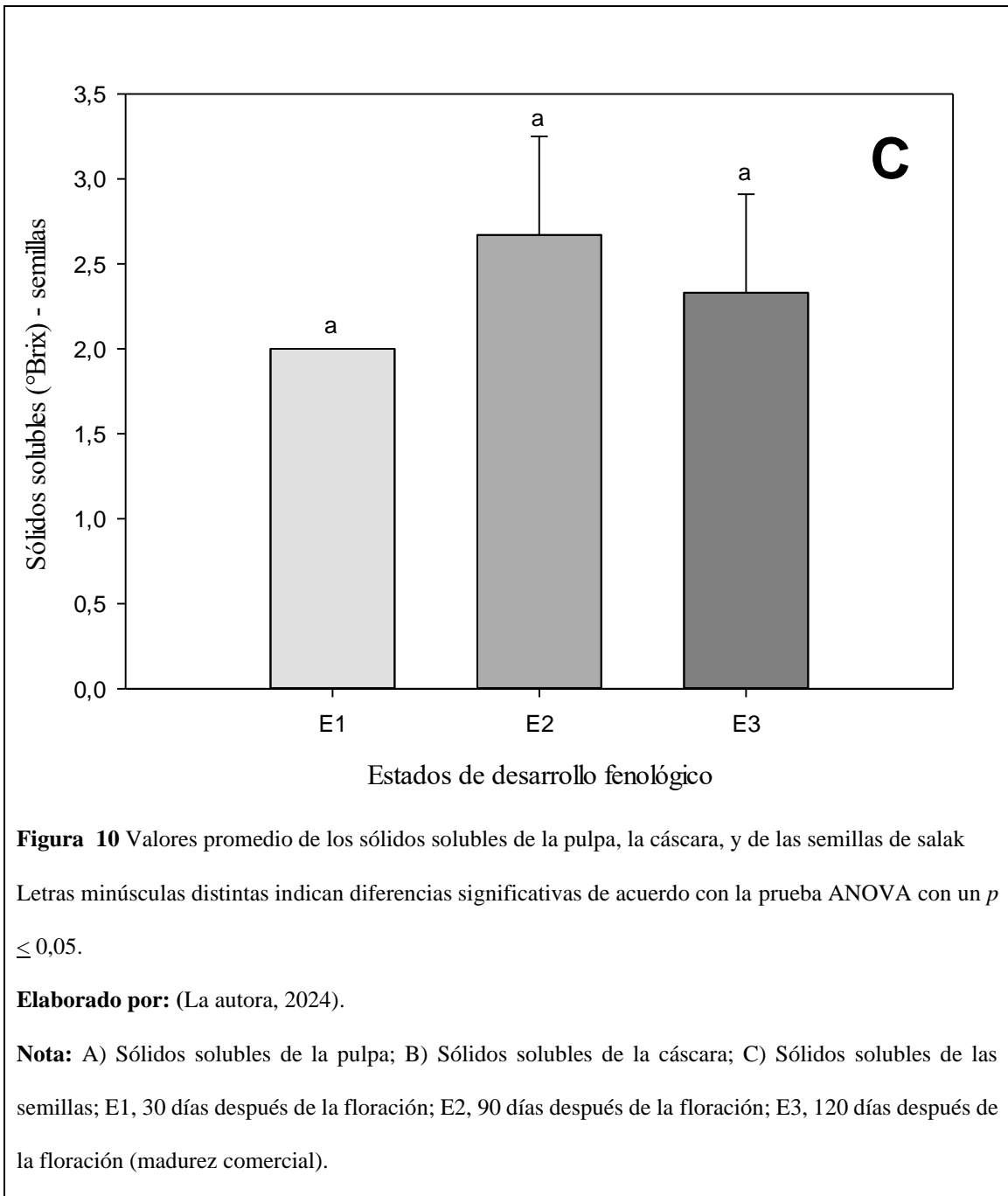
En la Figura 10 se presentan los valores promedio de los sólidos solubles de los tres estados de desarrollo fenológico de la pulpa (Figura 10-A), semillas (Figura 10-B) y cáscara (Figura 10-C)

de salak. Así, la pulpa mostró altas concentraciones de sólidos solubles en la madurez comercial (E3). Estos valores guardaron relación con los valores reportados por otros autores, quienes presentaron un rango entre 19,0 a 21,0 °Brix (Djaafar et al., 2024), mientras que otros autores presentaron un valor de 14,5 °Brix en fruta madura de salak (Coyago-Cruz, Guachamin, Villacís, et al., 2023).

Por otra parte, la cáscara mostró un patrón similar a la pulpa, reportando un alto valor en la madurez comercial E3. A su vez, las semillas presentaron igualdad estadística en los tres estados de desarrollo fenológico.



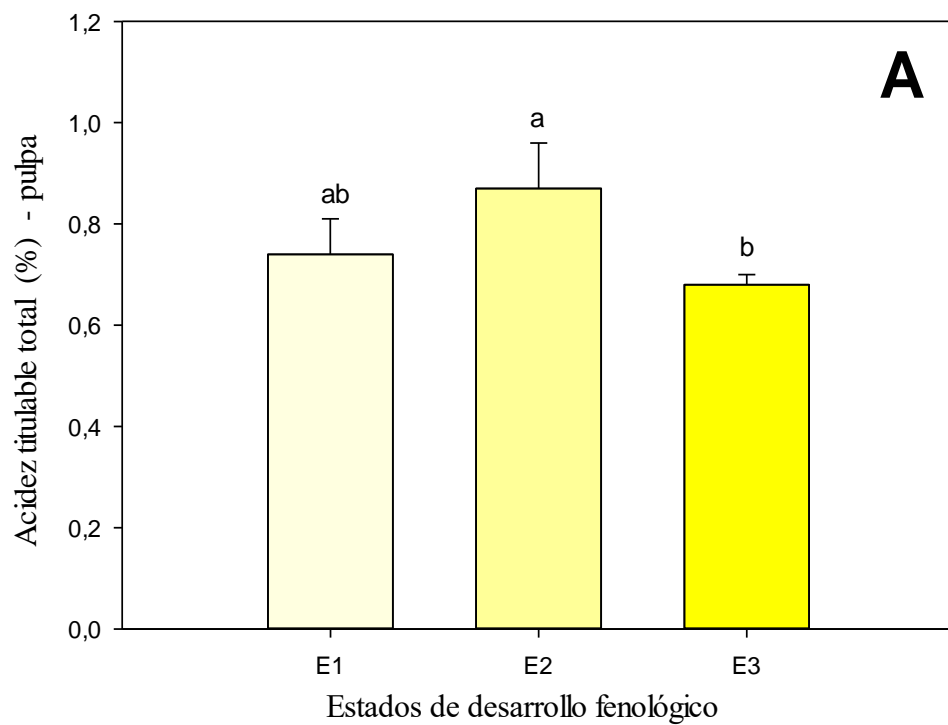


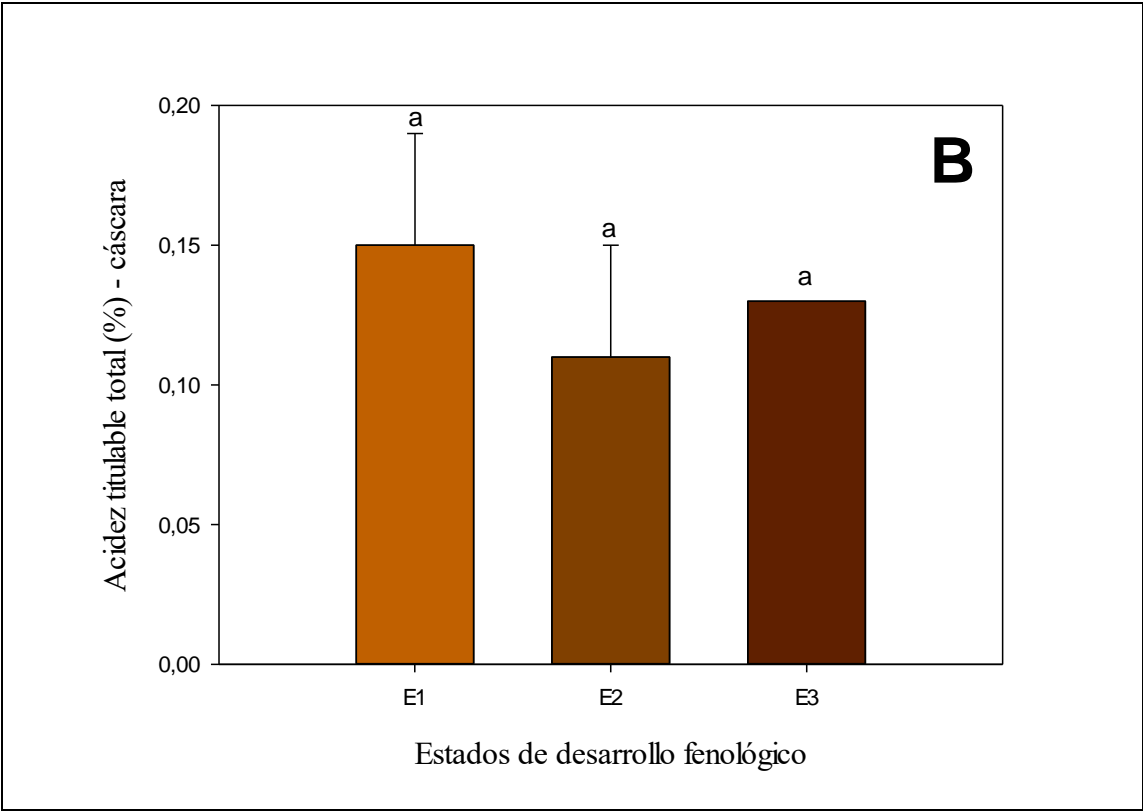


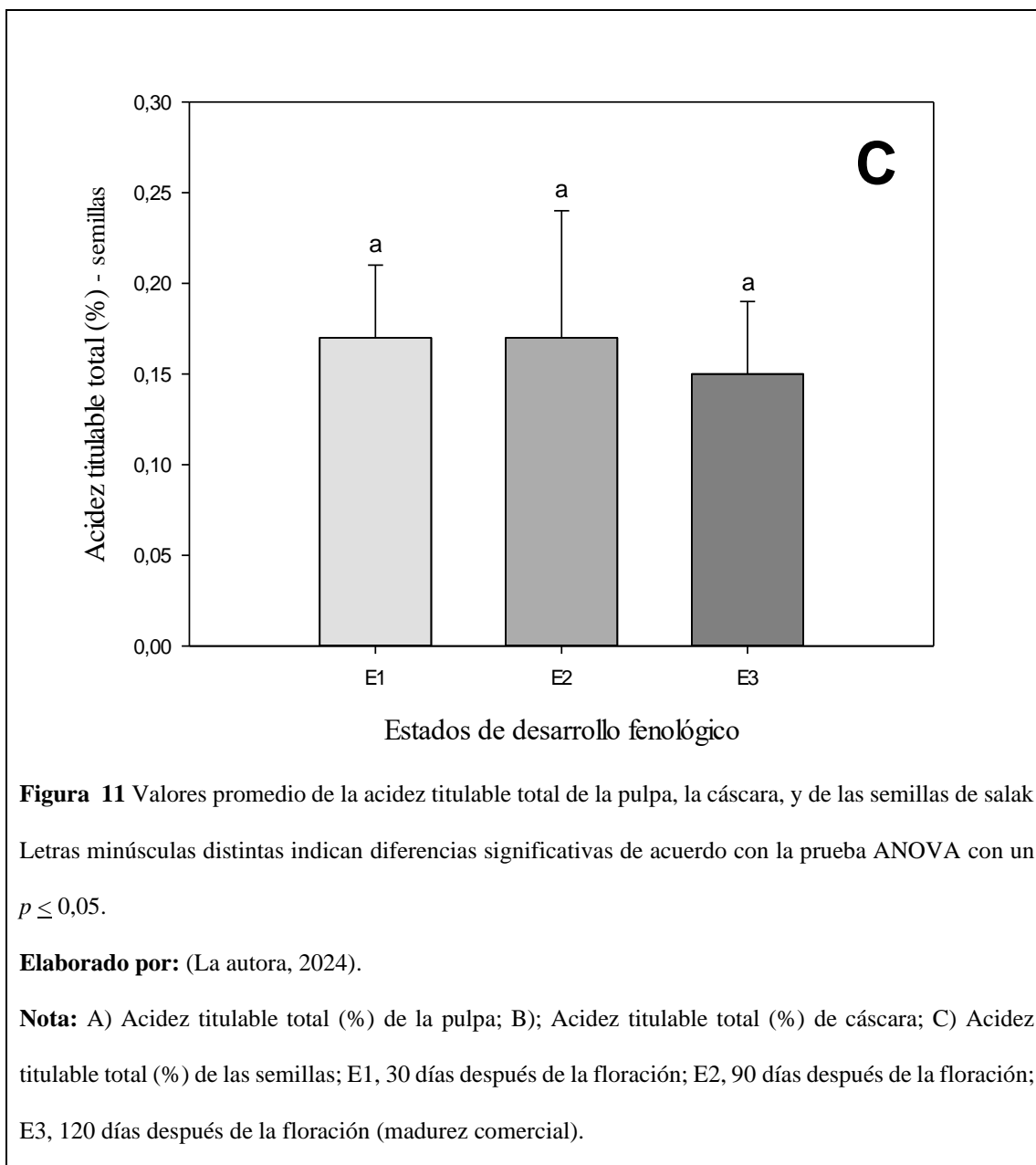
Acidez titulable total

En la Figura 11 se presentan los valores promedio de la acidez titulable total de los tres estados de desarrollo fenológico de la pulpa (Figura 11-A), cáscara (Figura 11-B) y semillas (Figura 11-C) de salak. Así, la pulpa mostró altas concentraciones en el estado de desarrollo fenológico E2. Los resultados para fruta madura de salak (E3) presentó valores comparables con otros autores, quienes presentaron un valor de 0,6 % (Coyago-Cruz, Guachamin, Villacís, et al., 2023). Por otra parte, la cáscara no mostró diferencias significativas entre los tres estados de desarrollo fenológico, al igual que las semillas.

Valores promedio de acidez titulable total de la pulpa, cáscara, y semillas de salak





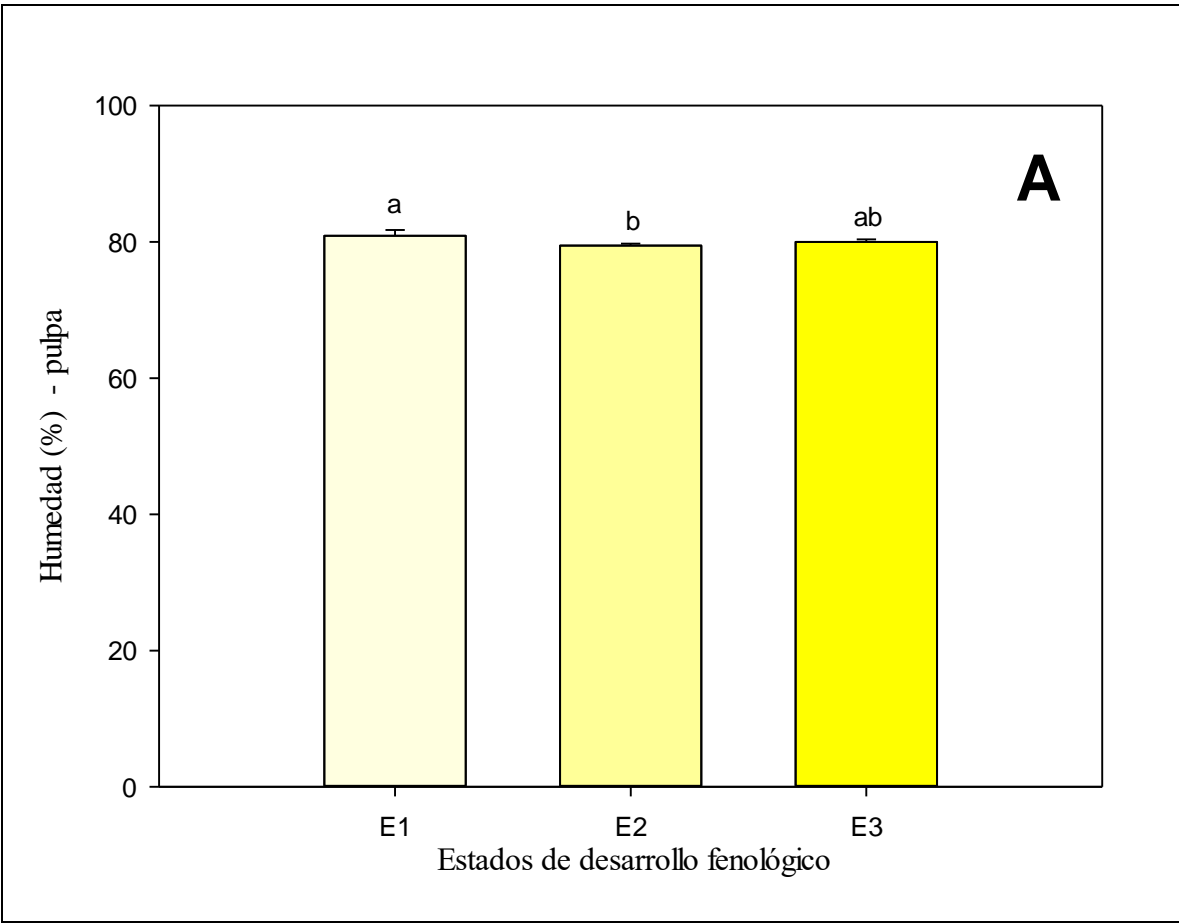


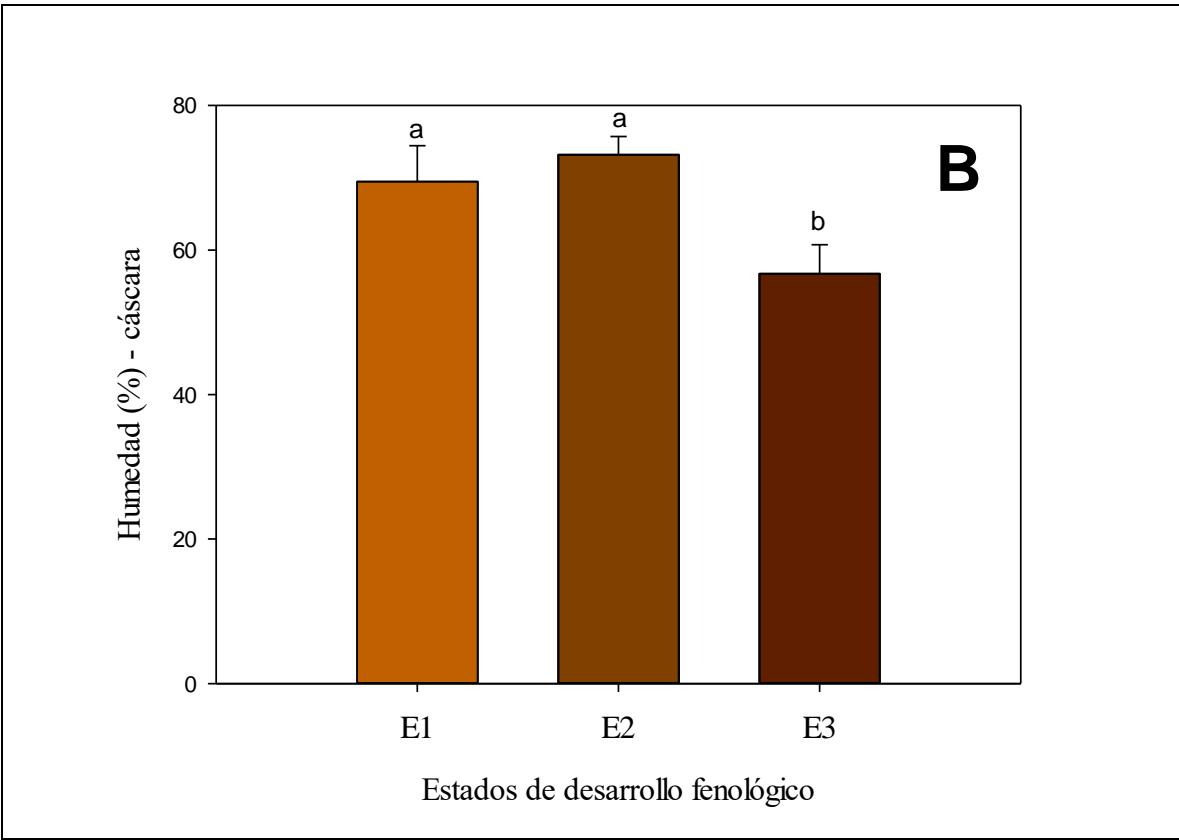
Humedad

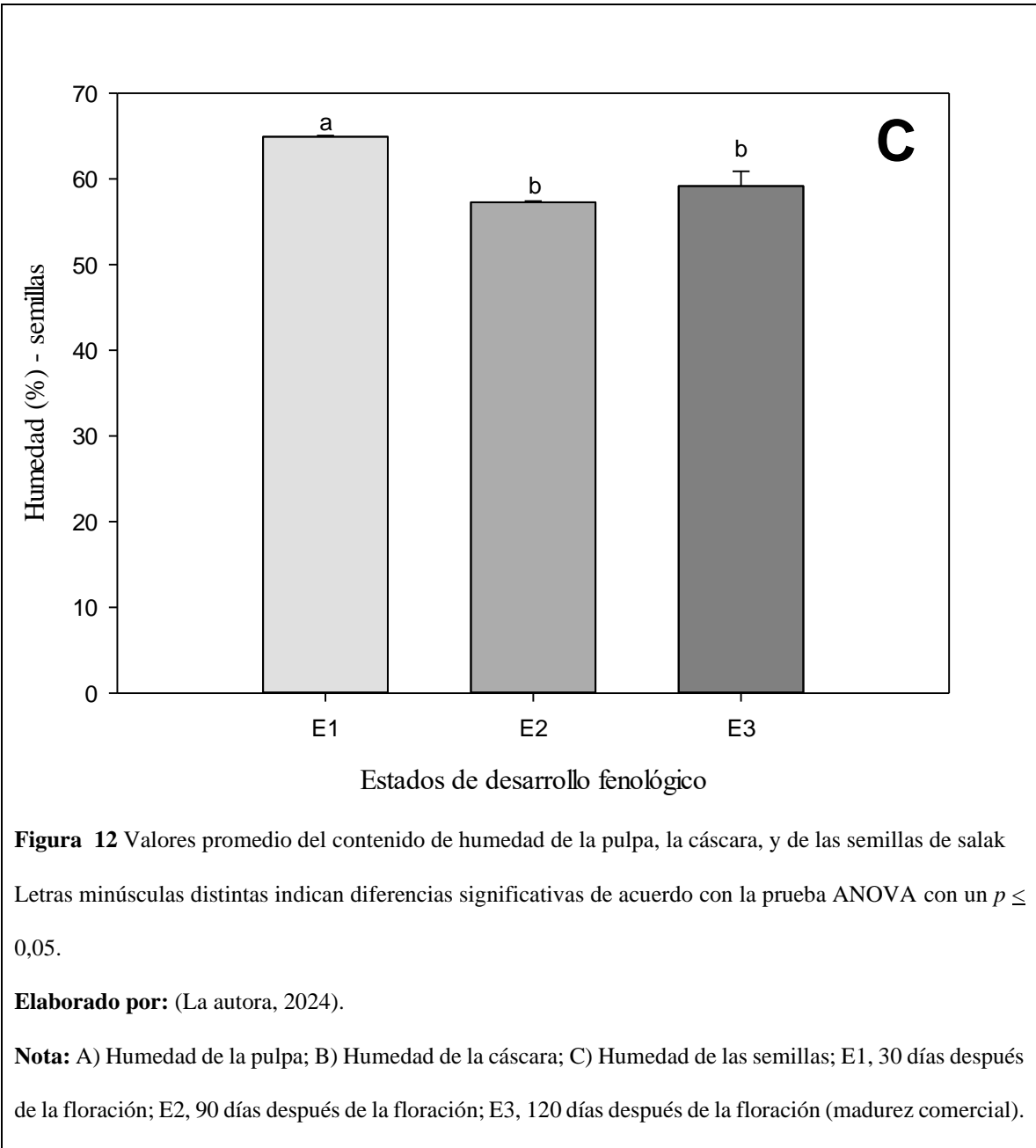
En la Figura 12 se presentan los valores promedio del porcentaje de humedad de los tres estados de desarrollo fenológico de la pulpa (Figura 12 -A), cáscara (Figura 12 -B) y semillas (Figura 12-

C) de salak. Así, la pulpa mostró altos porcentaje de humedad en el estado de desarrollo fenológico E1. Los resultados de este estudio correspondiente al estado de madurez comercial (E3) fueron inferiores a los reportados por otros autores que presentaron un valor de 97,1% (Coyago-Cruz, Guachamin, Villacís, et al., 2023). Estas diferencias pueden deberse al hecho de que la humedad varía en función del lugar de origen de la fruta y de las condiciones agronómicas y ambientales de la fruta, tal como sugieren otros autores (Coyago-Cruz, Corell-González, et al., 2017). Por otra parte, la humedad de la cáscara mostró igualdades estadísticas en los estados E1 y E2, mientras que la semilla mostró altos valores en el estado E1.

Valores promedio de humedad de la pulpa, cáscara, y semillas de salak

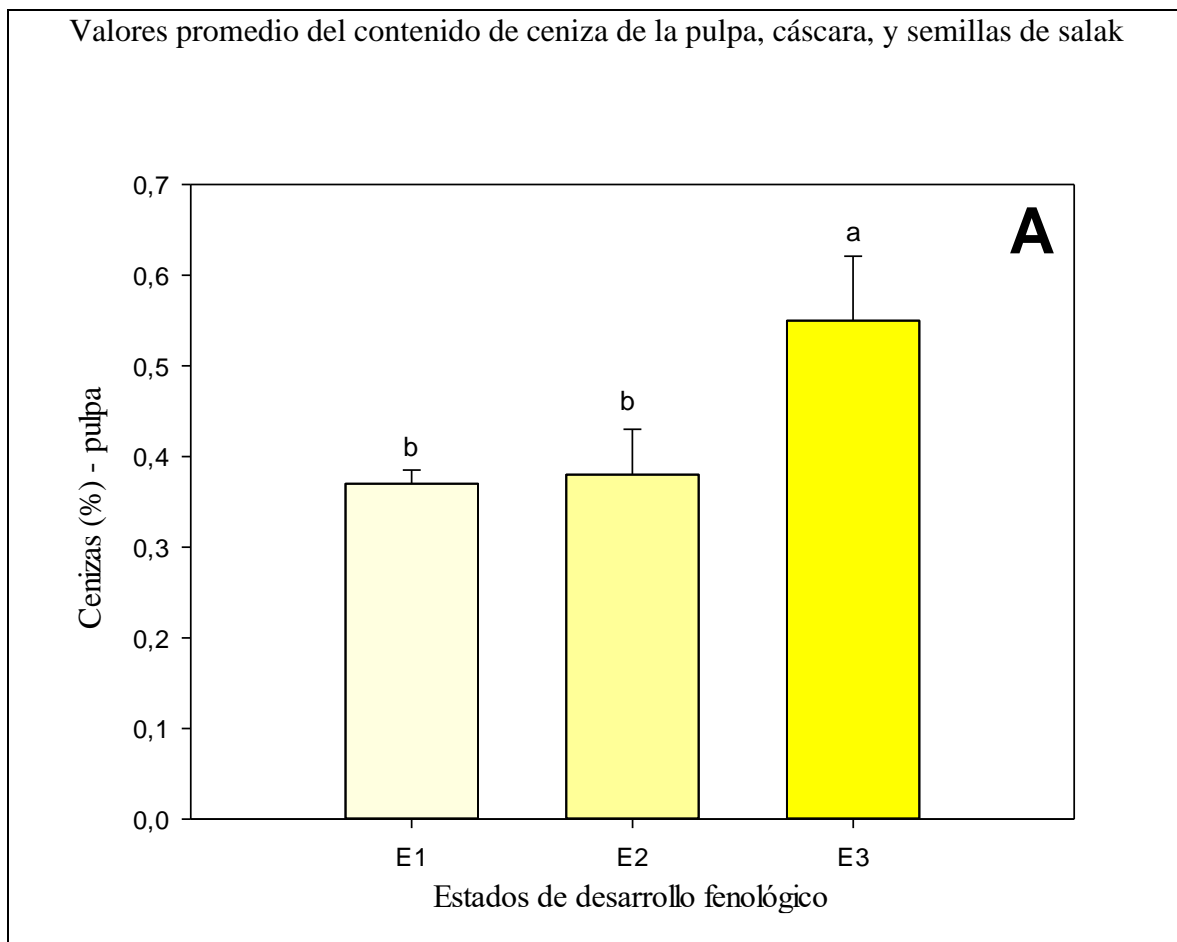


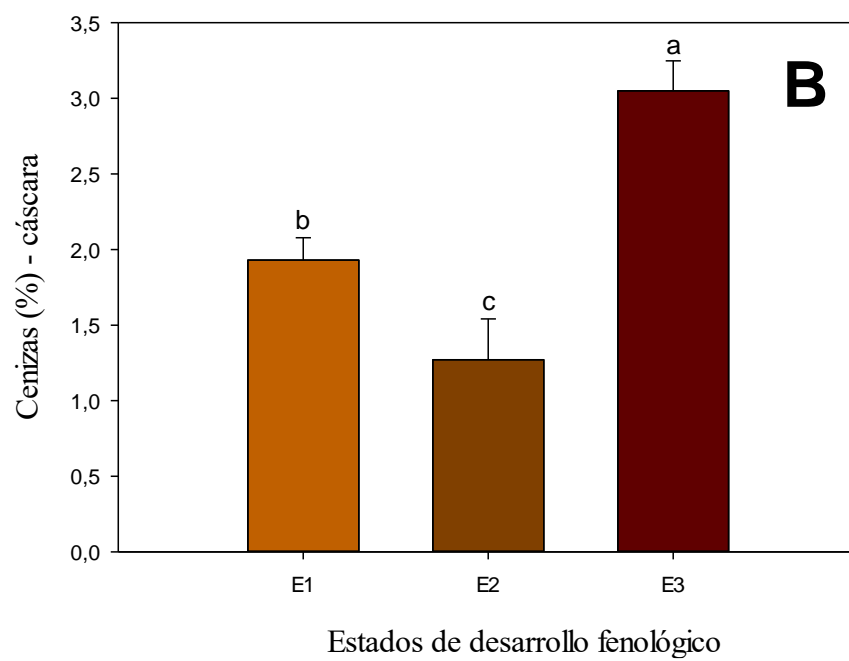


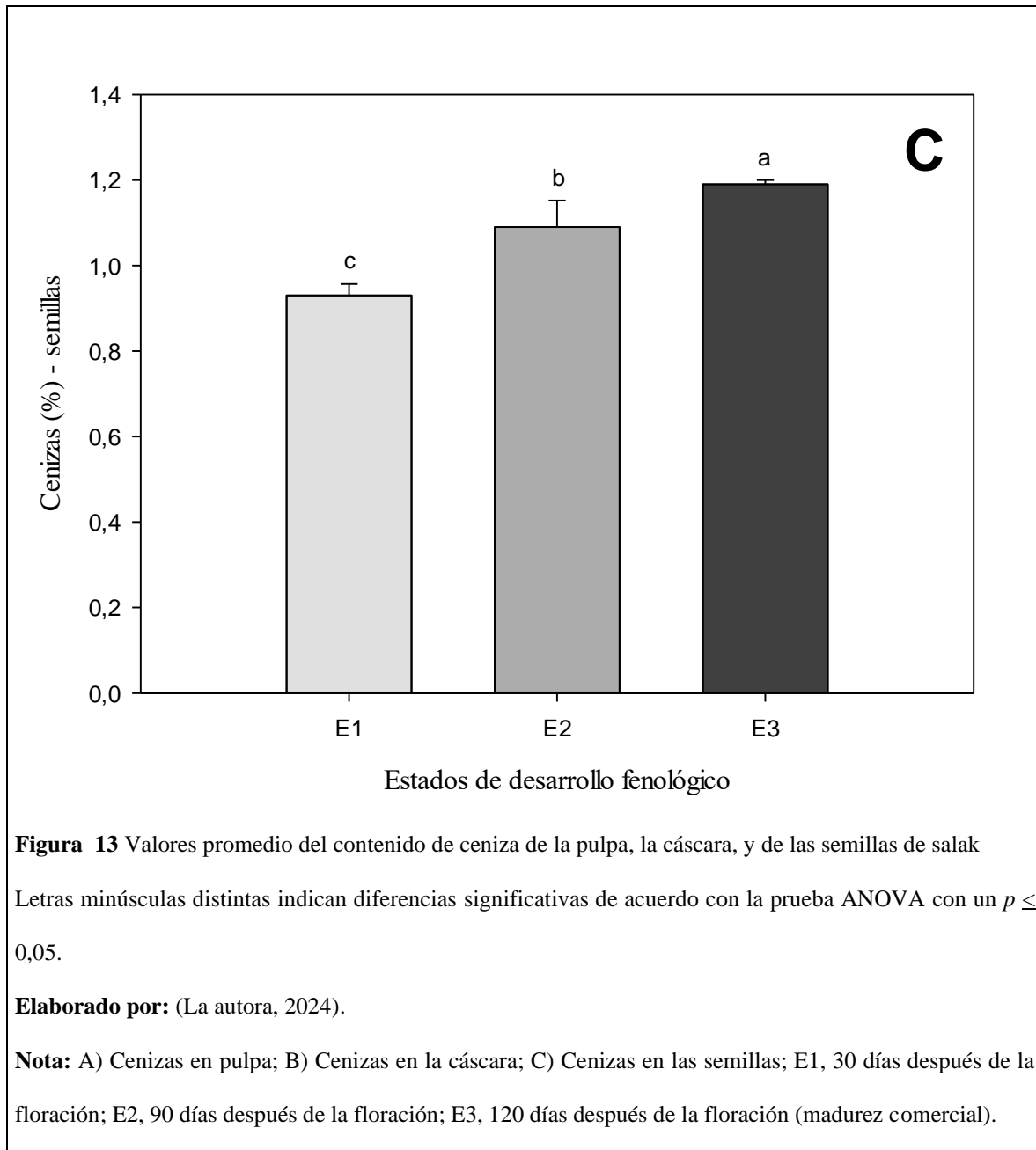


Cenizas

En la Figura 13 se presentan los valores promedio del contenido de cenizas de los tres estados de desarrollo fenológico de la pulpa (Figura 13-A), cáscara (Figura 13-B) y semillas (Figura 13-C) de salak. Así, la pulpa mostró altas concentraciones de cenizas en el estado de desarrollo fenológico E3, al igual que la cáscara y las semillas. Los resultados de la madurez comercial de salak en la pulpa fueron menores a los reportados por otros autores, quienes presentaron un valor de 0,7% de contenido de cenizas en fruta madura (Coyago-Cruz, Guachamin, Villacís, et al., 2023).





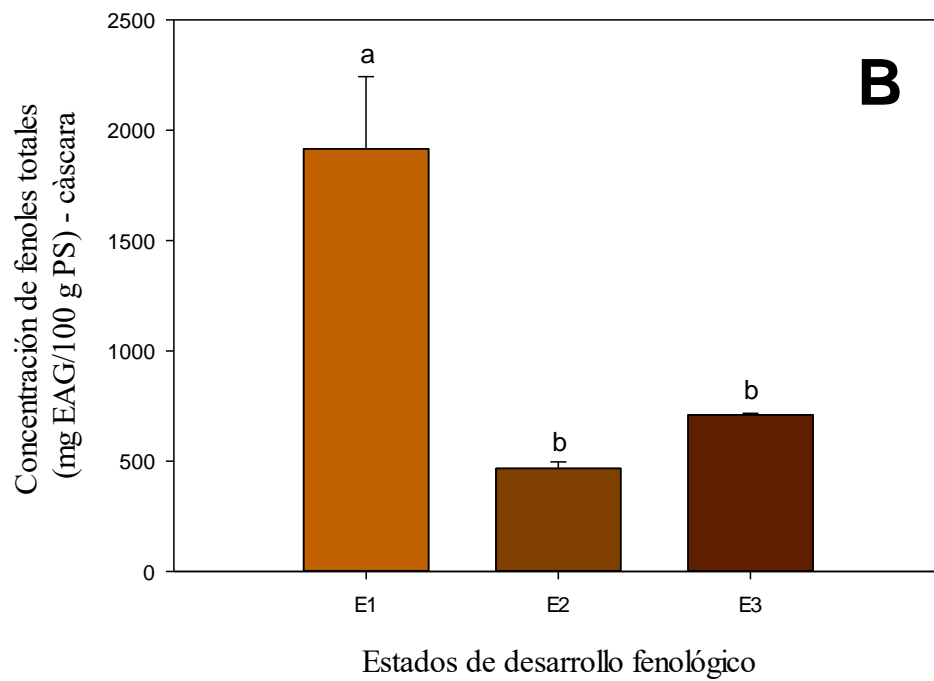
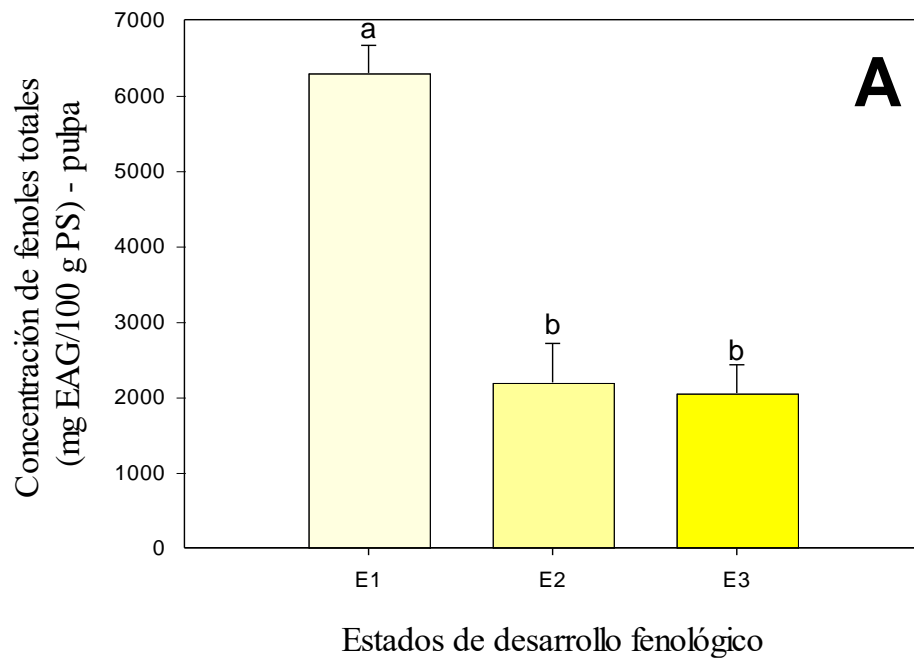


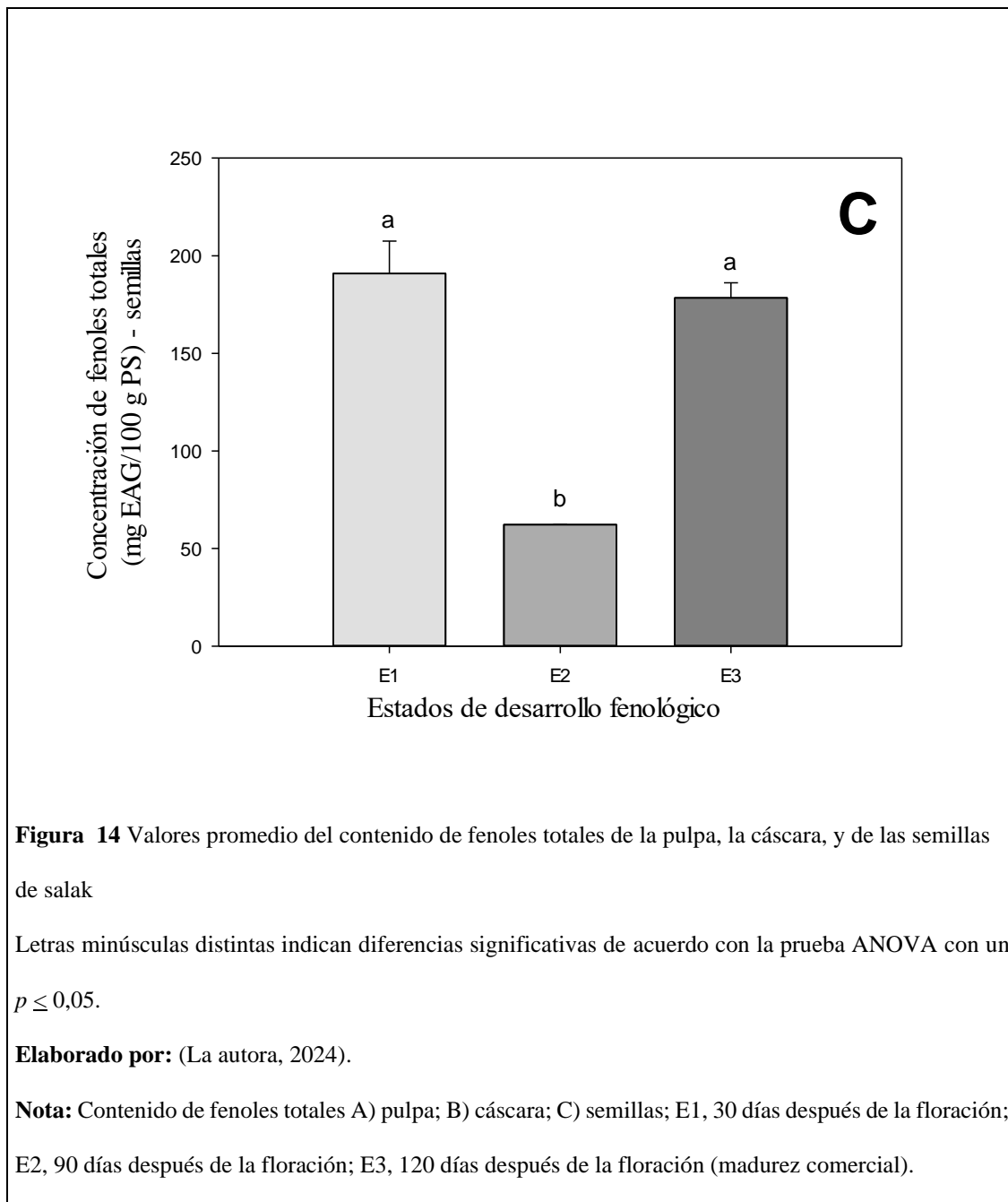
4.2 Contenido de compuestos fenólicos totales en tres estados de madurez de la pulpa, semillas y cáscara del salak

En la Figura 14 se muestra los valores promedio de la concentración de fenoles totales presentes en los tres estados de desarrollo fenológico de la pulpa (Figura 14-A), cáscara (Figura 14-B) y semillas (Figura 14-C) de salak. Los resultados mostraron que la pulpa en el estado de desarrollo E1 presentó una mayor concentración de fenoles totales, con un valor de 6295,9 mg EAG/100 g PS. Así, las concentraciones de fenoles totales en fruta madura en este estudio fueron superiores a los reportados por otros autores que presentaron un valor de 175,9 μ g EAG/ g peso fresco (Saleh et al., 2018), otros autores un rango entre 217,80 a 324,90 mg EAG/100 g en pulpa fresca (Mazumdar et al., 2019) y otros un valor de 217,1 mg EAG/100 g en peso fresco (Lim, 2012).

En caso de la cáscara, la mayor concentración se obtuvo a un estado de desarrollo fenológico E1, mientras que en las semillas se presentó una igualdad estadística entre el estado E1 y E3.

Valores promedio de la concentración de fenoles totales de la pulpa, cáscara, y semillas de salak
--

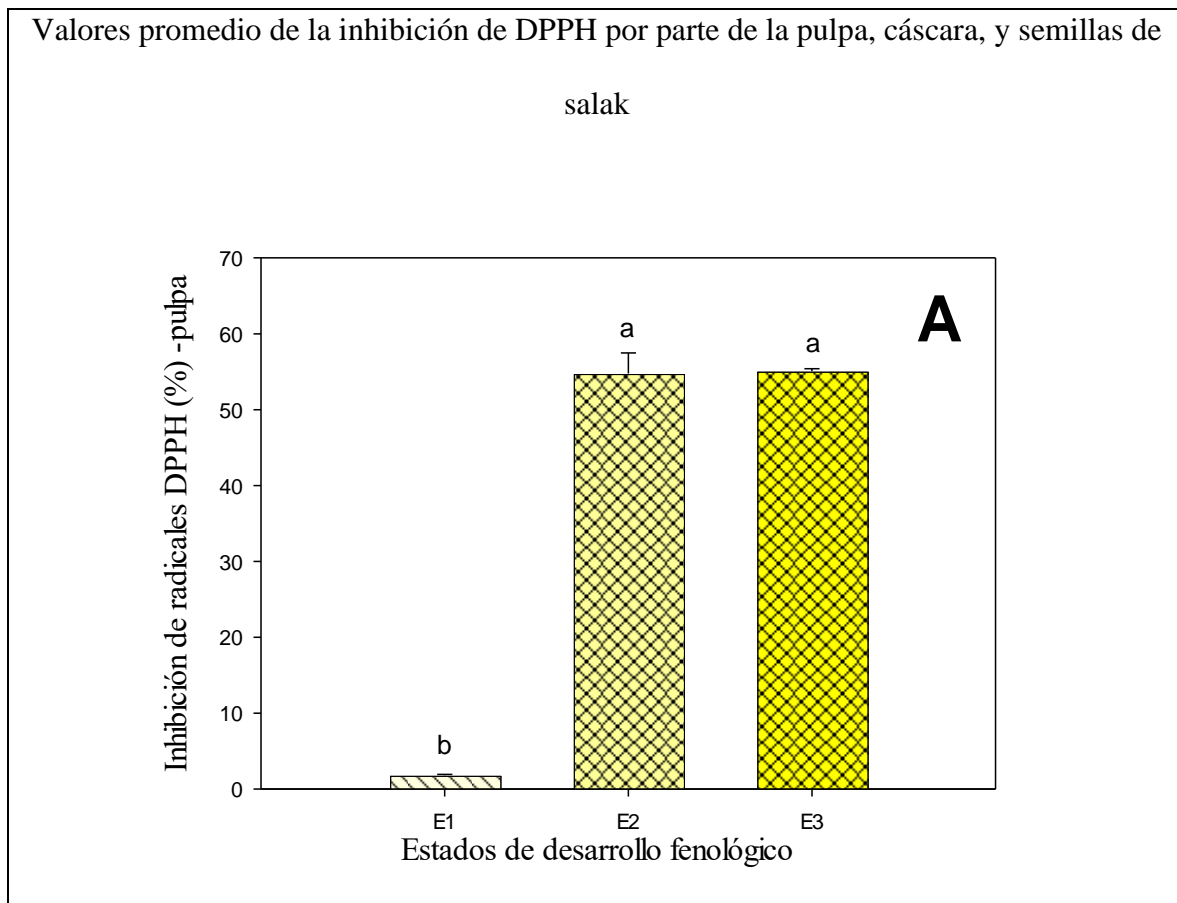




4.3 Actividad antioxidante en tres estados de madurez de la pulpa, semillas y cáscara de salak

- **Actividad antioxidante por DPPH**

En la Figura 15 se presenta los valores promedio de la inhibición de los radicales DPPH por parte de la pulpa (Figura 15-A), cáscara (Figura 15-B) y semillas (Figura 15-C) de salak en los tres estados de desarrollo fenológico. Así, la pulpa mostró la mayor inhibición en el estado de desarrollo fenológico E2 y E3. En el caso de la cáscara y las semillas, se reportaron altas concentraciones en el estado de desarrollo E2.



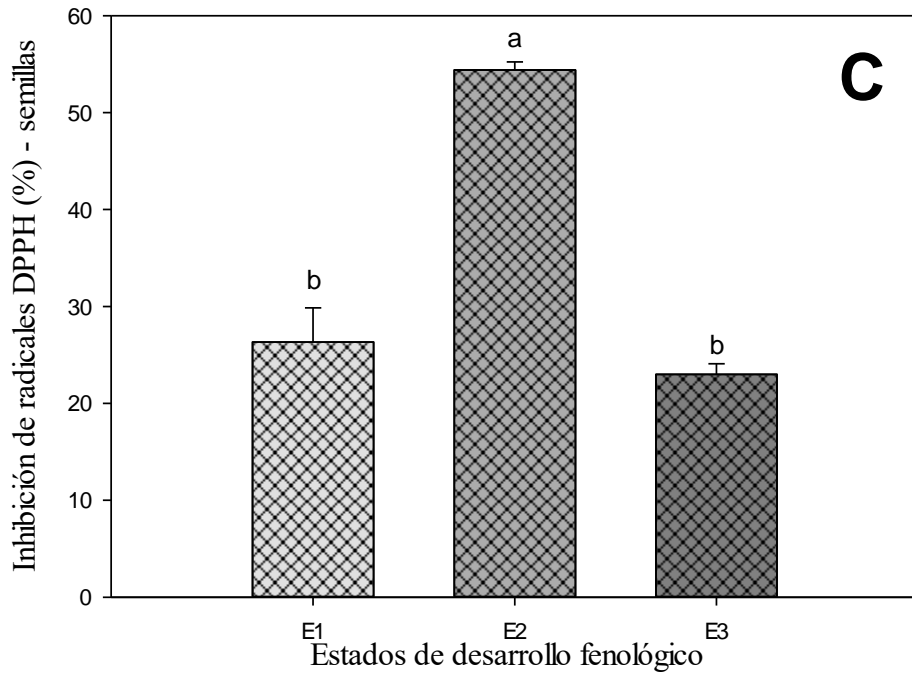
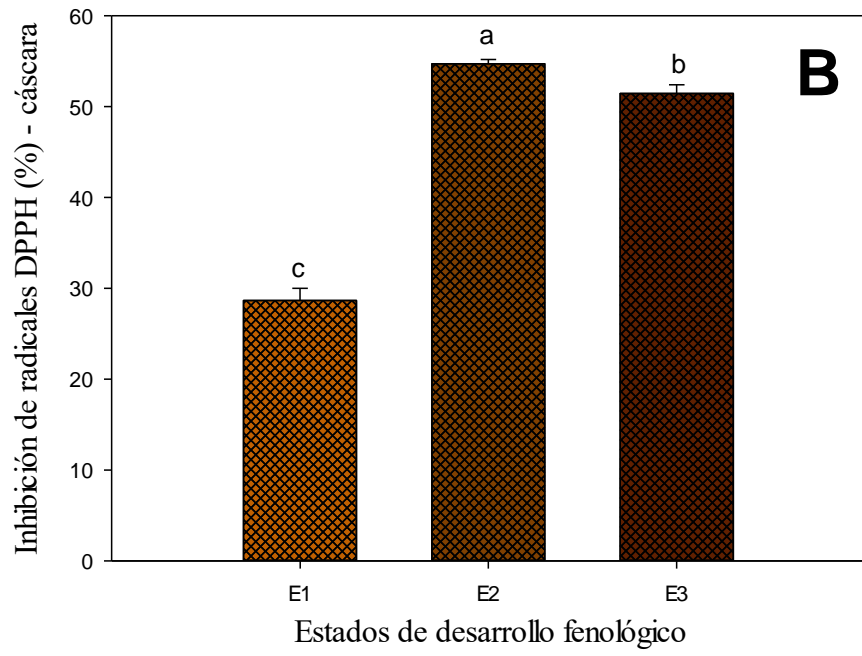


Figura 15 Valores promedio de inhibición de DPPH por parte de la pulpa, la cáscara, y de las semillas de salak

Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba ANOVA con un $p \leq 0,05$.

Elaborado por: (La autora, 2024).

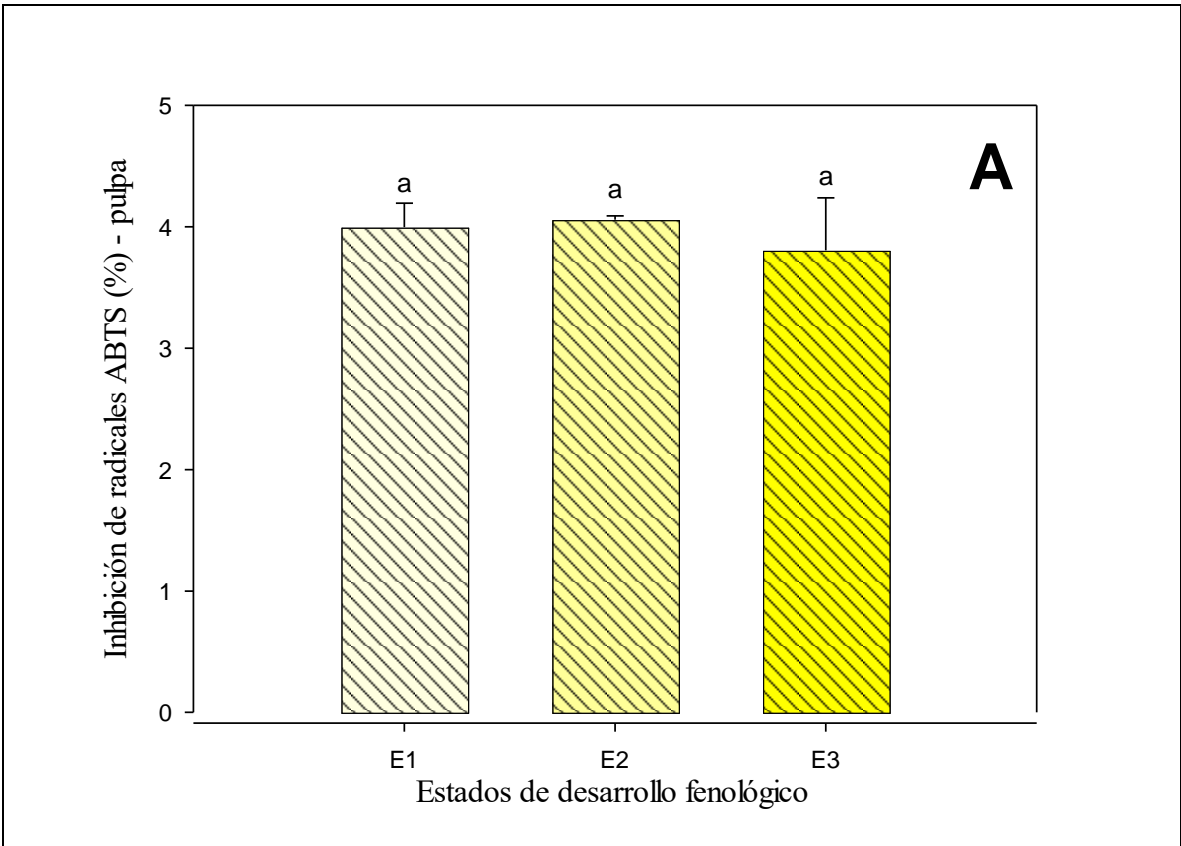
Nota: Inhibición de radicales libres DPPH (%) A) pulpa; B) cáscara; C) semillas; E1, 30 días después de la floración; E2, 90 días después de la floración; E3, 120 días después de la floración (madurez comercial).

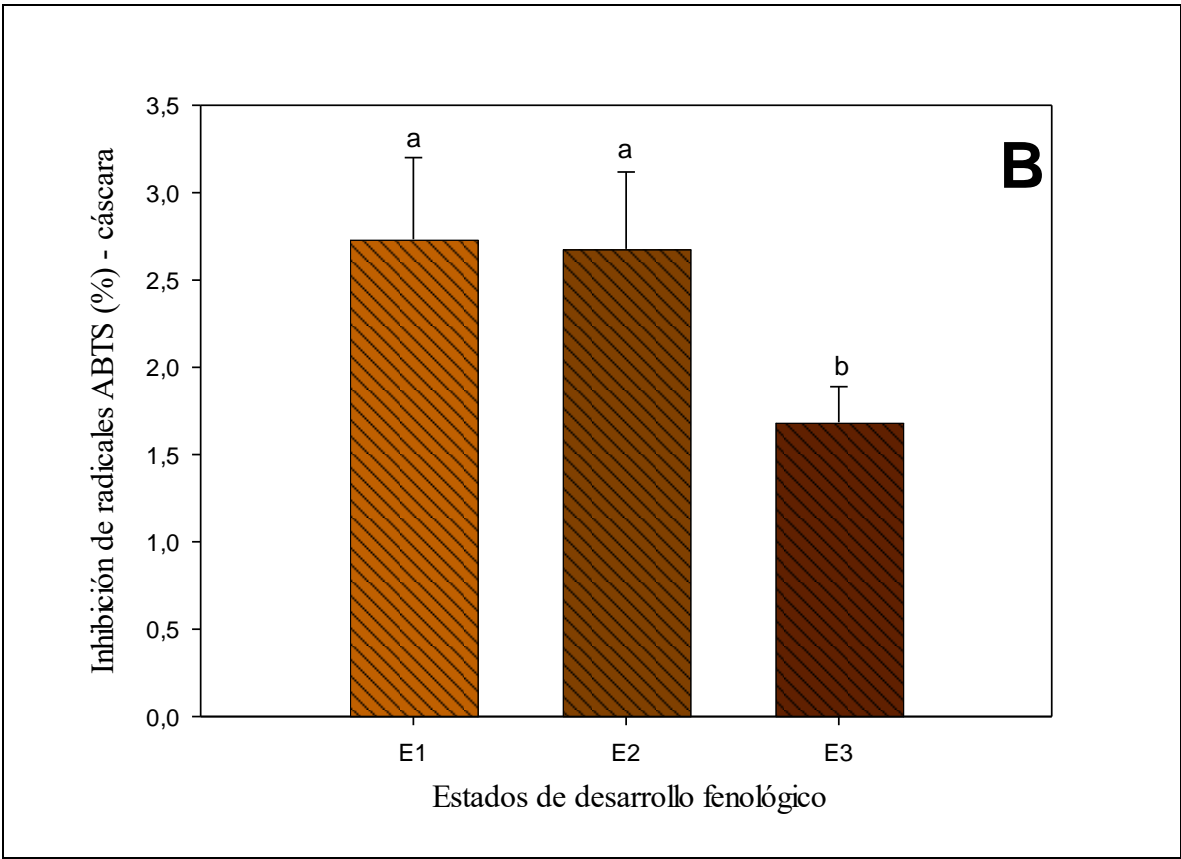
- **Actividad antioxidante por ABTS**

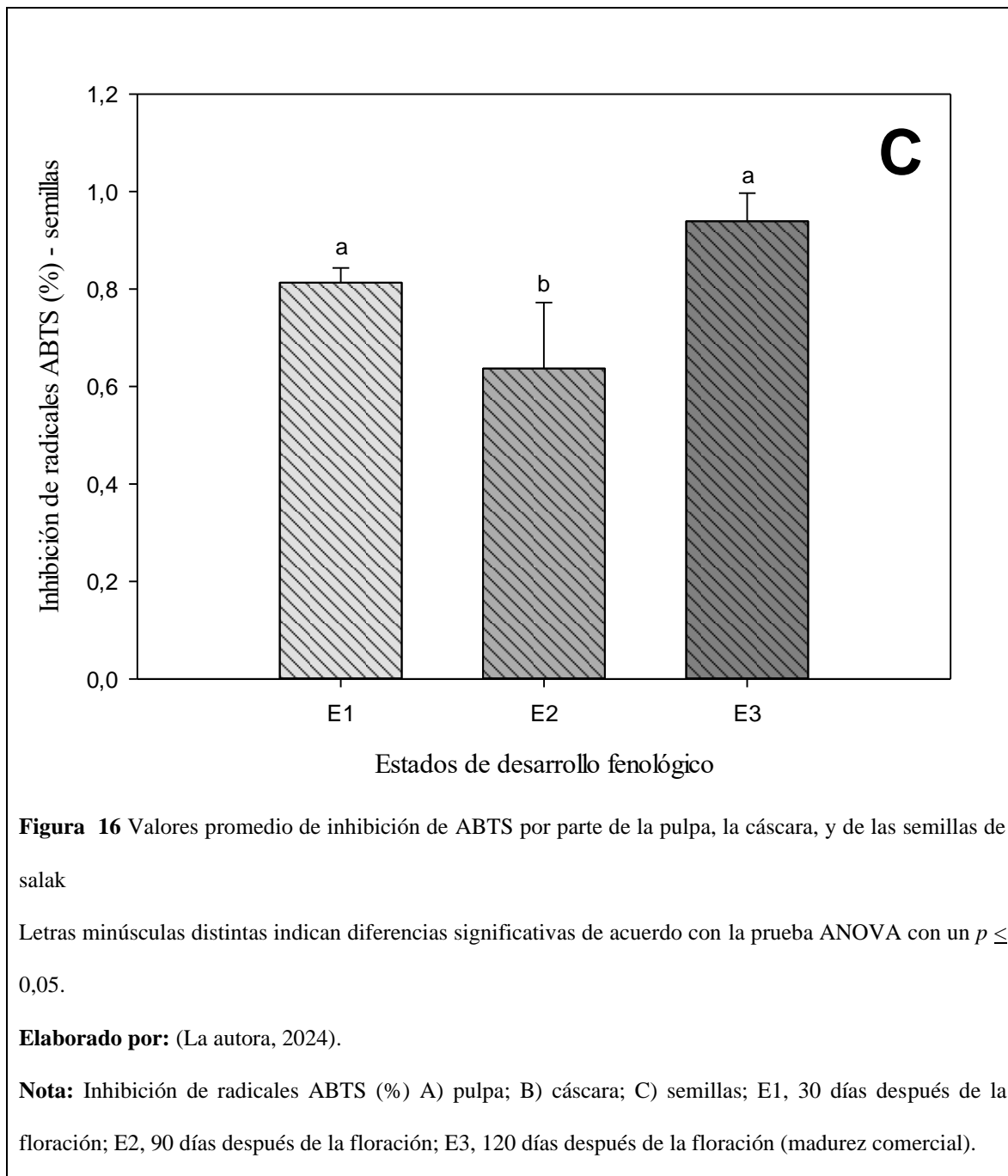
En la Figura 16 se presenta los valores promedio de la inhibición de los radicales ABTS por parte de la pulpa (Figura 16-A), cáscara (Figura 16-B) y semillas (Figura 16-C) de salak en los tres estados de desarrollo fenológico. Así, los resultados de la pulpa mostraron igualdad estadística en los tres estados de desarrollo fenológico. En el caso de la cáscara las mayores inhibiciones se observaron en el estado de desarrollo fenológico E1 y E2.

Además, en las semillas se presentaron igualdades estadísticas en el estado de desarrollo E1 y E3.

Valores promedio de la inhibición de ABTS por parte de la pulpa, cáscara, y semillas de salak







5 Conclusiones

El salak es una fruta exótica no originaria de Ecuador, sin embargo, se está abriendo paso en mercados nacionales como internacionales, lo que contribuye a la economía de los productores ecuatorianos. Los resultados de calidad comercial destacaron que el estado de desarrollo fenológico E3 presentó los valores más altos en peso del fruto completo (62,17 g) y de las semillas (4,93 g). Asimismo, en el estado E3, se obtuvieron mayores dimensiones en el diámetro longitudinal del fruto completo (55,95 mm) y de las semillas (22,26 mm), así como en el diámetro ecuatorial del fruto completo (52,11 mm) y las semillas (21,20 mm). El pH fue más elevado en las semillas (6,42) y en los estados E2 y E2, seguido por la cáscara (5,36) en E2 y la pulpa (3,45) en E3. En cuanto a los sólidos solubles, la pulpa en el estado E3 presentó el mayor contenido (20,33%), mientras que la cáscara (2,67%) y las semillas reportaron valores inferiores. La acidez titulable total fue más alta en la pulpa (0,85%) y en la cáscara (0,15%) en el estado E2, mientras que las semillas destacaron en E1 y E2. La pulpa mostró un alto contenido de humedad (80,91%) en el estado E1, seguida de las semillas (64,91%) y la cáscara (73,20%) en el estado E2. Las cenizas alcanzaron su mayor valor en la cáscara (3,05%) en E2.

Respecto a los compuestos fenólicos, la pulpa presentó la mayor concentración (6295,9 mg EAG/100 g PS) en E1, seguida de la cáscara (1916,0 mg/100 g PS), mientras que las semillas registraron el valor más bajo (190,90 mg/100 g PS). En términos de actividad antioxidante, el método ABTS indicó que la pulpa tuvo la mayor inhibición de radicales (4,06%) en E2, mientras que la cáscara y las semillas alcanzaron valores menores, con 2,73% en E1 y 0,94% en E3, respectivamente. Por su parte, el método DPPH reveló que la pulpa alcanzó un 55,06% de inhibición de radicales en E3, seguida de la cáscara (54,73%) y las semillas (54,40%) en E2.

6 Recomendaciones

El estudio sobre *Salacca zalacca* destacó diferencias significativas en sus características fisicoquímicas según el grado de madurez, lo que sugiere las siguientes recomendaciones:

- Fomentar la creación de productos derivados, tales como néctares y cafés, que utilicen las diferentes partes del fruto, aprovechando sus propiedades bioactivas y su potencial antioxidante.

7 Bibliografía

- Abarca-Vargas, R., & Vera, P. (2018). Importancia biológica de los compuestos fenólicos. *Inventio*, 14(34), 33–38. <https://doi.org/10.30973/inventio/2018.14.34/4>
- Alwi, A., Rahayu, E., Utami, T., Yanti, R., & Suroto, D. (2023). Formulation of fruit based probiotic drink from snake fruit (*Salacca Zalacca*) and *Lactiplantibacillus plantarum* subsp. *plantarum* Dad-13. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, 11(1), 351–359. <https://doi.org/10.12944/CRNFSJ.11.1.26>
- Amarowicz, R., & Pegg, R. (2019). Natural antioxidants of plant origin. In *Advances in food and nutrition research* (1st ed., Vol. 90, pp. 1–81). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2019.02.011>
- Anwar, H., Hussain, G., & Mustafa, I. (2018). Antioxidants from natural sources. In *Antioxidants in foods and its applications* (pp. 3–28). InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.75961>
- Apak, R. (2017). Electron transfer-based antioxidant capacity assays and the cupric ion reducing antioxidant capacity (CUPRAC) assay. In *Measurement of antioxidant activity & capacity* (pp. 57–75). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119135388.ch4>
- Apak, R., Güçlü, K., Özyürek, M., & Karademir, S. (2004). Novel total antioxidant capacity index for dietary polyphenols and vitamins C and E, using their Cupric Ion Reducing capability in the presence of neocuproine: CUPRAC method. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(26), 7970–7981. <https://doi.org/10.1021/jf048741x>
- Azcón, J., Talón, M., Bonilla, I., & Gárate, A. (2013). *Fundamentos de fisiología vegetal*

(McGraw-Hil).

<https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/FundamentosdeFisiologiaVegetal2008Azcon..pdf>

Benzie, I., & Devaki, M. (2017). The ferric reducing/antioxidant power (FRAP) assay for non-enzymatic antioxidant capacity: concepts, procedures, limitations and applications. In *Measurement of antioxidant activity & capacity* (pp. 77–106). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119135388.ch5>

Brasil, I., & Siddiqui, M. (2018). Postharvest quality of fruits and vegetables: An Overview. In *Preharvest modulation of postharvest fruit and vegetable quality* (pp. 1–40). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809807-3.00001-9>

Capa, M., Gonzalez, M., & Ramón, C. (2023). Ecuadorian amazonian fruits: A proposal to value biodiversity and promote food sovereignty. *The Ecuadorian Journal of Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics*, 3(1), 284–297. <https://doi.org/10.18502/epoch.v3i1.14452>

Carbajal, J., Ramírez, N., Gamboa, M., & Moreno, P. (2021, October 27). Estado de la información del consumo en México de antioxidantes sintéticos en alimentos ultra-procesados, basados en los productos de la canasta básica. *Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 31(58), 5–6. <https://doi.org/10.24836/es.v31i58.1143>

Carocho, M., & Ferreira, I. (2013). A review on antioxidants, prooxidants and related controversy: Natural and synthetic compounds, screening and analysis methodologies and future perspectives. *Food and Chemical Toxicology*, 51(1), 15–25.

<https://doi.org/10.1016/j.fct.2012.09.021>

Castañeda, B., Ramos, E., & Ibáñez, L. (2008). Evaluación de la capacidad antioxidante de siete plantas medicinales peruanas. *Horizonte Médico*, 8(1).

<https://doi.org/10.24265/horizmed.2008.v8n1.04>

Clemente-Suárez, V., Bustamante-Sanchez, Á., Mielgo-Ayuso, J., Martínez-Guardado, I., Martín-Rodríguez, A., & Tornero-Aguilera, J. F. (2023). Antioxidants and sports performance. *Nutrients*, 15(10), 2371. <https://doi.org/10.3390/nu15102371>

Correa-Salgado, M., Herrera-Feijo, R., Ruiz-Sánchez, C., & Guamán-Rivera, S. (2024). *Fundamentos de Bioquímica Vegetal* (Editorial, Issue March). Editorial Grupo AEA.

<https://doi.org/10.55813/egaea.1.68>

Coyago-Cruz, E., Alarcón, A., Guachamin, A., Méndez, G., Osorio, E., Heredia-Moya, J., Zuñiga-Miranda, J., Beltrán-Sinchiguano, E., & Vera, E. (2024). Functional, antioxidant, antibacterial, and antifungal activity of edible flowers. *Antioxidants*, 13(1297), 1–26.

<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/antiox13111297>

Coyago-Cruz, E., Corell-González, M., & Meléndez-Martínez, A. (2017). *Estudio sobre el contenido en carotenoides y compuestos fenólicos de tomates y flores en el contexto de la alimentación funcional* (Vol. 1) [Universidad de Sevilla, Departamento de Ciencias Agroforestales]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=150384>

Coyago-Cruz, E., Corell, M., Moriana, A., Hernanz, D., Benítez-González, A., Stinco, C., & Meléndez-Martínez, A. J. (2018). Antioxidants (carotenoids and phenolics) profile of cherry

- tomatoes as influenced by deficit irrigation, ripening and cluster. *Food Chemistry*, 240(August 2017), 870–884. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.028>
- Coyago-Cruz, E., Corell, M., Moriana, A., Hernanz, D., Stinco, C. M., & Meléndez-Martínez, A. J. (2017). Effect of the fruit position on the cluster on fruit quality, carotenoids, phenolics and sugars in cherry tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.). *Food Research International*, 100(July), 804–813. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.08.002>
- Coyago-Cruz, E., Corell, M., Stinco, C., Hernanz, D., Moriana, A., & Meléndez-Martínez, A. (2017). Effect of regulated deficit irrigation on quality parameters, carotenoids and phenolics of diverse tomato varieties (*Solanum lycopersicum* L.). *Food Research International*, 96, 72–83. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.03.026>
- Coyago-Cruz, E., Guachamin, A., Méndez, G., Moya, M., & Marti. (2023). Functional and Antioxidant Evaluation of Two Ecotypes of Control and Grafted Tree Tomato (*Solanum betaceum*) at Different Altitudes. *Foods*, 12(18), 1–30. <https://doi.org/10.3390/foods12183494>
- Coyago-Cruz, E., Guachamin, A., Vera, E., Moya, M., Heredia-Moya, J., & Beltrán, E. (2023). Physicochemical characteristics and antioxidant capacity of Ecuadorian paramo flowers. *Bionatura*, 8(1). <https://doi.org/10.21931/RB/2023.08.01.21>
- Coyago-Cruz, E., Guachamin, A., Villacís, M., Rivera, J., Neto, M., Méndez, G., Heredia-Moya, J., & Vera, E. (2023). Evaluation of bioactive compounds and antioxidant activity in 51 minor tropical fruits of Ecuador. *Foods*, 12(24), 1–31. <https://doi.org/10.3390/FOODS12244439>

- Coyago-Cruz, E., Moya, M., Méndez, G., Villacís, M., Rojas-Silva, P., Corell, M., Mapelli-Brahm, P., Vicario, I. M., & Meléndez-Martínez, A. J. (2023). Exploring plants with flowers: From therapeutic nutritional benefits to innovative sustainable uses. *Foods*, *12*(22). <https://doi.org/10.3390/foods12224066>
- Coyago-Cruz, E., Valenzuela, D., Guachamin, A., Méndez, G., Heredia-Moya, J., & Vera, E. (2024). Bioactive compound profiling and antioxidant activity of *Phytelephas tenuicaulis* and other amazonian fruits. *Foods*, *13*(13), 1–15. <https://doi.org/10.3390/foods13132151>
- Coyago, E., Barrigas, A., Guachamin, A., Heredia, J., Zuñiga, J., & Vera, E. (2024). Bioactive Composition of Tropical Flowers and Their Antioxidant and Antimicrobial Properties. *Foods*, *13*(23), 3766. <https://doi.org/10.3390/foods13233766>
- Djaafar, T., Marwati, T., Budiyaniti, T., Riska, & Hadiati, S. (2024). Chemical and sensory evaluation on several varieties of salak (*Salacca zalacca*) fruit from Indonesia. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology.*, *14*(2), 723–729. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.14.2.19175>
- Enriquez-Valencia, S., Salazar-López, N., Robles-Sanchez, M., González-Aguilar, G., Ayala-Zavala, J., Lopez-Martinez, L., Enriquez, S., Salazar, N., Robles, M., González, G., Ayala, J., & Lopez, L. (2020, September 1). Propiedades bioactivas de frutas tropicales exóticas y sus beneficios a la salud. *Revista de La Sociedad Latinoamericana de Nutrición*, *70*(3), 205–214. <https://doi.org/10.37527/2020.70.3.006>
- FAO, & CIRAD. (2021). Frutas y hortalizas. In *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y Centro de Cooperación Internacional en Investigación*

Agrícola para el Desarrollo (CIRAD) (Vol. 1). FAO, CIRAD.
<https://doi.org/10.4060/cb4173es>

Galarza, J., Pillacela, B., Arredondo-Vega, B., & Ríos, S. (2023). Astaxantina: El antioxidante natural con múltiples beneficios para la salud. *Revista Científica ECOCIENCIA*, 10(4), 1–23.
<https://doi.org/10.21855/ecociencia.104.782>

Geraldo, J., Vázquez, R., & Juárez, K. (2022, March 3). Desbalance del sistema antioxidante causado por la exposición a nanopartículas de óxido de zinc y óxido de cobre. *Revista Interdisciplinaria En Nanociencias y Nanotecnología*, 15(29), 1e-13e.
<https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2022.29.69701>

González-Gross, M., & Urrialde, R. (2024). *Ejercicio físico y nutrición: sinergia para un estilo de vida saludable*. <https://raed.academy/wp-content/uploads/2024/01/ejercicio-fisico-y-nutricion-Marcela-Gonzalez-Gross.pdf>

Herrera, M., Reveles-Torres, L., & Velásquez-Valle, R. (2016). Cambios en el metabolismo de los fenilpropanoides en plantas de chile tipo mirasol infectadas por fitoplasma. In *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias* (Issue 79).
<https://isbnmexico.indautor.cerlalc.org/catalogo.php?mode=detalle&nt=219566>

Ismail, N., & Abu, M. (2018). Salak— *Salacca zalacca*. In *Exotic fruits* (pp. 383–390). Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803138-4.00051-4>

Kebede, M., & Admassu, S. (2019). Application of antioxidants in food processing industry: Options to improve the extraction yields and market value of natural products. *Advances in*

Food Technology and Nutritional Sciences, 5(2), 38–49. <https://doi.org/10.17140/AFTNSOJ-5-155>

Kumoro, A., Alhanif, M., & Wardhani, D. (2020). A critical review on tropical fruits deeds as prospective sources of nutritional and bioactive compounds for functional foods development: A case of Indonesian exotic fruits. *International Journal of Food Science*, 2020(2017), 1–15. <https://doi.org/10.1155/2020/4051475>

Kuskoski, M., Asuero, A., Troncoso, A., Mancini-Filho, J., & Fett, R. (2009). Prediction interval analysis is underutilized and can be more helpful than just confidence interval analysis. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, 23(3), 181–183. <https://doi.org/10.1007/s10877-009-9165-0>

Lim, T. (2012). *Salacca zalacca*. In *Edible medicinal and non-medicinal plants* (Vol. 1, pp. 1–738). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-90-481-8661-7>

Lin, D., Xiao, M., Zhao, J., Li, Z., Xing, B., Li, X., Kong, M., Li, L., Zhang, Q., Liu, Y., Chen, H., Qin, W., Wu, H., & Chen, S. (2016). An overview of plant phenolic compounds and their importance in human nutrition and management of type 2 diabetes. *Molecules*, 21(10), 2–4. <https://doi.org/10.3390/molecules21101374>

Lone, R., Shuab, R., & Azra, K. (2020). Phenolic compounds against fungal and viral plant diseases. In *Plant phenolics in sustainable agriculture* (Vol. 1, pp. 201–219). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4890-1_9

Lourenço, S., Moldão-Martins, M., & Alves, V. (2019). Antioxidants of natural plant origins: from

- sources to food industry applications. *Molecules*, 24(22), 4132.
<https://doi.org/10.3390/molecules24224132>
- Martín, D. (2018). Los compuestos fenólicos, un acercamiento a su biosíntesis, síntesis y actividad biológica. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9(1), 81–104.
<https://doi.org/10.22490/21456453.1968>
- Mazumdar, P., Pratama, H., Lau, S., Teo, C., & Harikrishna, J. (2019). Biology, phytochemical profile and prospects for snake fruit: An antioxidant-rich fruit of South East Asia. *Trends in Food Science & Technology*, 91(May 2018), 147–158.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.06.017>
- Mejía-Reyes, J., García-Cabrera, K., Velázquez-Ovalle, G., & Vázquez-Ovando, A. (2022, April 29). Capacidad antioxidante: conceptos, métodos de cuantificación y su aplicación en la caracterización de frutos tropicales y productos derivados. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 9(1), 9–33. <https://doi.org/10.23850/24220582.4023>
- Morales, L., Sinchigalo, R., Córdova, A., & Bedoya, M. (2024). Producción de frutas tropicales en Ecuador: Especialización productiva y función de optimización. *CIENCIA UNEMI*, 17(44), 177–193. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol17iss44.2024pp177-193p>
- Munteanu, I., & Apetrei, C. (2021). Analytical methods used in determining antioxidant activity: A review. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(7), 3380.
<https://doi.org/10.3390/ijms22073380>
- Nardini, M. (2022). Phenolic compounds in food: characterization and health benefits. *Molecules*,

27(3), 783. <https://doi.org/10.3390/molecules27030783>

NTE-INEN-1750. (2012). Norma de hortalizas y frutas frescas. Muestreo. *Instituto Ecuatoriano de Normalización*, 1, 19. http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/11/nte_inen_0980.pdf

NTE-INEN-1751:96. (2012). Frutas frescas. Definiciones y clasificación. *Instituto Ecuatoriano de Normalización*, 1, 10. <https://es.scribd.com/document/440903071/NTE-INEN-111>

Nurzyńska-Wierdak, R. (2023). Phenolic compounds from new natural sources plant genotype and ontogenetic variation. *Molecules*, 28(4), 1731. <https://doi.org/10.3390/molecules28041731>

Oriente. (2023). *El salak es muy popular entre los habitantes de la región amazónica*. 1. <https://www.eloriente.com/articulo/el-salak-es-muy-popular-entre-los-habitantes-de-la-region-amazonica/40521>

Rodriguez, L., Muñoz-Bernal, Ó. A., Fuentes, E., Alvarez-Parrilla, E., & Palomo, I. (2024). Antiplatelet activity of phenolic compounds fortified merlot wine and pure phenolic compounds. *Applied Sciences*, 14(13), 5707. <https://doi.org/10.3390/app14135707>

Saleh, M., Siddiqui, M., Mediani, A., Ismail, N., Ahmed, Q., Zation, S., & Saidi-Besbes, S. (2018). Salacca zalacca: A short review of the palm botany, pharmacological uses and phytochemistry. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 11(12), 645. <https://doi.org/10.4103/1995-7645.248321>

Sánchez-Mendoza, E., & Palacios-Cedeño, N. (2024). La producción de piña y su aporte a las exportaciones no tradicionales en el Ecuador. *Journal Scientific Investigar*, 8(3), 826–848.

<https://doi.org/10.56048/MQR20225.8.3.2024.826-848>

Sánchez, F., & Figueroa, G. (2022). *Fitoquímica*.

<https://isbnmexico.indautor.cerlalc.org/catalogo.php?mode=detalle&nt=362438>

Sato, V., Chewchinda, S., Goli, A., Sato, H., Nontakham, J., & Vongsak, B. (2023). Oral glucose tolerance test (OGTT) evidence for the postprandial anti-hyperglycemic property of *Salacca zalacca* (Gaertn.) Voss seed extract. *Molecules*, 28(19), 6775.

<https://doi.org/10.3390/molecules28196775>

Setyawaty, R., Aptuning, R., & Dewanto, D. (2020). Preliminary studies on the content of phytochemical compounds on skin of salak fruit (*Salacca zalacca*). *Pharmaceutical Journal of Indonesia*, 6(1), 1–6. <https://doi.org/10.21776/ub.pji.2020.006.01.1>

Shahidi, F., & Zhong, Y. (2015). Measurement of antioxidant activity. *Journal of Functional Foods*, 18, 757–781. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.01.047>

Sirivibulkovit, K., Nouanthavong, S., & Sameenoi, Y. (2018). Paper based DPPH assay for antioxidant activity analysis. *Analytical Sciences*, 34(7), 795–800. <https://doi.org/10.2116/analsci.18P014>

Vega-Castellanos, N., Salazar-López, N., Clark-Ordóñez, I., & Mejía-León, M. (2024). Influencers de la salud: compuestos bioactivos contra la obesidad. *Revista Digital Universitaria*, 25(4), 6. <https://doi.org/10.22201/ceide.16076079e.2024.25.4.2>

Verdugo, N., & Andrade, V. (2018). Productos tradicionales y no tradicionales del Ecuador: Posicionamiento y eficiencia en el mercado internacional para el período 2013-2017

Traditional and non-traditional products of Ecuador: Positioning and efficiency in the international market for the. *X-Pendientes Económicos*, 2(3), 84–102.
https://ojs.supercias.gob.ec/index.php/X-pendientes_Economicos/article/view/22

Vielma-Puente, J., León, A., & Sánchez, I. (2023). Analysis of polyphenol content and antioxidant capacity in Tommy atkins mango hard seltzer drink. *Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions*, 2023, 1–7.
<https://doi.org/10.18687/LACCEI2023.1.1.983>

Widowati, W., Dani, V., & Yuninda, V. (2023). Antioxidant and antiaging potential of salak fruit extract (*Salacca zalacca* (Gaert.)Voss)). *Traditional Medicine Journal*, 28(3), 230–236.
<https://doi.org/10.22146/mot.83995>

Yahia, E. (2011). Salak (*Salacca zalacca* (Gaertner) Voss). In *Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits* (Vol. 4, Issue 5, pp. 334–348). Woodhead Publishing, Limited.
<https://catalogue-bibliotheques.cirad.fr/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=212302>

Yousuf, B., Deshi, V., Ozturk, B., & Siddiqui, M. (2020). Fresh cut fruits and vegetables: Quality issues and safety concerns. In *Fresh-cut fruits and vegetables* (pp. 1–15). Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816184-5.00001-X>

Zapata, C., & Zapata, P. (2022). Método ORAC y su aplicación en la determinación de la capacidad antioxidante de bebidas fermentadas. *Revista de La Facultad de Agronomía*, 121(Especial 2), 097. <https://doi.org/10.24215/16699513e097>

