

UNIVERSIDAD TÉCNICA NACIONAL
SEDE ATENAS

ÁREA DE TECNOLOGÍA
INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

ESTUDIO DE LA GENERACIÓN Y CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA,
FITOQUÍMICA, MICROBIOLÓGICA Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE RESIDUOS
AGROINDUSTRIALES DE CAS (*PSIDIUM FRIEDRICHSTHALIANUM* [O. Berg] Nied)
PARA FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL GRADO DE
LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

SUSANA MARÍA MORALES VÁSQUEZ
MARÍA FERNANDA VARGAS CASTRO

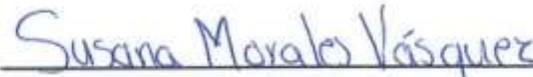
ATENAS, COSTA RICA

2022

DECLARACIÓN JURADA

Yo, Susana María Morales Vásquez, portadora de la cédula de identidad número 207660086 y María Fernanda Vargas Castro, portadora de la cédula de identidad número 207560315, estudiantes de la Universidad Técnica Nacional (UTN) en la carrera de Ingeniería en Tecnología de Alimentos, conectoras de las sanciones legales con que la Ley Penal de la República de Costa Rica castiga el falso testimonio y el delito de perjurio que pueda ocasionarse ante la directora de carrera y quienes constituyen el Tribunal Examinador de este trabajo de investigación, juramos solemnemente que este trabajo de investigación es una obra original que respeta las leyes y ha sido elaborada siguiendo las disposiciones exigidas por la Universidad Técnica Nacional (UTN), así como los derechos de autor.

En fe de lo anterior, firmamos en la ciudad de Atenas, a los 04 días del mes de marzo del año 2022.



Susana María Morales Vásquez

207660086

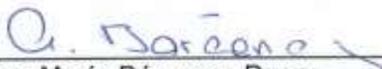


María Fernanda Vargas Castro

207560315

HOJA DE APROBACIÓN

Este Trabajo Final de Graduación fue aprobado por el Tribunal examinador como requisito parcial para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería en Tecnología de Alimentos



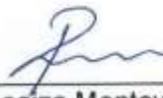
Ana María Bárcenas Parra
Directora de carrera



Carolina Herrera González
Tutora del TFG



Catalina Chaves Solano
Lectora TFG



Randall Loiza Montoya
Lector Externo TFG

CARTA DE REVISIÓN FILOLÓGICA

San José, 18 de marzo de 2022

Señores(as):

Universidad Técnica Nacional

Estimados señores(as):

Yo, Maria Fernanda Sanabria Coto, cédula de identidad 114290780, bachiller en Filología española graduada en la Universidad de Costa Rica, perteneciente a la Asociación Costarricense de Filólogos (ACFIL), carné 225 y al Colegio de Licenciados y Profesores en Letras, Filosofía, Ciencias y Artes de Costa Rica (COLYPRO), código 75402, hago constar que he revisado el documento titulado:

**ESTUDIO DE LA GENERACIÓN Y CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA,
FITOQUÍMICA, MICROBIOLÓGICA Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE
RESIDUOS AGROINDUSTRIALES DE CAS (*PSIDIUM
FRIEDRICHSTHALIANUM* [O. Berg] Nied)
PARA FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN**

Dicho documento fue elaborado por Susana Maria Morales Vásquez, cédula de identidad 207660086 y Maria Fernanda Vargas Castro, cédula de identidad 207560315, con el fin de optar al grado de Licenciatura en Ingeniería en Tecnología de Alimentos. He revisado y corregido aspectos tales como construcción de párrafos, vicios del lenguaje trasladados a lo escrito, ortografía, puntuación y otros relacionados con el campo filológico.

Atentamente,

Fernanda S. Coto



Maria Fernanda Sanabria Coto
Asociación Costarricense de Filólogos. Carné nro. 225
Colypro. Código 75402
fernanda.sanabria@filologos.cr
Teléfono: +506 6022 9569

MARIA
FERNANDA
SANABRIA
COTO (FIRMA)

Firmado digitalmente
por MARIA FERNANDA
SANABRIA COTO (FIRMA)
Motivo: Carta de revisión
filológica
Fecha: 2022.03.18
10:51:58 -06'00'

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico, primeramente, a Dios, quien supo guiarme, darme discernimiento y sabiduría para seguir adelante y afrontar las adversidades sin nunca perder el horizonte ni debilitarme en el intento. A mi familia, por su apoyo, escucha, amor y fortaleza en todo este tiempo, porque han forjado mis valores, principios y carácter para siempre luchar por mis sueños. A todas aquellas personas que me han dado un consejo y han estado presentes en este proceso.

Susana Morales

El presente trabajo investigativo lo dedico, principalmente, a Dios, por darme paciencia y discernimiento para mantenerme en este proceso y culminar una etapa más. A mi familia, por su amor; por alentarme siempre a buscar la felicidad, formarme con valores y principios inquebrantables, por alentarme a seguir mis sueños y apoyarme en cada etapa de mi vida. A todas las personas que me dieron una palabra de aliento, un consejo y pidieron a Dios por mí durante esta etapa.

M. Fernanda Vargas

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi gratitud a Dios, por darme la bendición de concluir este proceso. Agradecer profundamente a toda mi familia por su inmenso apoyo; a mis hermanos, Jocelyn y Edgar, porque han confiado en mí desde el primer día; a mi mamá, por sus consejos, entrega, amor y motivación, ayudándome siempre a mejorar como persona, así como agradecerle por mi formación profesional y personal; además, a mi papá por su apoyo. Gracias a mi otra familia, Milagro, Jorge, Kimberly y Alexander, por sus oraciones, palabras de apoyo, por siempre animarme y hacer que este proceso sea más llevadero.

A Estif por su acompañamiento en todo este tiempo; apoyándome incondicionalmente, escuchándome siempre, por cada consejo, por su paciencia y amor. También quiero externar mi agradecimiento a mi compañera de tesis, Fernanda, quien ha sabido alentarme en los momentos difíciles y ha sido un apoyo importante; además, a mi tutora Carolina Herrera por sus consejos y dedicación en mi formación académica guiándonos en este proceso.

Agradecer a la UTN sede Atenas y todas las personas lindas que conocí en esta etapa universitaria. Finalmente, externo también mi agradecimiento a las personas que nos brindaron su apoyo y fueron parte de este proceso, como Carlos Solera, Rodrigo Muñoz, Pedro Sandoval, la directora de carrera Ana María Bárcenas, así como el personal del Laboratorio de Ciencias Básicas de la UTN sede Atenas, CENIBiot y las empresas involucradas.

Susana Morales

Agradezco infinitamente a papi y mami, por su amor, trabajo y apoyo en todos estos años; gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy, gracias por ser los mejores y apoyarme en cada una de las decisiones que he tomado en mi vida. También a mis hermanos, María Elena y Roy Jesús, por estar siempre presentes, por el apoyo moral que me brindaron a lo largo de esta etapa; a Lorenzo y Elías, por ser ese motorcito lleno de energía que me alienta a seguir; espero que sean los mejores en lo que hagan cuando llegue su momento.

A Allan, por su amor, por ayudarme, entenderme, apoyarme y tenerme paciencia en cada momento de quiebre y por alentarme a continuar. Además, a mis ángeles, Tata y Tío, quienes me vieron empezar, mas no terminar este proceso y Mama que ha sido luz desde hace mucho tiempo, sé que me guían desde el cielo. Además, a mi amiga y compañera de proyecto de tesis Susana; por ser la mejor amiga y compañera, por tener las palabras correctas en el momento justo; a Carolina Herrera, por ser una tutora inquebrantable, por cada consejo y por siempre guiarnos en busca de la excelencia.

A la UTN. por permitirme conocer personas maravillosas en este paso por Atenas. Finalmente, externo también mi agradecimiento a las personas que nos brindaron su apoyo y fueron parte de este proceso, como Carlos Solera, Rodrigo Muñoz y Pedro Sandoval; la directora de carrera Ana María Bárcenas, así como el personal del laboratorio de Ciencias Básicas de la UTN sede Atenas, CENIBiot y las empresas involucradas.

M. Fernanda Vargas

TABLA DE CONTENIDO

DECLARACIÓN JURADA	¡Error! Marcador no definido.
HOJA DE APROBACIÓN	iii
CARTA DE REVISIÓN FILOLÓGICA.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTOS	vi
TABLA DE CONTENIDO.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN	xiii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Área de estudio.....	1
1.2. Delimitación del problema.....	2
1.3. Justificación	2
1.4. Antecedentes.....	4
1.5. Objetivos.....	6
1.5.1. Objetivo general	6
1.5.2. Objetivos específicos.....	6
II. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Origen del fruto	7
2.1.1. Clasificación taxonómica	7
2.1.2. Descripción del fruto.....	8
2.1.3. Época de producción y condiciones de cosecha	8
2.1.4. Producción del fruto	9
2.1.5. Usos actuales.....	9
2.2. Residuos vegetales.....	9

2.2.1. Tratamientos a residuos agroindustriales	10
2.2.2. Parámetros de inocuidad y calidad microbiológica en residuos	11
2.2.3. Características fisicoquímicas	12
2.2.4. Compuestos fitoquímicos y capacidad antioxidante	14
III. MARCO METODOLÓGICO.....	19
3.1. Enfoque y tipo de investigación	19
3.2. Sujetos y fuentes de información	20
3.3. Localización	20
3.4. Origen de las muestras.....	20
3.5. Condiciones de generación de cas y sus residuos.....	21
3.6. Recolección y acondicionamiento de las muestras	22
3.6.1. Deshidratación de los residuos por aire caliente.....	22
3.6.2. Liofilizado de los residuos	22
3.6.3. Molienda y almacenamiento	23
3.7. Análisis microbiológicos de residuo de cas	23
3.8. Determinación de las características fisicoquímicas	24
3.8.1. Sólidos solubles	24
3.8.2. pH	24
3.8.3. Análisis químico	24
3.8.4. Fibra dietética.....	25
3.8.5. Composición	25
3.9. Determinación de compuestos fitoquímicos y capacidad antioxidante	25
3.9.1. Polifenoles totales	26
3.9.2. Proantocinidinas (PAC)	28
3.9.3. Capacidad antioxidante	29
3.9.3.1. Método ABTS ⁺	29
3.9.3.2. Método DPPH.....	31

3.9.3.3. Método ORAC	32
3.9.3.4. Método FRAP	33
3.10. Técnicas de la información	35
3.10.1. Análisis estadístico	35
3.11. Limitaciones	35
IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS	36
4.1. Condiciones de generación de residuo en la empresa E1.....	36
4.2. Análisis microbiológicos	42
4.3. Análisis fisicoquímico	44
4.4. Análisis fitoquímico y capacidad antioxidante	51
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	58
5.1. Conclusiones	58
5.2. Recomendaciones	59
VI. REFERENCIAS	61
VII. APÉNDICES	72
Apéndice 1. Ficha técnica de la caracterización del cas	72
Apéndice 2. Imágenes de residuo de cas	73
Apéndice 3. Herramienta de recopilación de información sobre principales proveedores de la empresa E1.....	75
Apéndice 4. Herramienta de recopilación de información sobre el manejo de residuos en la E1	76
VIII. ANEXOS.....	77
Anexo 1. Programa integral de mercadeo agropecuario	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Caracterización fisicoquímica del fruto cas (<i>Psidium friedrichsthalianum</i>)	14
Tabla 2. Datos de los principales proveedores.....	38
Tabla 3 Datos de rendimientos por proveedor suministrados por E1 en el período de enero a diciembre 2020.....	41
Tabla 4 Resultados microbiológicos.....	42
Tabla 5 Resultados fisicoquímicos.....	44
Tabla 6 Resultados capacidad antioxidante	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de flujo de residuos de frutas E1	39
Figura 2 Residuo de cas.....	40
Figura 3 Resultados obtenidos de polifenoles totales	51
Figura 4 Resultados obtenidos de proantocianidinas.....	53

RESUMEN

La importancia de estudiar este tema en particular radica en la caracterización de los residuos de cas de origen agroindustrial, debido a su potencial contenido de compuestos de valor. De esta manera, se buscó evaluarlo, mediante un análisis de las características preliminares fisicoquímicas, fitoquímicas, microbiológicas y capacidad antioxidante de los residuos del cas. A nivel metodológico, se utilizaron procedimientos como análisis proximal, fibra, composición, pH, Brix, análisis microbiológicos para detección de *Salmonella spp*, *E.coli*, *Listeria monocytogenes*, recuento total aerobio, hongos y levaduras. En la composición de compuestos bioactivos, se analizaron: polifenoles totales y proantocianidinas, además de capacidad antioxidante mediante cuatro métodos distintos (FRAP, DPPH, ORAC, ABTS⁺). El análisis proximal mostró que los residuos de cas tienen, en promedio, un contenido de humedad de 65,3 g/100 g, grasa cruda 0,2 g/100 g, proteína 5,78 g/100 g, fibra dietética 71,5 g/100 g y cenizas 0,8 g/100 g. En compuestos bioactivos, en promedio, se encuentran: polifenoles totales 47,2 mg eq ac gálico/g muestra, proantocianidinas 6,4 mg eq ac gálico/g muestra y la capacidad antioxidante varía según el método utilizado, por lo que se compararon cuatro diferentes métodos. En cuanto a criterios microbiológicos, las muestras se consideran inocuas y con buena calidad microbiológica. Se concluye que los residuos de cas de las muestras analizadas poseen una composición rica en compuestos nutricionales y nutracéuticos de valor. De acuerdo con la investigación realizada, este es el primer estudio que proporciona una descripción de la composición fisicoquímica, nutricional y microbiológica de los residuos industriales de cas.

I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la generación de residuos orgánicos representa un problema, debido a que, en muchos casos, no se da el tratamiento adecuado o no se alcanza el máximo provecho, ya que aún cuenta con diferentes compuestos de valor. La Agencia Europea de Medio Ambiente (2012) indica que, en las diferentes fases de la cadena de producción, suministro y consumo, se genera gran cantidad de residuos, los cuales también requirieron de recursos naturales, tales como tierra, agua, energía y trabajo. Por lo que se podría tener un mejor aprovechamiento en comparación con el actual.

La importancia de estudiar este tema radica en la caracterización de los residuos generados en empresas agroindustriales de frutas, debido a que es la etapa donde es posible plantear un aprovechamiento sostenible en el tiempo. Además, según Muñoz et al. (2021), el cas es un fruto subexplotado y con elementos de valor a nivel de compuestos químicos y nutricionales. Asimismo, la investigación realizada funciona como base para futuros proyectos exploratorios en estas líneas de trabajo, por ejemplo, como posible materia prima para el desarrollo de nuevos productos, o bien la extracción de compuestos de alto valor.

1.1. Área de estudio

Se circunscribe a la investigación en el área de Tecnología de los Alimentos, específicamente en cuanto al aprovechamiento de residuos agroindustriales para industrias interesadas en los compuestos de valor que se logren identificar. El estudio se desarrolla con base en residuos de cas (*Psidium friedrichsthalianum*) producidos por dos empresas procesadoras de frutas y vegetales.

1.2. Delimitación del problema

Una empresa procesadora de frutas y vegetales genera residuos de cas durante el procesamiento y su disposición actual corresponde a ser destinados como abono orgánico. Bajo esta perspectiva, dicha empresa y colaboradores de investigación de la carrera de Ingeniería en Tecnología de Alimentos de la Universidad Técnica Nacional proyectaron una alianza para explorar las posibilidades de dar mayor valor agregado a estos residuos. Mediante la investigación, se busca generar conocimiento al respecto de las características del residuo como base para buscar posibilidades de aprovechamiento impidiendo su descarte.

El trabajo de investigación gira en torno a la interrogante: ¿cuál es la potencialidad de aprovechamiento de residuos de cas (*Psidium friedrichsthalianum*) derivados de la industria alimentaria con respecto a sus características fisicoquímicas y microbiológicas, así como sus compuestos fitoquímicos?

En relación con lo anterior, es posible generar conocimiento que permita determinar las propiedades y características de este residuo, con el fin de posibilitar proyectos para la generación de valor agregado a materiales naturales que sean funcionales en el sector alimentario, farmacéutico, agrícola u otro. Además de contribuir con las empresas para que puedan generar opciones de cómo podrían disponer de sus residuos y disminuir el impacto que tienen sobre el medioambiente, si no son tratados de manera adecuada.

1.3. Justificación

Dentro del sector agroindustrial, los residuos de origen vegetal, generados por las actividades propias de estas empresas, tienen un alto potencial de aportar valor y, si no son tratados adecuadamente, pueden representar una importante fuente de contaminación por plagas como hongos, bacterias y otros.

A nivel mundial, se han desarrollado investigaciones e iniciativas que buscan aprovechar materiales orgánicos que aún presentan nutrientes y compuestos de interés, los cuales no están siendo suficientemente valorados, al ser residuos descartados o dados como alimentación animal. Por lo que el presente estudio pretende trabajar en conjunto con dos empresas dedicadas al procesamiento agroindustrial, de las cuales, una de ellas está particularmente interesada en explorar sus residuos y estudiarlos; para descubrir su potencial de aplicación creando así posibilidades de generar valor agregado y posible reducción del impacto medioambiental.

El cas, al ser procesado, genera menos desperdicios con relación a otros frutos, a los cuales se les remueven la cáscara y semilla para poder procesarlos; sin embargo, en una de las empresas en la cual se realiza el proyecto, se desechan alrededor de 5510 kg por año, aproximadamente, en residuos de cas; por lo que se identifica una oportunidad de aprovechar estos residuos, según los resultados de esta investigación.

Muñoz y Esquivel (2019) plantean que el cas (*Psidium friedrichsthalianum*) posee compuestos fitoquímicos, por lo que se genera un precedente para estudiar el residuo de cas generado en el procesamiento. Además, Cuadrado (2016) describe que el consumo del cas tiene efectos beneficiosos, debido a que favorece el crecimiento de una microbiota benéfica que provoca una disminución en la población de firmicutes, bacterias que se asocian con problemas de obesidad, por lo que es importante profundizar en la investigación de este fruto, ya que, como lo menciona Cuadrado, este posee múltiples beneficios en la salud.

Esta investigación funcionaría como base de futuras investigaciones para la caracterización de residuos que se componen de cáscara y semilla; principalmente de cas. Cabe recalcar que, en la literatura consultada, no hay un estudio sobre la caracterización de los residuos generados por la industrialización de esta fruta.

Actualmente existe una red de investigadores sobre la familia *Psidium*, sin embargo,

abordan únicamente el fruto completo; por lo que esta investigación contempla una arista no estudiada. La investigación en conjunto con empresas permite la transmisión de conocimientos y experiencias, además de complementar esfuerzos para buscar soluciones a problemas reales y de vital importancia para las necesidades que se afrontan en la actualidad, especialmente relacionadas con el medio ambiente y aprovechamiento de los recursos que ofrece la naturaleza.

1.4. Antecedentes

En la actualidad, los residuos generados por las industrias alimentarias son materia de estudio, debido a que representan un problema a nivel ambiental y económico. Se han realizado diversos trabajos de investigación, cuyo objetivo principal es el aprovechamiento de residuos generados a partir de frutas. A continuación, se muestran estudios realizados sobre el tema.

Muñoz y Esquivel (2019) realizaron un perfil de proantocianidinas (PAC) en la fruta del cas (*Psidium friedrichsthalianum*); en dicho estudio se produjo una caracterización de las PAC mediante la técnica de espectrofotometría (DMAC). Las PAC se extrajeron de la fruta liofilizada con acetona 70% v/v en un baño ultrasónico. Los sobrenadantes se concentraron por evaporación rotatoria hasta su sequedad y se solubilizaron en etanol. Los extractos etanólicos se cargaron en una columna empaquetada y se eluyeron con etanol; una vez realizado esto, las fracciones de acetona se concentraron y se liofilizaron para obtener extractos enriquecidos de PAC. Lo anterior permite concluir que el cas, debido a la alta concentración de PAC tipo A (39%), es considerada una súper fruta por sus posibles beneficios nutricionales.

Además, otro estudio realizado por Zapata et al. (2013), sobre la evaluación del contenido de compuestos polifenólicos, como fenoles totales, flavonoides totales, taninos y la capacidad antioxidante de la fruta de la guayaba agria (*Psidium araca*), efectuó una

caracterización fisicoquímica del fruto en cuanto a humedad, azúcares totales, proteínas, cenizas y minerales. Posterior a esto, se acondicionaron las muestras para determinar los compuestos fenólicos, cuyas técnicas variaron dependiendo del tipo de compuesto fenólico.

La determinación de la capacidad antioxidante la efectuaron mediante cuatro métodos: DPPH, ABTS⁺, FRAP y ORAC. Como resultado obtuvieron que, en cuanto a fenoles totales, posee $1192,2 \pm 27,8$ mg eq ac gálico/100 g muestra en capacidad antioxidante; por el método de ORAC obtuvieron un resultado de $11988,2 \pm 873,7^{\text{TS}}$ μmol de trolox / 100 g de muestra. Con respecto a este análisis, concluyeron que la guayaba agria tiene alta capacidad antioxidante, por lo que es una fruta con gran potencial nutracéutico.

Cárdenas et al. (2015) realizaron una revisión bibliográfica sobre los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en 11 frutas tropicales como piña, guayaba, guanábana, papaya, mango, zapote, carambola, entre otras. Según los investigadores, el contenido de fenoles totales y antocianidinas se encuentra en un rango de equivalentes de ácido gálico en 100 g de peso seco, los cuales variaron entre 13,5 mg en zapote, a 44,6 mg en ciruela, 55 mg en guanábana y papaya. Además, indican que las capacidades antioxidantes de las frutas variaron en función al contenido de flavonoides y otros polifenoles, representando una alta correlación con los compuestos fenólicos totales. Finalmente, de acuerdo con los mismos autores, el contenido de compuestos funcionales se encuentra, principalmente, en la cáscara y las semillas, y en una menor cantidad en la pulpa.

En Medellín, Colombia, Yepes et al. (2008) realizaron una investigación en 40 empresas, sobre la valorización de residuos agroindustriales de frutas; entre ellas la guayaba. Posteriormente, llevaron a cabo una caracterización fisicoquímica. Según los investigadores, este residuo posee: humedad 89,80 g / 100 g, extracto etéreo

0,25 g / 100 g, fibra cruda 3,77 g / 100 g y proteína 0,62 g / 100 g. Así mismo, mencionan que en su mayoría son vertidos en rellenos sanitarios sin considerar la posibilidad de diferentes alternativas para aprovechar el valor económico que puede obtenerse de ellos. Por lo que los gastos de su disposición y el impacto ambiental podrían reducirse, si se implementan diferentes técnicas de valorización.

Con respecto al estado de la cuestión, existe un vacío de información sobre residuos del fruto en estudio, sin embargo, de acuerdo con la literatura, gran contenido de compuestos fenólicos está presente en los residuos de diversas frutas y son base para futuras líneas de investigación.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Evaluar características preliminares fisicoquímicas, fitoquímicas, microbiológicas y de capacidad antioxidante de residuos de cas (*Psidium friedrichsthalianum* [O. Berg] Nied) de origen agroindustrial, por medio de un estudio de caso en una empresa procesadora de frutas y vegetales.

1.5.2. Objetivos específicos

1. Valorar las condiciones y características de generación de los residuos de cas en una empresa agroindustrial, por medio de una herramienta de recopilación de información.
2. Evaluar características preliminares de calidad e inocuidad de residuos de cas mediante la aplicación de análisis microbiológicos.
3. Determinar características preliminares fisicoquímicas, de compuestos fitoquímicos y capacidad antioxidante de residuos de cas, como base para futuros estudios de aplicación y aprovechamiento.

II. MARCO TEÓRICO

Este apartado presenta información básica correspondiente al cas y sus residuos en cuanto a origen, descripción del fruto, usos actuales, parámetros de inocuidad y calidad microbiológica, características fisicoquímicas, de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante. Los cuales proporcionan al lector una base para comprender el estudio realizado.

2.1. Origen del fruto

De acuerdo con Barrance et al. (2003), el cas pertenece a la familia *Myrtaceae* del género *Psidium* L- *guavas*. Este fruto es originario de Costa Rica y se le atribuye el nombre común de cas y nombre científico *Psidium friedrichsthalianum*. Según los mismos autores, se extiende desde el sur de México, atravesando América Central hasta Colombia. Es conocido como guayaba agria o guayaba coronilla en Colombia, guayaba del Chaco en Ecuador, arrayán en El Salvador, guayaba ácida en Guatemala, guayaba de danto y guayaba de Costa Rica en Honduras, guayaba de fresco en Nicaragua, guayaba de agua en Panamá y guayabo cas en Venezuela.

2.1.1. Clasificación taxonómica

A continuación, se presenta la clasificación taxonómica del cas (*Psidium friedrichsthalianum*). De acuerdo con Integrated Taxonomic Information System (ITIS, s.f.):

- Reino: Plantae
- Subreino: Viridiplantae
- División: Tracheophyta
- Clase: Magnoliopsida
- Orden: Myrtales
- Familia: Myrtaceae – myrtles, myrtacées

- Género: *Psidium L.* – guavas
- Especie: *Psidium friedrichsthalianum (O. Berg) Nied*

2.1.2. Descripción del fruto

Según Barrance et al. (2003), el árbol de este fruto es tipo arbusto de tamaño mediano, puede alcanzar 10 m de altura, sus ramas y corteza son de tonalidad rojiza. Según el mismo autor, las hojas son ovales, lisas, de color verde oscuro, de un largo de 5-12 cm y un ancho de 1-2 cm; las flores tienen aproximadamente 2.5 cm de ancho de color blancas solitarias o en pares. El fruto es redondo u ovalado de 3 a 6 cm de diámetro aproximadamente; su pulpa tiende a ser suave, blanca y ácida, que envuelve las semillas aplanadas de 5 a 8 mm de largo. Además, la tonalidad de la cáscara refleja su estado de madurez.

2.1.3. Época de producción y condiciones de cosecha

Barrance et al. (2003) muestran que, en Costa Rica, los árboles producen este fruto durante todo el año, no obstante, en los meses de noviembre a diciembre se genera la máxima cosecha de cas y disminuye en la estación seca.

Así mismo, según Barrance et al. (2003), el árbol de cas crece naturalmente en zonas de bosque húmedo tropical y subtropical, en zonas con estación seca marcada y altitudes medianas; entre las características del clima y suelo se encuentran: pluviometría de entre 1400-3000 mm con una estación seca de 2-5 meses a una altitud de 90 a 1550 msnm; con temperaturas entre los 15-25 °C, con suelos de pH ácido.

El Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED, 2018) evidencia que las plantaciones extensas productivas de este fruto en Costa Rica comprenden un 39% en zonas de Pococí de Limón, 30% en Puriscal de San José, 21% en la región de Paraíso de Cartago y el 10% restante corresponde a árboles sembrados de manera aislada en patios y pastizales.

2.1.4. Producción del fruto

Según la entrevista aplicada a Durán (comunicación personal, 2022) sobre los datos de producción del cas, indicó que los cantones con mayor producción para el año 2019 fueron Pococí de Limón (118,05 ton) y Paraíso de Cartago (96,75 ton). Cabe destacar que el cantón de Puriscal de San José es el que ha presentado mayor comercialización desde el año 2000 hasta el 2019; no obstante, su trayectoria ha ido variando en relación con los años y para el 2019 su producción ha ido descendiendo (27,5 ton). Durán (comunicación personal, 2022), del Centro Nacional de Abastecimiento y Distribución de Alimentos (CENADA), el cual es el mayor centro de comercialización de productos agrícolas en el país, también indica la comercialización en toneladas del cas en siete cantones desde el año 2000 hasta el 2019 (Anexo 1).

2.1.5. Usos actuales

Según Baraona (2000, citado por Madrigal, 2011), en Costa Rica el cas es explotado por pequeños productores, por lo que su producción nacional e internacional es baja o poco significativa comparada con otras frutas. Madrigal (2011) también indica que la comercialización de cas es como fruta fresca o pulpa pasteurizada. La literatura muestra que, a nivel nacional, el cas es aprovechado como pulpa para la elaboración de bebidas, helados, jaleas y mermeladas (CYTED, 2018). Por otro lado, el CYTED (2018) evidencia que el aprovechamiento en México y Centroamérica es también para la realización de infusiones o té con sus hojas.

2.2. Residuos vegetales

Se conoce como residuos vegetales a la materia orgánica que surge al terminar un proceso productivo; muchas veces conocidos como “desechos”, entre ellos suelen encontrarse: cáscaras, semillas y fibras. Según Virreira (2014), estos residuos vegetales son ricos en polisacáridos como almidón, celulosa, hemicelulosa y lignina; estos residuos

vegetales tienen potencial de aprovechamiento de compuestos como pectinas, aceites, compuestos con actividad antioxidante y enzimas; con esto es posible elaborar materias primas, las cuales aporten valor agregado.

2.2.1. Tratamientos a residuos agroindustriales

Según Peñaranda et al. (2017), en Colombia se busca el aprovechamiento de los residuos, debido a que, para el 2018, se proyectó el 20% de aprovechamiento de los residuos agrícolas que van a los rellenos; sin embargo, en este país esta meta no fue alcanzada, con los métodos convencionales, como lo son en alimentación animal, compostaje, bokashi y lombricompost; por lo que, mediante investigación científica y tecnológica de la mano del sector productivo, han obtenido proyectos de gran interés comercial; entre ellos se encuentran:

- Aprovechamiento del glicerol (a partir de diferentes residuos agroindustriales) en la industria del biodiesel, una alternativa energética. También se ha evaluado el uso de este subproducto en la elaboración de desinfectantes, resinas, limpiadores, cosméticos, detergentes, entre otros.
- Extracción del almidón de los residuos de la industria de hojuelas de papa; ya que en estos se encuentra entre el 15,56% y 17,76%, además, es posible extraerlo mediante tratamientos térmicos y químicos.
- Elaboración de biogás, biodiesel y bioetanol a partir de residuos de café; ya que solamente el 9,5% del peso del fruto es utilizado para la elaboración de la bebida; queda un 90,5% de residuos, entre hojas, tallos y ramas; además, la pulpa del fruto representa un 44% del peso del fruto seco.
- Elaboración de aceites, fibras, pectinas y aceites esenciales a partir de residuos cítricos, ya que solamente el 40% es utilizado para la extracción de jugo; queda alrededor de 60% en cáscara, piel, semillas y pulpa.

- Obtención de metabolitos fermentables y, posteriormente, etanol de los residuos de mango.
- Elaboración de harina de banano con cáscara; estas harinas tienen un plus en micronutrientes como el yodo, fibra y hierro.

2.2.2. Parámetros de inocuidad y calidad microbiológica en residuos

Según Vélez y Ortega (2013), la inocuidad alimentaria se refiere a la producción de alimentos sanos y limpios que no van a causar daños en la salud del consumidor, por lo que, entre los microorganismos patógenos que pueden afectar esta inocuidad, están: *Salmonella spp*, *Escherichia coli* y *Listeria monocytogenes*. Adicionalmente, Ecos (2019) menciona que existen microorganismos que afectan de manera directa la calidad de los productos a nivel microbiológico, como el recuento total aerobio, hongos y levaduras.

Así mismo, Vélez y Ortega (2013) indican que, aunque existan diversos medios para controlar y mitigar la presencia de microorganismos en los alimentos, en el caso de las frutas y las hortalizas frescas, estos mecanismos de control se complican considerablemente, debido a que estos productos se consumen, por lo general, crudos y presentan un riesgo más elevado para la salud de los consumidores, debido a su contacto directo con agentes contaminantes durante toda su cadena de producción.

Según el Reglamento Técnico Centroamericano (RTCA), en el documento de *Criterios Microbiológicos para la Inocuidad de Alimentos*, establece que los parámetros para las frutas y hortalizas procesadas son: *Salmonella ssp/25g* ausencia, *Escherichia coli* 10² UFC/g y *Listeria monocytogenes/25g* ausencia (Poder Ejecutivo de Costa Rica, 2018). Para los parámetros de recuento total aerobio, hongos y levadura, no existe legislación local que establezca límite permitido, sin embargo, las empresas relacionadas al procesamiento de este tipo de alimentos manejan parámetros para recuento total aerobio, hongos y levaduras <100 UFC/g. No obstante, actualmente, a nivel de residuos

agroindustriales, no hay normativa que establezca parámetros de inocuidad y calidad microbiológica para su cumplimiento legal.

2.2.3. Características fisicoquímicas

Comprende la caracterización física y química de un producto, de acuerdo con la literatura, los residuos de las frutas y vegetales cuentan con características específicas, las cuales permiten identificar su potencial uso como materia prima. Entre estas características, se encuentran los sólidos solubles; estos son determinados mediante el índice de refracción. Según Asencio (2014), el principal objetivo de este método es determinar la concentración de azúcares en la matriz en estudio y el resultado se expresa en Brix. Además, según Muñoz et al. (2021), los azúcares principales del cas son sacarosa, fructuosa y glucosa, constituyendo la principal fuente de energía, el mismo autor indica un valor de Brix de 2.87 ± 0.1 .

Otro de los parámetros contemplados en los análisis fisicoquímicos es el pH; el cual indica la concentración de iones hidrógeno [H_3O^+] presente en la matriz analizada. Esta cuantificación permite determinar la acidez o alcalinidad del producto (García, 2010). Muñoz et al. (2021) indican que el cas presenta un pH de 2.87 ± 0.02 .

El análisis proximal de los productos contempla la humedad, ceniza, proteína, fibra y grasa de una muestra, para determinar la composición nutricional del alimento. En cuanto a humedad, según la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM, 2008), los alimentos contienen entre un 60 y un 95% de agua de manera natural; *agua libre* y *agua ligada*. En el caso del agua libre, es extraída con facilidad. Por otro lado, el agua ligada está combinada o absorbida por carbohidratos y proteínas. Además, el término cenizas lo definen como el residuo inorgánico que queda posterior a la calcinación de la materia orgánica presente en la muestra y está asociada al contenido de minerales.

Según Vila (2006), las frutas brindan minerales en cantidades no muy elevadas aportando en el mantenimiento de la salud, especialmente en el aporte de calcio, hierro y magnesio.

Respecto a las proteínas, Gala (2018) menciona que estas macromoléculas en los alimentos están conformadas por moléculas de aminoácidos que están unidas mediante enlaces peptídicos. A nivel fisiológico y funcional, tienen diferentes funciones biológicas. Según Vila (2006), la cantidad de proteína de las frutas es baja encontrándose en un rango entre 1 al 4 %.

En cuanto a fibra, esta es la fracción comestible de frutas y vegetales, estas son resistentes a la absorción del intestino delgado, la cual tiene una fermentación parcial o completa en el intestino grueso. Es decir, la fibra cumple su función de material de arrastre para otras moléculas. Según Carbajal (2013), esta incluye polisacáridos y oligosacáridos; la fibra se divide en dos grupos de acuerdo con su solubilidad. Las fibras solubles son: pectinas, gomas y mucílagos; en el caso de la insoluble, se contemplan: celulosa, hemicelulosas y lignina. Vila (2006) indica que, por lo general, las frutas y los vegetales presentan un alto contenido de fibra.

Las grasas o lípidos, según Padilla y Ávila (2015), son un grupo variado de sustancias orgánicas que tienen en común el ser moléculas no polares, insolubles en el agua, solubles en los solventes orgánicos, conformados en su mayoría por carbono, hidrógeno y oxígeno, y ocasionalmente por nitrógeno, fósforo y azufre, los cuales son ésteres reales o potenciales de los ácidos grasos. El contenido de lípidos, generalmente, en frutas y vegetales es bajo, ya que no suele superar el 1% (Vila, 2006). En la tabla 1, se muestra la caracterización fisicoquímica del fruto de cas según Barrance et al. (2013), Cuadrado (2016) y Sibaja (2015).

Tabla 1
Caracterización fisicoquímica del fruto cas (Psidium friedrichsthalianum)

Parámetro	(Barrance et al., 2003)	Cuadrado (2016)	Sibaja (2015)
Humedad (%)	83	83,15	86,50
Proteína (%)	0,78 - 0,88	0,78 - 0,88	1,20
Carbohidratos (%)	5,8 - 6,8	5,75 - 6,75	10,40
Grasas (%)	0,39 - 0,52	0,39 - 0,52	0,80
Fibra (%)	7,90	7,90	-
Ceniza (%)	-	0,80	1,10
pH (%)	-	2,60	-
Sólidos solubles(%)/Brix	-	9,46	-

Nota. Datos tomados de Barrance et al (2003), Cuadrado (2016) y Sibaja (2015).

2.2.4. Compuestos fitoquímicos y capacidad antioxidante

Cabeza (2016) define como fitoquímicos a los compuestos orgánicos bioactivos que se encuentran principalmente en raíces, tallos, hojas, frutos y semillas de las plantas; es importante destacar que no son nutrientes, sin embargo, proporcionan al alimento diversas propiedades nutraceuticas. Estas propiedades son importantes para la prevención y control de enfermedades (Vila, 2006).

De forma similar, Macheix et al. (1990, citado en González, 2010) menciona que los compuestos fitoquímicos engloban gran presencia de metabolitos secundarios como son los compuestos fenólicos o polifenoles, los cuales son sustancias que poseen un anillo aromático, unidos a uno o más grupos hidroxilo, ayudando a prevenir enfermedades. Vila (2006) evidencia que estos metabolitos secundarios se encuentran en las plantas y presentan estructuras químicas muy variadas, incluyendo flavonoles, catequinas y antocianinas; pueden encontrarse en los vegetales de forma aislada o, generalmente, unidos a azúcares (glicósidos). Asimismo, esta misma autora indica que los más significativos son: las antocianinas presentes en uvas negras, fresas, granadas,

moras y arándanos; la quercetina presente en frutas y cebollas; el resveratrol presente en uvas y el ácido elálgico.

Muñoz (2014) indica que los polifenoles varían en función de la especie vegetal, variedad, parte de la planta considerada (frutos, semillas, hojas, tallos), horas de exposición solar, grado de madurez, condiciones de cultivo, procesamiento y almacenamiento del fruto.

Los compuestos fenólicos aportan diversos beneficios en la salud humana, debido a la acción diurética, acción antiinflamatoria y la prevención de procesos cancerígenos al inhibir la formación de nitrosaminas (Vila, 2006). Por esta razón, se recomienda analizar productos con mayor contenido en compuestos fenólicos, con el fin de contribuir efectos benéficos en la salud humana.

Para la cuantificación de compuestos polifenólicos, una de las metodologías aplicadas fue el método de Folin-Ciocalteu, el cual se basa en la cuantificación de compuestos fenólicos que reaccionan con el reactivo de Folin-Ciocalteu, a pH básico, dando lugar a una coloración azul susceptible de ser determinada espectrofotométricamente a 765 nm (García et al., 2015).

Otro parámetro dentro de estos compuestos bioactivos es la capacidad antioxidante, de acuerdo con Shi (2001, citado en González, 2010), los antioxidantes son un arreglo enzimático y nutrientes esenciales; su función primordial es prevenir la formación de radicales libres e interceptar los que ya se han formado. Asimismo, Muñoz (2014) plantea que un antioxidante es una molécula capaz de retardar o prevenir la oxidación de otras moléculas. La oxidación es una reacción química de transferencia de electrones de una sustancia a un agente oxidante.

Muñoz (2014) también indica que las reacciones de oxidación pueden producir radicales que son precursores de reacciones en cadenas que afectan las células, por lo que los antioxidantes inhiben estas reacciones eliminando intermediarios del radical libre,

oxidándose ellos mismos. Debido a esto, los antioxidantes son reconocidos como agentes reductores, un ejemplo de ello son los polifenoles. Vila (2006) menciona que los antioxidantes (ácido ascórbico, carotenoides, flavonoides, tocoferoles) presentes en las frutas y vegetales son efectivos para la prevención de enfermedades en función con el estrés oxidativo.

La capacidad antioxidante de una muestra o sustancia puede ser determinada por diferentes métodos, los cuales varían en relación con su capacidad antioxidante; el método ácido 2,2'-azino-bis-3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico (ABTS⁺) se basa en la cuantificación de la decoloración del radical ABTS⁺, debido a su reducción a ABTS por la acción de antioxidantes. Este radical catiónico ABTS⁺ es un cromóforo verde azulado que absorbe a una longitud de onda de 734 nm y se genera por una reacción de oxidación del ABTS⁺ con persulfato de amonio. De esta manera, el grado de decoloración como porcentaje de inhibición del radical ABTS⁺ está determinado en función a la concentración (Rioja et al., 2018).

Otro método de determinación de capacidad antioxidante es 2,2-difenil-picril-hidrazina (DPPH), el cual consiste en que este radical tiene un electrón desapareado, el cual brinda a la muestra una coloración azul/violeta; debido a la reacción de la presencia de un antioxidante y por interacción de la luz, esto se decolora a un tono amarillo pálido (Aldana y Guayasamín, 2014).

El método capacidad de absorción del radical oxígeno (ORAC) también es un ensayo que determina la capacidad antioxidante, los radicales peróxilo (ROO•) generados por iniciadores de radicales libres reaccionan con una sonda fluorescente para formar un producto no fluorescente. Este método puede medir la expresión antioxidante de compuestos hidrofílicos y lipofílicos en una muestra (Zapata et al., 2014).

El otro método de determinación de la capacidad antioxidante es poder de reducción antioxidante del hierro (FRAP), el cual se fundamenta en la reducción del hierro

férrico (Fe^{+3}) presente en el reactivo de FRAP hasta la forma ferrosa (Fe^{+2}) por presencia de antioxidantes (Rioja et al., 2018).

Mateos (2013) enfatiza que, dentro de los compuestos fitoquímicos, también se encuentran las proantocianidinas (PAC) o también llamados taninos condensados, los cuales son estructuras poliméricas conformadas por la unión de flavanoles; estas son las responsables de la textura, color y sabor astringente y amargo de algunos alimentos. Muñoz (2014) también menciona que son una de las sustancias polifenólicas más abundantes que hay en el reino vegetal y constituyen una parte integral de la dieta humana, encontrándose en altas concentraciones en frutas como la manzana, arándano, pera y uva, también en el chocolate, vino y té.

Según Hummer et al. (2008, citado en Mateos, 2013), las proantocianidinas, de acuerdo con su unión, pueden ser tipo A o tipo B. Las de tipo A son aquellas cuya unión se da entre enlaces de carbono-hidroxilo; mientras que, en las de tipo B, su unión se da en enlaces de carbono-carbono. De acuerdo con el mismo autor, las proantocianidinas tipo B se encuentran en especies como el cacao, manzana, té, uva y las de tipo A en ciruela, cacahuate, aguacate, canela y curry. Con respecto a las proantocianidinas tipo A y tipo B, las diferencias en estas estructuras radican en la astringencia, estabilidad del color y el amargor de los productos (Unusan, 2020).

De acuerdo con Unusan (2020), hace énfasis en que las proantocianidinas se han relacionado con efectos beneficiosos contra enfermedades. Según el mismo autor, estas desempeñan un efecto antioxidante, antiinflamatorio y antimicrobiano, debido a la capacidad de inhibir la adhesión bacteriana al tracto urinario. Además, ayudan a combatir el cáncer, enfermedades cardiovasculares, obesidad y diabetes tipo 2, trastornos neurodegenerativos, asma, enfermedades de los ojos, antienviejimiento, osteoartritis entre otros. Asimismo, Muñoz (2014) recalca que las proantocianidinas presentan

potentes propiedades antioxidantes que aportan importantes beneficios terapéuticos contra enfermedades.

La cuantificación de proantocianidinas se puede determinar por el método DMAC, el cual se basa en la determinación colorimétrica de las PAC; en este método ocurre la reacción con los flavan-3-oles y proantocianidinas, para formar un cromóforo verde que tiene una absorbancia máxima a 640 nm, aproximadamente (Muñoz, 2014).

III. MARCO METODOLÓGICO

En este apartado, se da a conocer la modalidad de la investigación, la cual se basa en el abordaje de una problemática en un estudio de caso, así como la descripción de análisis y materiales para llevar a cabo cada objetivo de la investigación.

3.1. Enfoque y tipo de investigación

En el presente proyecto, se desarrollan dos tipos de investigación de manera conjunta: exploratoria y no experimental. Por un lado, Hernández et al. (2014) definen el tipo de investigación exploratoria: “cuando el objetivo es examinar un tema o problema de investigación poco estudiado, del cual se tienen muchas dudas o no ha sido abordado antes” (p. 91). En este sentido, se detectó que los residuos generados por la fruta cas no han sido estudiados, por lo que se pretende caracterizarlos.

Por otro lado, el tipo de investigación es no experimental, según Hernández et al. (2014), se define: “cuando las variables no se manipulan intencionalmente, sino que sólo se observa y se analiza el fenómeno tal y como es en su contexto natural” (p. 58). Este tipo de investigación busca, por medio de la observación, el comportamiento de variables para evaluar su potencialidad de uso según los resultados obtenidos en el estudio.

El enfoque de estudio de la investigación es mixto, es decir, de modalidad teórico y empírico, con paradigma cualitativo y cuantitativo, debido a que su desarrollo se basa en la observación de comportamientos, realización de pruebas de laboratorio y documentos que respalden el aporte necesario de valores numéricos. Además, la investigación según el tiempo es transversal, debido a que se ubica en un período entre mayo 2020 y marzo 2022.

3.2. Sujetos y fuentes de información

La presente investigación se basó en diversas fuentes primarias como la observación, encuestas, entrevistas a proveedores y personal del área productiva sobre el procesamiento desde el cultivo de la fruta hasta la obtención del residuo. Además de la recopilación de datos por medio de fuentes secundarias como libros, artículos científicos, revistas y tesis sobre variables de interés. Por consiguiente, los sujetos de información son las personas de la empresa, proveedores e investigadores expertos en la fruta en estudio, quienes brindan la información necesaria para llevarlo a cabo.

3.3. Localización

El proyecto se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Ciencias Básicas de la Universidad Técnica Nacional, Sede Atenas, Alajuela (caracterización fisicoquímica); Centro Nacional de Innovaciones Biotecnológicas (CENIBiot), Pavas, San José (caracterización fitoquímica y capacidad antioxidante); Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA), San Pedro, San José (análisis de fibra dietética); así como en un laboratorio microbiológico externo (análisis microbiológico).

3.4. Origen de las muestras

Se obtuvo residuos de cas de dos empresas agroindustriales ubicadas en Moravia, San José (E1) y San Mateo, Orotina (E2). Los residuos se originaron en el proceso de despulpado y estaban compuestos por cáscara y semilla. Adicional a esto, para efectos comparativos con el residuo en estudio, se analizó residuo de mora (M) generado también en el despulpado de la E1; asimismo, se analizó pulpa de cas (C) proveniente de la Tigra de San Carlos.

3.5. Condiciones de generación de cas y sus residuos

Se elaboró una herramienta en la que se recopiló la información acerca del manejo de la producción del cas de los principales proveedores de la empresa E1 (Apéndice 3). Además, se llevó a cabo una herramienta en la que se indagó acerca de la generación y condiciones de manejo del residuo en esta misma empresa (Apéndice 4). Dentro de los tópicos abordados con los proveedores, se encuentran:

- Procedencia de los frutos
- Aplicación de agroquímicos
- Condiciones de cosecha y postcosecha
- Controles de producción
- Análisis de calidad

Con respecto a los temas abordados con la empresa E1, se recolectó la siguiente información por medio de visitas *in situ*:

- Condiciones de recepción del cas como materia prima
- Especificaciones de madurez del fruto
- Procedimientos de lavado y desinfección utilizados previo al procesamiento del fruto
- Acondicionamiento para el despulpado
- Método de obtención del residuo
- Condiciones de manipulación y almacenamiento de residuos
- Registros de rendimiento del último año de procesamiento

3.6. Recolección y acondicionamiento de las muestras

Los residuos de cas fueron recolectados de las empresas E1 y E2 en las condiciones normales de manipulación por parte de dichas empresas. Posteriormente, se empacaron en porciones de 500 g.

Las muestras para los análisis fisicoquímicos y la deshidratación por aire caliente se mantuvieron refrigeradas (2-5 °C); para los análisis fitoquímicos, las muestras fueron congeladas (-18 °C) en espera de aplicar el proceso de liofilización. Para los análisis microbiológicos, estas fueron llevadas al laboratorio externo posterior a su recolección. Una vez las muestras estuvieron acondicionadas, se destinaron a los laboratorios correspondientes.

3.6.1. Deshidratación de los residuos por aire caliente

La deshidratación por aire caliente de una parte de los residuos se llevó a cabo por medio de un secador de bandejas (*Weston pro -1000 Satinless Steel Food Dehydrator*). Se colocó un pliego de papel aluminio a las bandejas para evitar pérdidas de producto. Después, se distribuyó en una capa uniforme de aproximadamente un centímetro de altura, esto para garantizar el secado de manera homogénea; el secado se realizó a 40°C durante 24 horas. Las muestras deshidratadas por aire caliente fueron usadas para la determinación de grasa, proteína, composición, fibra y compuestos fitoquímicos.

3.6.2. Liofilizado de los residuos

Se aplicó el proceso de liofilización hasta llegar a sequedad de los residuos E1 (*Chist®, Beta 1-8 LDplus*) y E2, C y M (*Buchi, Lyovapor™ L-300*). Dichas muestras liofilizadas se utilizaron para la determinación de compuestos fitoquímicos y capacidad antioxidante.

3.6.3. Molienda y almacenamiento

Los residuos previamente deshidratados por aire caliente y los liofilizados fueron sometidos a una molienda. Se realizaron cinco ciclos de molienda de 10 s cada uno en molino de hoja de rotor (*FOSS KN 295 Knifetec*). Una vez obtenidas las muestras molidas, se procedió a empacarlas en bolsas laminadas para evitar la interacción con la luz; se sellaron y almacenaron en congelación a la espera de los análisis fitoquímicos y de capacidad antioxidante (-80 °C).

3.7. Análisis microbiológicos de residuo de cas

Para la caracterización preliminar microbiológica, se tomó una muestra en fresco y deshidratado por aire caliente del residuo correspondiente a E1 y al residuo deshidratado por aire caliente de E2. Los siguientes análisis microbiológicos se aplicaron al residuo en E1 fresco:

- *Salmonella ssp.* en 25 g [*A03- Método Assurance GDS Salmonella Tq-AOAC OMA 2009.03 (PTL01-MT04)*]
- *Listeria monocytogenes* en 25 g [*E21- Biocontrol Assurance GDS Listeria monocytogenes, AOAC Performance Tested Method 070702*]
- *Escherichia coli* [*E30- Simplate, E coli color indicator, AOAC Official method 2005.03*]
- Recuento total aerobio (RTA) [*Microbiological Examination Methods of Food and Water CRC Press 2013- APHA (PTL01-MT05)*]
- Hongos y levaduras [*American Public Health Association (APHA). 2001. Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods, Chapter 20. 4th Edition*]

En el caso de los residuos E1 y E2 deshidratados por aire caliente, se realizaron los siguientes análisis:

- Recuento total aerobio (RTA) [*Microbiological Examination Methods of Food and Water CRC Press 2013- APHA (PTL01-MT05)*]
- Hongos y levaduras [*American Public Health Association (APHA). 2001. Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods, Chapter 20. 4th Edition*]

3.8. Determinación de las características fisicoquímicas

Para la caracterización fisicoquímica, se realizó por triplicado cada uno de los siguientes análisis para las muestras E1 y E2.

3.8.1. Sólidos solubles

La determinación de sólidos solubles totales fue expresada en grados Brix y realizada de acuerdo con el procedimiento descrito por la AOAC 931.12 (2005) en base húmeda, mediante un refractómetro digital (*Milwaukee MA871*) (Horwitz y Latimer, 2005).

3.8.2. pH

Las mediciones de pH fueron realizadas de acuerdo con el procedimiento descrito por la AOAC 981.12 (2005), en base húmeda con un potenciómetro (HANNA Instruments HI2213) (Horwitz y Latimer, 2005).

3.8.3. Análisis químico

Los análisis realizados a las muestras de residuos corresponden a los siguientes:

- Humedad (g/100g) método AOAC 950.27 (2005) en base húmeda en estufa (*Gallenkamp*) (Horwitz y Latimer, 2005).
- Cenizas (g/100g) método AOAC 940.26 (2005) en base húmeda mediante mufla (*Gallenkamp*) (Horwitz y Latimer, 2005).

- Proteína (g/100g) método AOAC 920.152 (2005) en base seca (*Velp científica*, DKL digestor, UDK 139 destilador, titulación manual), con un factor de conversión de nitrógeno a proteína de 6,25 (Horwitz y Latimer, 2005).
- Grasa (g/100g) método AOAC 948.22 (2005) en base seca (*Velp científica SER148*) (Horwitz y Latimer, 2005).

3.8.4. Fibra dietética

Los análisis realizados a las muestras de residuos se efectuaron en base seca de acuerdo con el procedimiento descrito AOAC 985.29, P-SA-MQ-007.

3.8.5. Composición

Los análisis de composición realizados a las muestras de residuos se efectuaron en base seca de acuerdo con el procedimiento descrito a continuación:

4. Se pesó la muestra deshidratada (según el procedimiento descrito en el apartado 3.6.1).
5. Se separó la fibra de las semillas.
6. Se pesó y se calculó el porcentaje de semilla.

3.9. Determinación de compuestos fitoquímicos y capacidad antioxidante

La caracterización de compuestos fitoquímicos y capacidad antioxidante requirió de extracciones con acetona, las cuales se realizaron por cuadruplicado para las siguientes muestras: E1, E2, C y M. Para la identificación de las muestras tanto de E1 como E2, se utilizó la siguiente nomenclatura:

- NFL: E1 liofilizada
- NFD: E1 deshidratada
- OVL: E2 liofilizada
- OVD: E2 deshidratada

- C: pulpa de cas liofilizada
- M: residuo de mora liofilizada

A continuación, se explica el proceso de extracción con acetona para cada muestra.

1. Se pesaron 75-90 mg de muestra.
2. Se adicionaron 3 mL de acetona al 70% v/v.
3. Se colocó por 15 min en baño ultrasónico (Fisher Scientific FS 220).
4. Se colocó durante 10 min en la centrifuga a 850 g (SIGMA 4-16).
5. Se colocó el sobrenadante en un balón de 10 mL.
6. Se realizaron dos extracciones más, repitiendo los pasos del 2 al 5.
7. Se aforó el balón utilizando acetona al 70% v/v.
8. Se filtró con filtro NYLON 0.45 μm (Target $\text{\textcircled{R}}$).
9. Se recuperó el extracto en frascos de vidrio rotulados según la nomenclatura previamente mencionada.
10. Se almacenó en ultracongelación ($-80\text{ }^{\circ}\text{C}$) para, posteriormente, ser utilizados en los análisis.

Para realizar los diferentes análisis fitoquímicos, se elaboraron diluciones 1/10 y 1/20 en etanol al 70% v/v, así como 1/100 en agua Mili Q.

3.9.1. Polifenoles totales

La determinación de polifenoles totales fue realizada por el método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu diseñado por Singleton et al. (1999) con modificaciones, para cada una de las muestras descritas en el apartado 3.9.

Una vez realizado el procedimiento descrito para la elaboración de extracto, las muestras NFL, NFD, OVL, OVD, C y M se trabajaron en diluciones 1/10 con etanol al 70% v/v y se aplicó el siguiente procedimiento:

1. Se adicionó a una microplaca de 96 pozos, 30 μ L de muestra por triplicado. Se adicionaron 30 μ L de agua Mili Q para las muestras blanco.
2. Posteriormente, se adicionaron 200 μ L de agua Mili Q, 15 μ L de reactivo de Folin y 50 μ L de Na_2CO_3 20% m/v.
3. Se llevó al lector de microplacas (Synergy HT Multi-Mode BioTek, *software* Gen5 2.09); una vez ingresada al lector, se realizó una agitación durante 1 min y se llevó a cabo la lectura a 755 nm, 40 °C durante 18 min.
4. Una vez obtenidos los datos, se aplicó la ecuación 1 (Concentración de polifenoles totales en mg EAG / g muestra) con una curva de calibración previamente realizada para determinar la concentración de polifenoles totales expresados como miligramos de ácido gálico equivalente por cada gramo de muestra.

$$C_n = \left(\frac{(Ab + 0,0175)}{9,1999} \times 10\text{mL} \times 10 \right) \times 1000 \text{ mg} \quad (1)$$

Donde:

Ab= absorbancia.

b= tomado de la ecuación de regresión de la curva de calibración con ácido gálico, correspondiente a 0,0175.

m= pendiente, tomado de la de regresión de la curva de calibración con ácido gálico, correspondiente a 9,1999.

mL balón= mL de balón usado para el extracto, correspondiente a balón de 10 mL.

fd= factor de dilución aplicado, correspondiente a 10 para cada muestra.

3.9.2. Proantocianidinas (PAC)

La cuantificación de proantocianidinas fue calculada por medio del método 4-(dimetilamino) cinamaldehído (DMAC) referenciado por Feliciano et al. (2012) con modificaciones.

Una vez realizado el procedimiento descrito para la elaboración de extracto, las muestras NFL, NFD, OVL y OVD se trabajaron en diluciones 1/10, la muestra C en dilución 1/20 utilizando etanol al 70% v/v, y la muestra M sin diluir. Posterior a esto, se aplicó en el siguiente procedimiento:

1. Se preparó una solución con 22,8 mL de etanol al 96% v/v, 3,6 mL de HCl concentrado y 3,6 mL de agua Mili Q.
2. Se pesó 25 mg del reactivo DMAC en balón aforado de 25 mL, se disolvió y aforó con la dilución preparada en el punto 1.
3. Se adicionó a una placa de 96 pozos, 70 μ L de muestra y 200 μ L de reactivo DMAC (se dispensó automáticamente desde el lector microplacas).
4. La placa se agitó de manera lineal antes de su medición (1 min).
5. La lectura se realizó en un lector de microplacas (*Synergy HT Multi-Mode BioTek*) a una longitud de onda máxima de 640 nm durante cinética de una hora.
6. Una vez obtenidos los datos, se aplicó la ecuación 2 (Concentración de proantocianidinas en mg catequina / g muestra) con una curva de calibración previamente realizada para determinar la concentración de proantocianidinas expresados como miligramo de catequina equivalente por cada gramo de muestra.

$$C_n = \left(\frac{(Ab - 0,006) \times 10 \text{ mL} \times fd}{g \text{ muestra}} \right) \quad (2)$$

Donde:

Ab= absorbancia.

b= tomado de la ecuación de regresión de la curva de calibración con catequina correspondiente a -0,006.

m= pendiente, tomado de la de regresión de la curva de calibración con catequina correspondiente a 47,141.

mL balón= mL de balón usado para el extracto, correspondiente a balón de 10 mL.

fd= factor de dilución aplicado, correspondiente en 10 para NFL, NFD, OVL, OVD y de 20 para C, extracto del residuo M se procesó sin diluir.

3.9.3. Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante fue evaluada por cuatro diferentes métodos: ensayo con el radical catiónico ABTS⁺, método 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH), método de capacidad de absorbancia del radical oxígeno (ORAC) y método poder de reducción antioxidante del hierro (FRAP).

3.9.3.1. Método ABTS⁺

Las muestras se acondicionaron en diluciones 1/10 (NFL, NFD, OVL, OVD), 1/20 (C y M) con el disolvente etanol al 70% v/v. El procedimiento se basó en la metodología de Re et al. (1999) con modificaciones, se detalla a continuación:

1. Preparación del reactivo: se pesó 103,1 mg de ABTS⁺, 15,1 mg de persulfato de amonio ((NH₄)₂S₂O₈), se aforó con agua Mili Q un balón de 25 mL y se mantuvo a 4°C durante 16 h.
2. Preparación del buffer: se preparó 1 L de buffer pH: 7,46, para esto se pesó cloruro de sodio (NaCl) 8,2 g, fosfato disódico (Na₂HP₀₄) 1,4 g, fosfato de potasio monobásico (KH₂P₀₄) 0,27 g y cloruro de potasio (KCl) 0,15 g.

3. Se diluyó el reactivo ABTS⁺ aproximadamente 15 veces para generar absorbancia de 0,8 a 734 nm.
4. Se dispensó de manera manual 130 µL de la dilución de ABTS⁺ a cada uno de los pozos que contienen los blancos y 30 µL de muestra y de blanco (buffer salino).
5. La placa se incubó por 10 minutos a 25° C dentro del lector de microplacas (*Synergy HT Multi-Mode BioTek*). Posterior a este tiempo, el equipo realizó las lecturas a 734 nm.
6. Una vez obtenidos los datos, se aplicó la ecuación 3 (Concentración de µmol de trolox / g de muestra) con una curva de calibración previamente realizada para determinar la capacidad antioxidante expresados como µmoles equivalentes de Trolox por cada gramo de muestra.

$$Cn = \left(\frac{\left(\frac{\% \text{ inhibición} - 0,102}{0,2745} \right) \times 10 \text{ mL} \times fd}{\text{g muestra}} \right) \quad (3)$$

Donde:

% inhibición = basado en las diferencias de absorbancia.

b= tomado de la ecuación de regresión de la curva de calibración con Trolox, correspondiente a 0,102.

m= pendiente, tomado de la de regresión de la curva de calibración con Trolox, correspondiente a 0,2745.

mL balón= mL de balón usado para el extracto, correspondiente a balón de 10 mL.

fd= factor de dilución aplicado, correspondiente a 10 para NFD, NFL, OVD, OVL y 20 para M y C.

3.9.3.2. Método DPPH

Las muestras se acondicionaron en diluciones 1/10 (NFL, NFD, OVL, OVD), 1/20 (C y M) con el disolvente etanol al 70% v/v. El procedimiento se basó en la metodología Brand-Williams et al. (1995) con modificaciones, se detalla a continuación:

1. Preparación de la solución de DPPH: se pesó aproximadamente 4.8 mg de reactivo DPPH y se adicionó a un balón de 100 mL con solución de etanol al 70% v/v. Una vez preparada, se colocó un papel aluminio para evitar la degradación por la luz.
2. Se adicionó 30 μ L de la muestra en estudio en placa de 96 pozos.
3. Se agregó 270 μ L del reactivo preparado (se dispensó con pipeta automática manual), se llevó a un lector de microplacas (*Synergy HT Multi-Mode BioTek*), la placa se agitó durante 10 s a una temperatura de 25°C antes de la medición.
4. Se realizó una medición a una longitud de onda de 517 nm. La segunda lectura 30 min después en las mismas condiciones.
5. Una vez obtenidos los datos, se aplicó la ecuación 4 (Concentración de μ mol de trolox / g de muestra) con una curva de calibración previamente realizada para determinar la capacidad antioxidante expresada como μ moles equivalentes de Trolox por cada gramo de muestra.

$$Cn = \left(\frac{\left(\frac{Ab - 0,208}{0,2035} \right) \times 10 \text{ mL} \times fd}{\text{g muestra}} \right) \quad (4)$$

Donde:

Ab= absorbancia.

b= tomado de la ecuación de regresión de la curva de calibración con Trolox, correspondiente a 0,208.

m= pendiente, tomado de la de regresión de la curva de calibración con Trolox, correspondiente a 0,2035.

mL balón= mL de balón usado para el extracto, correspondiente a balón de 10 mL.
fd= factor de dilución aplicado, correspondiente a 10 para NFD, NFL, OVD, OVL y 20 para M y C.

3.9.3.3. Método ORAC

Las muestras se acondicionaron en diluciones 1/100 en agua Mili Q para todas las muestras en estudio. El procedimiento se basó en Ou et al. (2001) con modificaciones, se detalla a continuación:

1. Se preparó una disolución de buffer pH 7.4: se pesó 6,0169 g fosfato de potasio monobásico (KH_2PO_4) y 12,2303 g fosfato sódico (NaHPO_4).
2. Se preparó una disolución 2,2 – azobis (2-amidinopropane) dihydrochloride (AAPH): se pesó 207,4 mg y se aforó a 10 mL con el buffer.
3. Se preparó una solución de fluoresceína de sodio madre: se pesó 1,5 mg de fluoresceína de sodio, se aforó un balón de 1 L con el buffer de fosfato preparado.
4. Preparación de la dilución fluoresceína de sodio: se tomó 100 μL de la solución madre de fluoresceína de sodio y se colocaron en un balón aforado de 100 mL, además, se llevó a la marca de aforo con el buffer de fosfato preparado.
5. En una placa de 96 pozos se rellenaron los pozos exteriores con 300 μL de agua para saturar la atmósfera dentro del lector y así como para que sirvieran como aislantes de entorno en el lector de microplacas (*Synergy HT Multi-Mode marca Biotek*).
6. A todos los pozos internos aislados por el agua (pozos experimentales), se les depositó 25 μL de muestra, 150 μL de la dilución de fluoresceína de sodio y los pozos blancos llevaron 25 μL con agua Mili Q.
7. La placa preparada se incubó por 30 minutos a 37°C dentro del lector (*Synergy HT Multi-Mode marca Biotek*).

8. Pasado este tiempo, la placa fue removida del lector de microplacas e inmediatamente se les adicionó a todos los pozos experimentales 25 μ L de la disolución de AAPH. Posterior a esto, se introdujo nuevamente al lector, se agitó por 15 s y se realizaron las lecturas, mediante la programación del equipo, se realizaron lecturas cada minuto hasta tener 60 lecturas de cada pozo.
9. Debido a que este es un método fluorescente, se emplearon filtros de excitación de 485 nm y un filtro de emisión de 528 nm.
10. Una vez obtenidos los datos, se aplicó la ecuación 5 (Concentración de μ mol de trolox / g de muestra) con una curva de calibración previamente realizada para determinar la capacidad antioxidante expresada como μ moles equivalentes de Trolox por cada gramo de muestra.

$$C_n = \left(\frac{\left(\frac{Ab - 0,191}{0,2706} \right) \times 10 \text{ mL} \times 100}{\text{g muestra}} \right) \quad (5)$$

Donde:

Ab= absorbancia.

b= tomado de la ecuación de regresión de la curva de calibración con Trolox, correspondiente a 0,191.

m= pendiente, tomado de la de regresión de la curva de calibración con Trolox correspondiente a 0,2706.

mL balón= mL de balón usado para el extracto, correspondiente a balón de 10 mL.

Fd= factor de dilución aplicado, correspondiente a 100 para todas las muestras.

3.9.3.4. Método FRAP

Las muestras se acondicionaron en diluciones 1/10 (NFL, NFD, OVL, OVD), 1/20 en (C y M) con el disolvente etanol al 70% v/v. El procedimiento se basó en Benzie y Strain (1996) con modificaciones, se detalla a continuación:

1. Se preparó 250 mL de buffer pH 3,29: se pesó 743,5 mg de acetato de sodio, 5,32 mL de ácido acético y se aforó con agua de ósmosis.
2. Preparación de la dilución TPTZ: se pesó 93,7 mg TPTZ en balón de 10 mL. Por aparte, a 6 mL de agua de ósmosis se le colocó 0,1 mL de ácido clorhídrico concentrado, se trasvasó al balón y se aforó con agua de ósmosis, para obtener una concentración de 30 mmol/L.
3. Posteriormente, se pesó 97,3 mg de cloruro de hierro (III), se adicionó a un balón de 10 mL y se aforó con el buffer preparado en el punto 1.
4. Preparación del reactivo FRAP: se tomó una alícuota de 10 mL del buffer preparado en el punto 1, se colocó 1 mL de disolución de TPTZ y 1 mL de la disolución de cloruro de hierro (III). Se colocó en un vial color ámbar para evitar la degradación con la luz.
5. En la placa de aplicación de 96 pozos, se dispuso por triplicado 30 μ L tanto del blanco (*buffer*) como cada una de las muestras. Se utilizó un lector de microplacas (*Synergy HT Multi-Mode marca Biotek*), el cual utiliza las microplacas de 96 pozos.
6. Se dispensó manualmente 130 μ L del reactivo FRAP a cada uno de los pozos que contienen los blancos y las muestras.
7. La placa preparada se incubó por 4 min a 37°C dentro del lector de microplacas (*Synergy HT Multi-Mode marca Biotek*), posterior a este tiempo, el equipó realizó las lecturas a 593 nm.
8. Una vez obtenidos los datos, se aplicó la ecuación 6 (Concentración de μ mol de trolox / g de muestra) con una curva de calibración previamente realizada para determinar la capacidad antioxidante expresada como μ moles equivalentes de Trolox por cada gramo de muestra.

$$Cn = \left(\frac{\left(\frac{Ab + 0,0183}{3,3669} \right) \times 10\text{mL} \times fd \times 1000}{\text{g muestra}} \right) \quad (6)$$

Donde:

Ab= absorbancia.

b= tomado de la ecuación de regresión de la curva de calibración con Trolox, correspondiente a 0,0183.

m= pendiente, tomado de la de regresión de la curva de calibración con Trolox, correspondiente a 3,3669.

mL balón= mL de balón usado para el extracto, correspondiente a balón de 10 mL.

fd= factor de dilución aplicado, correspondiente a 10 para residuo de cas y de 20 para residuo de mora y pulpa de cas.

3.10. Técnicas de la información

3.10.1. Análisis estadístico

Para el análisis, se aplica estadística descriptiva, además, para la representación gráfica de los resultados, se realizó mediante la utilización del programa Rstudio.

3.11. Limitaciones

Entre las principales limitaciones, se encuentra la disponibilidad y capacidad de realizar análisis en el Laboratorio de la Universidad Técnica Nacional, respecto a reactivos y equipos idóneos. Otro factor importante es la poca información encontrada sobre el cas; al ser un fruto principalmente de Centroamérica, los estudios realizados son escasos. Además, durante la elaboración del proyecto, se presenta la pandemia COVID-19, por lo que se dificulta el contacto con la empresa, la recolección de muestras, realización de análisis, así como se presenta la anomalía en la producción de pulpas de cas y disponibilidad de residuo.

IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Condiciones de generación de residuo en la empresa E1

La empresa estudiada (E1) se ubica en Moravia, San José, desarrolla y produce concentrados y bebidas a base de frutas tropicales como el cas, bajo una marca privada. Algunos de sus productos son exportados a Panamá, Honduras, Colombia, Rusia y Nicaragua.

Los frutos de cas fueron proporcionados a E1 por diferentes proveedores, debido a que las condiciones climáticas del país cuentan con diferentes zonas geográficas de producción de cas, por lo que las épocas de cosecha se extienden a lo largo del año, según la zona de procedencia. Los tres principales proveedores se ubican en Batán de Limón (Proveedor A), Patarrá de Desamparados (Proveedor B) y Paraíso de Cartago (Proveedor C).

De acuerdo con las condiciones de cultivo, la zona de Patarrá se encuentra a una altitud de 1200 msnm con una pluviometría de 2500 a 3000 mm de acuerdo con la Municipalidad de Desamparados (s.f.); seguido por Paraíso a una altitud entre 800 a 1700 msnm con pluviometría de 1500 mm con base en el Instituto de Desarrollo Rural (Inder, s.f.) y Batán se ubica a una altitud de 15 msnm cuya pluviometría es de 3200 mm en relación con la información del Comité Sectorial Regional Agropecuario Región Huetar Caribe (2018). Según Barrance et al. (2003), indica que las condiciones de crecimiento del cas son favorables a una altitud entre 90 a 1 550 msnm y a una pluviometría entre 1 400 a 3 000 mm. Por lo tanto, de acuerdo con las condiciones de crecimiento del fruto establecido por Barrance et al. (2003), Patarrá y Paraíso se encuentran dentro de las condiciones ideales de crecimiento del cas y, en el caso de Batán, sobrepasa el rango establecido siendo la zona menos favorable para el crecimiento de este fruto.

Los principales proveedores se entrevistaron en el 2021 mediante la herramienta de recopilación de datos (Apéndice 3), con el fin de conocer la procedencia de los frutos, aplicación de agroquímicos, condiciones de cosecha y postcosecha, así como controles de producción y análisis de calidad.

De acuerdo con los resultados que se muestran en la tabla 2, dos de los tres proveedores entrevistados indicaron que el método de cosecha del fruto es recolectado del suelo; a excepción de Paraíso que utiliza ambos métodos de cosecha, debido a que, por requisitos de clientes específicos, el cas debe ser cortado del árbol. En el caso de los proveedores interrogados, realizan un enjuague postcosecha del fruto como requisito de recepción de materia prima para la E1; es importante que se efectúe una correcta limpieza y desinfección después de la cosecha para asegurar que el fruto, en su mayoría recolectado del suelo, no arrastre impurezas como plaguicidas, microorganismos y suciedad.

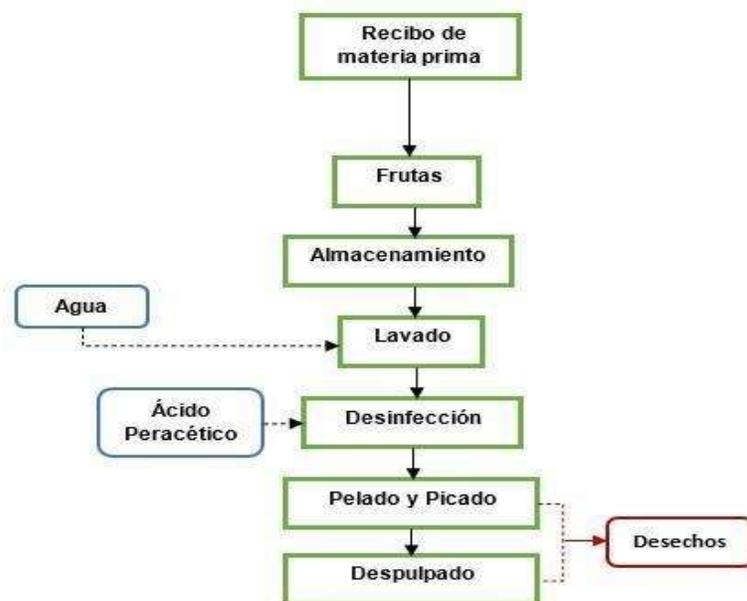
Además, los consultados mencionan que no mantienen controles de calidad de pH y Brix regulares y no realizan análisis microbiológicos, debido a que este tipo de cultivos son pocos tecnificados, no les es factible a las empresas realizar frecuentemente este tipo de análisis de calidad, ya que el fruto tiende a ser cambiante y a nivel microbiológico representa un impacto alto en la economía, al ser considerados productores de baja escala de producción. Por lo que la E1 es la responsable de realizar de manera más constante estos análisis; estableciendo un rango ($7 < \text{°Brix} < 15$; $2,60 < \text{pH} < 3,30$). Es importante mencionar que, en el momento de la entrevista, no se estaba aplicando un plan de monitoreo microbiológico en el fruto como materia prima. La figura 1 muestra el diagrama de flujo del despulpado de cas de la E1.

Tabla 2*Datos de los principales proveedores*

Proveedor	Zona procedencia	Cosecha	Agroquímico	Análisis de calidad	Tiempo de cosecha post agroquímico	Lavado y desinfección	Fuente
A	Batán	Del suelo	Aplica	No realizan	8 semanas	Agua potable	F. Jiménez (comunicación personal, 2021)
B	Patarrá	Del suelo	No Aplica (orgánico)	No realizan	8 semanas	Jabón, cloro 2,55%	H. Muñoz (comunicación personal, 2021)
C	Paraíso	Del suelo y cortan del árbol	Aplica	No realizan	10 semanas	Agua, cloro 3,5%	I. Chaves (comunicación personal, 2021)

Nota. Datos brindados por F. Jiménez, I. Chaves y H. Muñoz (comunicaciones personales, 2021).

Figura 1
Diagrama de flujo de residuos de frutas E1



Según la figura 1, en primera instancia, se realiza un muestreo en la recepción de materia prima para evaluar el estado de madurez del fruto ($7 < \text{°Brix} < 15$; $2,60 < \text{pH} < 3,30$), de acuerdo con el resultado de este muestreo, se da la aceptación o rechazo de esta; se almacena temporalmente a temperatura ambiente en caso de procesarse el mismo día.

Las frutas se enjuagan utilizando agua; seguidamente, se realiza una desinfección con una disolución de ácido peracético de 35-80 ppm durante 5 minutos por el método de inmersión. Según la Food and Drug Administration (FDA, 2021), el ácido peracético se ha aprobado para el uso de la desinfección directa de frutas y hortalizas, debido a su capacidad antimicrobiana y a que sus productos de descomposición son totalmente biocompatibles, porque no dejan residuos tóxicos. Adicional, la FDA (2021) también muestra estudios sobre la efectividad de utilizar este bactericida a una concentración que no exceda las 80 ppm; aplicando de manera correcta la E1 el proceso de limpieza y desinfección del fruto, ya que el empleo de este bactericida ayuda a eliminar rápidamente bacterias grampositivas, gramnegativas, hongos y levaduras (Betelgeux, 2018).

Una vez transcurrido este tiempo, ingresa al despulpador donde se genera la pulpa y el residuo analizado, el cual tiene en mayor proporción semilla y menor proporción de otras fibras. El residuo es recolectado en una caja plástica con bolsa plástica, reutilizada de otros procesos, ubicada en el piso y, conforme se va llenando, se traslada a un estañón destinado al almacenamiento de este tipo de residuos orgánicos a temperatura ambiente (ver figura 2). Posteriormente, son recolectados por un tercero para abono orgánico.

Figura 2
Residuo de cas



Según la información brindada por la E1, se obtienen los datos de rendimientos de residuos de cas de las materias primas de los proveedores entrevistados (ver tabla 3):

Tabla 3

Datos de rendimientos por proveedor suministrados por E1 en el período de enero a diciembre 2020

Cantidad de entregas	Proveedor	Porcentaje de residuo generado
17	A	12,15% ± 4,85
20	B	9,35% ± 5,43
27	C	11,30% ± 4,88

La diferencia de los residuos generados por los principales tres proveedores se enfatiza en parte porque estos se encuentran en diferentes zonas geográficas; posiblemente, variando su composición y según la visita realizada a la E1, cuanto más maduro se encuentre el fruto, más se aprovecha para la elaboración del producto terminado; mientras que, cuanto menos maduro se encuentre el cas, mayor cantidad de residuo se genera en el despulpador. Por lo tanto, existe la posibilidad de que el fruto del proveedor A sea menos maduro en comparación con el fruto del proveedor B, por lo que el proveedor A presenta mayor cantidad de residuos generados.

Con el objetivo de valorar la frecuencia de generación de este residuo en la empresa y posibilidades de desarrollo de otros productos o participación en otros procesos, se recolectó información de los registros de generación de residuos de cas en un período de enero a diciembre 2020 contabilizados por parte de la E1; a partir del peso inicial se obtiene una totalidad de 5 510 kg de residuos en el año 2020 (459 kg promedio mensual). El valor máximo registrado por día es de 184 kg de residuo y el día que menor cantidad de residuo se genera es de 7 kg, asociado a los proveedores A y B, respectivamente.

Las características de los frutos del proveedor A y proveedor B presentan variaciones en la cantidad de residuos generados, posiblemente asociadas a factores como zona geográfica, estado de madurez, condiciones de clima y cosecha. Por lo tanto, el volumen registrado en el año 2020 es significativo para su potencial aprovechamiento, debido a que actualmente la empresa no le da un valor agregado, sino que es utilizado por un tercero para abono orgánico.

4.2. Análisis microbiológicos

La tabla 4 muestra los resultados obtenidos del recuento total aerobio, *Escherichia coli*, *Salmonella spp*, *Listeria monocytogenes*, hongos y levaduras en muestra en base húmeda para la E1; además, se analizó el recuento total aerobio, hongos y levaduras en muestra en base deshidratada para la E1 y E2.

Tabla 4
Resultados microbiológicos

Tipo de análisis	E1 (Fresco)	E1 (Deshidratado)	E2 (Deshidratado)
Recuento total aerobio (RTA)	2.5 x10 ⁴ UFC/g	< 10 UFC/g	50.00 UFC/g
<i>Escherichia coli</i>	< 10 UFC/g	-	-
<i>Salmonella spp</i>	Ausente en 25g	-	-
<i>Listeria monocytogenes</i>	Ausente en 25 g	-	-
Hongos y levaduras	2.1 x 10 ⁶ UFC/g	< 10 UFC/g	30 UFC/g

Para la evaluación microbiológica relacionada con microorganismos patógenos, se utilizó como referencia la normativa nacional en el Reglamento Técnico Centroamericano, en el documento de *Criterios microbiológicos para la inocuidad de alimentos (RTCA)*, apartado 4.2 subgrupo de alimentos: frutas y hortalizas (Poder Ejecutivo de Costa Rica, 2018); ya que actualmente este tipo de residuos no cuenta con alguna legislación.

Los análisis realizados de *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes* y *Salmonella spp* de los residuos en base húmeda de la E1 se encuentran dentro de los límites permitidos según el RTCA (Poder Ejecutivo de Costa Rica, 2018). Por lo tanto, al ser estos residuos y al estar en cumplimiento con los parámetros establecidos para frutas y vegetales frescos, se mantienen dentro de los rangos de criterios de inocuidad, efectuándose únicamente análisis en condiciones frescas, lo cual evidencia la eficiencia de los procedimientos de limpieza y desinfección tanto de los proveedores como de las empresas para garantizar la inocuidad de estos. No obstante, con el fin de tener un panorama más completo sobre la caracterización de estos residuos, se recomienda incrementar la investigación a nivel microbiológico.

Actualmente, no existe una normativa nacional que establezca límites máximos de recuento total aerobio, hongos y levaduras en residuos deshidratados. La E1, como parte de sus controles, establece que el recuento total aerobio, mohos y levaduras deben mantenerse < 100 UFC/g en producto terminado; además, en el ámbito internacional, en Perú, la Ley 615 (2003) establece que, para productos deshidratados que no requieren cocción, el límite máximo de recuento aerobio mesófilos es de 105 UFC/g, por lo que los resultados de las muestras deshidratadas observados en la tabla 4 se encuentran por debajo del límite establecido. Por otro lado, la misma institución de Perú establece que, para hojuelas a base de granos que no requieren cocción, el límite máximo para mohos es de 103 UFC/g, encontrándose los resultados dentro del límite permitido tanto de la normativa internacional como de los parámetros establecidos por la E1 para el fruto.

Los resultados sugieren que, al aplicar un tratamiento térmico de 40°C por 24 h en muestras de residuo de cas, el RTA, así como recuentos de hongos y levaduras, disminuyen considerablemente a niveles aceptados para asegurar la calidad e inocuidad del residuo. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO, 2004), los productos deshidratados logran controlar el crecimiento

microbiano y las reacciones de deterioro, ocasionando la disminución de recuento total aerobio, hongos y levaduras. No obstante, para resultados más concluyentes, se recomienda un estudio más específico.

4.3. Análisis fisicoquímico

La tabla 5 muestra los resultados obtenidos de cenizas, humedad, pH y sólidos solubles (Brix) en muestra en base húmeda para la E1 y E2; además, se analizó grasa, proteína, fibra dietética y composición del residuo con muestra en base deshidratada para la E1 y E2.

Tabla 5
Resultados fisicoquímicos

Análisis	E1	E2
Cenizas (g/100 g)±ds	0,85 ± 0,03	0,75 ± 0,01
Humedad (g/100 g) ±ds	60,88 ± 0,73	69,71 ± 0,95
*Grasa (g/100 g) ±ds	0,25 ± 0,07	0,15 ± 0,04
*Proteína (g/100 g) ±ds	5,83 ± 0,19	5,74 ± 0,04
pH ±ds	3,12 ± 0,01	2,80 ± 0,01
Sólidos solubles (°Brix) ±ds	3,37 ± 0,05	2,70 ± 0,10
*Composición de residuo (% semillas) ±ds	59,06 ± 1,88	70,88 ± 0,91
*Fibra dietética (g/100 g) ±ds	73 ± 1,00	69,70± 1,50

**Muestras analizadas en base seca
ds: desviación estándar*

La tabla 5 muestra la diferencia del contenido de cenizas en ambas muestras, el contenido de cenizas puede considerarse como fuente potencial de minerales, ya que, según Márquez (2014), los minerales constituyentes (cenizas), al ser incinerados,

permanecen en el residuo en forma de óxidos, sulfatos, fosfatos, silicatos y cloruros; dependiendo de la composición de la muestra.

Según López (2011), las frutas y vegetales analizadas en su investigación realizada en peso fresco contienen un porcentaje de cenizas inferior al 1% que corresponde a papa, 0,8% plátanos, 0,6% tomates, 0,5% cerezas y 0,3% las manzanas. Por otro lado, Cuadrado (2016) y Sibaja (2015) indicaron que el fruto de cas se encuentra en un rango de contenido de cenizas de 0,80% a 1,10%, por lo que las muestras analizadas representan el mayor aporte de cenizas en comparación con el fruto de cas.

Es importante considerar que el contenido de cenizas puede variar de acuerdo con el fruto, estado de madurez, variedad y temporada de cosecha, así como por las condiciones de cultivo, según mencionan Vargas et al. (2019). Lo que concuerda con lo observado en estos resultados, donde la diferencia en contenido de cenizas entre ambos residuos es de 0,1%, influyendo posiblemente este tipo de factores mencionados.

Según Calderón y Noriega (2017), en el estudio sobre la obtención de harina de los residuos de frutas, se cuenta que el contenido de cenizas en cascarilla de cacao fue de 0,24%, en cáscara de plátano de 0,23% y en cáscara de maracuyá 0,23%. De acuerdo con el Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP, 2012), el cas es fuente de vitaminas B1, B2, B3 y de los minerales calcio, hierro y fósforo, representando en los resultados obtenidos un valor mayor al que se indica en la literatura consultada sobre la obtención de harina a partir de otros residuos.

De esta manera, se ratifica que el residuo de cas posee un contenido de cenizas superior a otras frutas, tal como se observó en comparación con las investigaciones realizadas por López (2011), Calderón y Noriega (2017), así como que estos compuestos están directamente relacionados al aporte de minerales de las muestras.

En la tabla 5, se evidencia la diferencia del contenido de humedad en ambas muestras, la E1 es la que presenta un menor contenido de humedad ($60,88 \pm 0,73$

g/100g) en relación con la E2 ($69,71 \pm 0,95$ g/100g). Según Vargas et al. (2019), mencionan que el contenido de humedad es un valor que influye en las características composicionales del fruto, debido a que depende del grosor de la cáscara; por lo que posiblemente las características de los frutos de la E1 están relacionadas al estado de madurez, ya que tendría menor contenido de cáscara, al encontrarse en un estado de madurez más avanzado que el fruto de E2, el cual, debido a su estado de madurez, la cáscara podría ser más gruesa y, por ende, el residuo tiene mayor contenido de exocarpio. Otro factor para tomar en cuenta es el equipo despulpador, debido a que ambas empresas cuentan con modelos diferentes, por lo que cabe la posibilidad de que se cuente con variaciones en cuanto a la composición del residuo asociado a la humedad de este.

De acuerdo con el CYTED (2018), determinaron un rango de humedad entre 81,6% a 86,5% en el fruto de cas (pulpa, cáscara y semilla), por lo tanto, la diferencia del 20% al 30% (aproximadamente) se debe a que el análisis se realizó únicamente con cáscara, semillas y fibras, debido a la composición y naturaleza del residuo. Cabe destacar que Pedraza y Torres (s.f.) realizaron un análisis en guayaba fresca, en la cual obtuvo un 80,05% de humedad y, de manera simultánea, con harina de guayaba tiene como resultado de humedad 11,11%.

Según Muñoz et al. (2021), el parámetro de humedad está relacionado con el nivel de deterioro del cas en un corto período de tiempo, convirtiéndose esta fruta en un alimento de consumo o procesamiento rápido después de la maduración. Es importante la medición de factores de calidad para evaluar la vida útil de productos procesados a base de este fruto, por lo que una manera de extender la vida útil de este residuo es sometándolo a un proceso de deshidratación, ya sea mediante aire caliente o liofilización.

De acuerdo con la tabla 5, se refleja la diferencia del contenido de grasa en ambas muestras, la E1 presenta un mayor contenido de grasa que la E2. Según Barrance et al.

(2003), Cuadrado (2016) y Sibaja (2015), determinaron un rango porcentual de grasa entre 0,39% a 0,8% en el fruto del cas, por lo tanto, las muestras analizadas se encuentran en el límite inferior, recalcando que el residuo se compone de semilla, cáscara y fibras, por lo que ambas muestras no contienen cantidades significativas de grasa.

En cuanto a proteína, la tabla 5 refleja diferencia en ambas muestras, siendo la E1 la que mayor aporta proteínas en comparación con la E2. A pesar de esta diferencia, es importante mencionar el aporte de proteínas que contienen ambas muestras, considerando que los vegetales por su naturaleza no tienen cantidades significativas de proteína. Sin embargo, Chan et al. (2020) indican que las variaciones del contenido proteico pueden deberse a las condiciones climatológicas y edafológicas en que son cultivadas las plantas, influyendo la madurez fisiológica de los árboles; asimismo, un alto contenido de nitrógeno en el suelo por la presencia de nutrientes (abono) aumenta el contenido proteico.

En relación con los resultados de la tabla 1, Barrance et al. (2003), Cuadrado (2016) y Sibaja (2015) cuantificaron que el contenido de proteínas en el fruto del cas se encuentra en un rango de 0.78% a 1.20% en fresco, por lo que los residuos de este fruto analizado de las dos empresas agroindustriales presentan un valor cercano al 0,05%, representando la pulpa la porción con mayor aporte de este macronutriente. No obstante, según Argueta et al. (2008), en la harina de semilla de frutos de pan, el contenido de proteína es de 14.98% superando el contenido de proteína de la harina de trigo. Asimismo, Silva et al. (2017) determinaron que la harina de semillas de guayaba contiene un 8,78% de proteína, por lo que es posible que las harinas a partir de frutos con alto contenido en semillas contengan un alto porcentaje de proteína.

La tabla 5 demuestra la diferencia de pH en ambas muestras, la E1 es la que presenta un mayor pH con respecto con la E2. Por otro lado, el contenido de ácidos del cas corresponde a ácido cítrico, succínico, málico, tartárico, aspártico y glutámico; por lo

tanto, el cas es una fuente rica en ácidos orgánicos en comparación con otras frutas y verduras (Muñoz et al., 2021).

En la investigación realizada por Sibaja (2015), el pH del jugo de cas se encuentra en un rango de 2,631 a 2,648; adicional a esto, la E1 tiene como parámetro de aceptación frutos que se encuentran en el rango ($2,60 < \text{pH} > 3,30$), por lo que se evidencia que la muestra de la E2 (2,8) se encuentra dentro del rango consultado en la literatura; sin embargo, la muestra E1 (3,12) es ligeramente menos ácida, pero se encuentra dentro de los parámetros aceptables; de manera que el estado de madurez impacta directamente en el pH, ya que es posible que el fruto de la E1 estuviera más maduro.

La FAO (2004) indica que las bacterias asociadas a los productos alimenticios se encuentran en un rango de pH óptimo para su crecimiento de entre 6,5 y 7,5, hay bacterias patógenas que pueden llegar a crecer a pH 4,2 y algunas bacterias deteriorativas pueden multiplicarse en condiciones muy ácidas con un pH de 2,0. Por otro lado, los hongos y las levaduras tienen mayor habilidad que las bacterias para crecer a pH ácidos, pudiendo proliferarse a un valor de pH de 1,5. Por consiguiente, los resultados E1 y E2 mostraron un rango de pH de 3,12 y 2,80 respectivamente. Por lo tanto, FAO (2004) recomienda que disminuir el pH debajo de 4,2 es una forma efectiva de lograr la inocuidad de algunos alimentos, debido a la alta sensibilidad al pH de las bacterias patógenas.

El residuo en estudio tiene el mismo comportamiento que el fruto, al contar con un pH ácido, por lo que es posible que estos ácidos orgánicos se encuentren presentes en el residuo; por lo que, para tener un panorama más completo sobre la caracterización de este, se recomienda caracterizar y cuantificar estos compuestos.

Con respecto a los sólidos solubles expresados como Brix en ambas muestras, la E1 es la que presenta un mayor contenido de azúcares que la E2. El CYTED (2018) planteó un rango porcentual de Brix entre 6,0 y 12,9 en el estudio del fruto del cas, así como la empresa E1 cuenta con un rango de aceptación de $7 < \text{Brix} > 15$, estos análisis

fueron realizados en el fruto de cas. Es importante mencionar que las muestras analizadas de E1 y E2 no cuentan con la pulpa del fruto del cas (fuente principal de azúcares), por lo que es de esperar que los resultados se encuentren por debajo de los datos de la literatura. Según Muñoz et al. (2021), los contenidos de azúcares del cas corresponden a sacarosa 43,71%, fructosa 36,80% y glucosa 19,49%. De esta manera, se puede revalidar que el residuo E1 proviene de un fruto más maduro (3,37°Brix) que el fruto E2 (2,7°Brix).

Por otro lado, hay diferencia en la composición en ambas muestras, la E1 es la que presenta un menor porcentaje de semillas con respecto a la E2. Silva et al. (2017) mencionan que la cantidad de semillas contabilizadas en guayabas (*Psidium guajava L*) en estado verde fue de 316, cantidad mayor que en el estado maduro 306 y en el estado postmaduro 292; indica que no hay diferencias estadísticas significativas. Por lo tanto, el contenido de semillas no está relacionado con el estado de maduración del fruto; sin embargo, el mismo autor determinó que, conforme avanza el estado de madurez, el tamaño de la semilla disminuye, por lo que es posible que, con base en la literatura, en el residuo de la E1 ($59,06\% \pm 1,88$) el fruto se encontraba en un estado de madurez más avanzado que el de la E2 ($70,88\% \pm 0,91$).

En cuanto a fibra dietética, la tabla 5 refleja diferencias en ambas muestras, siendo la muestra E1 la que mayor aporte de fibra contiene en comparación con la E2. En relación con los resultados de Cuadrado (2016), mencionó que el contenido de fibra en el fruto del cas es de 7,9%, representando en los residuos analizados el mayor aporte de fibra en comparación con el contenido de esta en la pulpa. Santos et al. (2021) indican que la fibra dietética tiene un funcionamiento importante en el transporte de polifenoles a través del tracto gastrointestinal hasta el colon, donde la microflora libera y metaboliza estos compuestos. Por lo tanto, estos residuos analizados, al ser ricos tanto en fibra como en compuestos fitoquímicos y de capacidad antioxidante, es posible que presenten

beneficios en la salud, debido a la liberación de estos compuestos en el intestino delgado generando una absorción más eficiente de los compuestos bioactivos.

Ramírez y Pacheco (2009) mencionan que, tradicionalmente, se destacan como buena fuente de fibra los cereales, tales como trigo (14,90%), avena (11,51%), maíz (13,09%) y sorgo (11,45%), las leguminosas como soya (25,13%), arveja amarilla (12,7%), frijol blanco (18,2%) y lenteja (15,5%); sin embargo, las harinas de frutas pueden ser también apreciadas como una buena fuente de fibra dietética, como harina de papaya (13,07%), la fibra de mango (28,05%) y la harina de coco (60,9%).

No obstante, Ramírez y Pacheco (2009) destacan a la harina de guayaba (*Psidium guajava L*) con alto potencial de fibra, debido a que su contenido de fibra dietética es de $65,64\% \pm 0,48$ en comparación con la harina de guanábana $49,34\% \pm 0,66$ y, por último, la harina de piña $13,65\% \pm 0,06$. Por lo tanto, los residuos del cas tienen un alto aporte de fibra. Según Escudero y González (2006), la recomendación de ingesta de fibra diaria es de 20-35 g/día, por lo tanto, la fruta y el residuo deshidratado son una fuente importante de fibra. Asimismo, menciona que las frutas especialmente en estado de maduración poseen un mayor contenido de fibra, entre ellas lignina (fibra insoluble) hasta un 0,3%; reafirmando con la literatura los resultados obtenidos. E1 ($73 \text{ g}/100 \text{ g} \pm 1,00$) posee un mayor contenido que la muestra E2 ($69,7 \text{ g}/100\text{g} \pm 1,5$), como ha sido mencionado previamente, el residuo E1 es posible que se encontrara más maduro con respecto a E2.

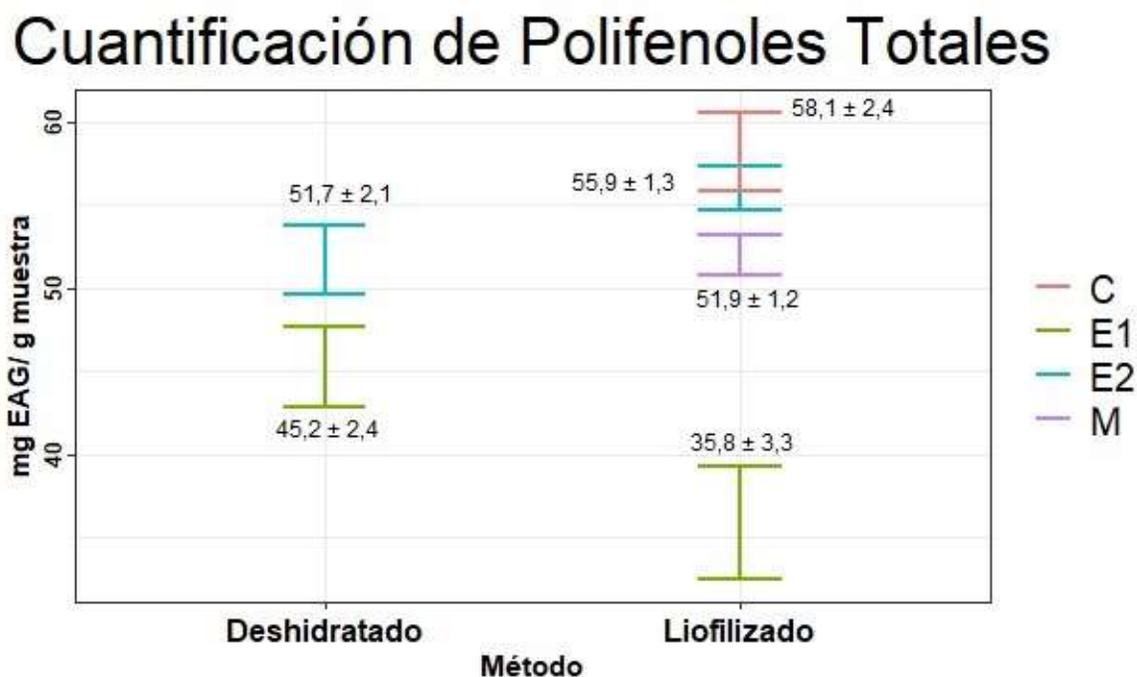
Los resultados obtenidos en las muestras analizadas (E1 y E2) posiblemente radican en las condiciones del suelo, según Barrance et al. (2003), indican que, dependiendo de las zonas geográficas de plantaciones de cas, el comportamiento del fruto puede presentar características distintas. Asimismo, condiciones y tipo de suelo, manipulación del cultivo, las condiciones de cosecha y estado de madurez influyen

también en las características fisicoquímicas. Por lo tanto, es importante considerar que la composición del fruto varía con respecto a estos factores.

4.4. Análisis fitoquímico y capacidad antioxidante

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de polifenoles totales, proantocianidinas y capacidad antioxidante para las muestras E1, E2; deshidratadas y E1, E2, C y M liofilizadas. En la figura 3, se evidencia que los polifenoles totales se encuentran en un rango de 35,8 a 58,1 mg EAG/ g de muestra. Algunas muestras presentaron mayor contenido de polifenoles respecto a otras, siendo $C > E2 > M > E1$, en este orden respectivamente para muestras deshidratadas y liofilizadas. Cuadrado et al. (2016) indican que, en el cas, se identifican 22 compuestos fenólicos, entre ellos, ácidos benzoicos, fenilacéticos, fenilpropanoicos, flavonoides, fenoles, lactonas y sus respectivos derivados.

Figura 3
Resultados obtenidos de polifenoles totales

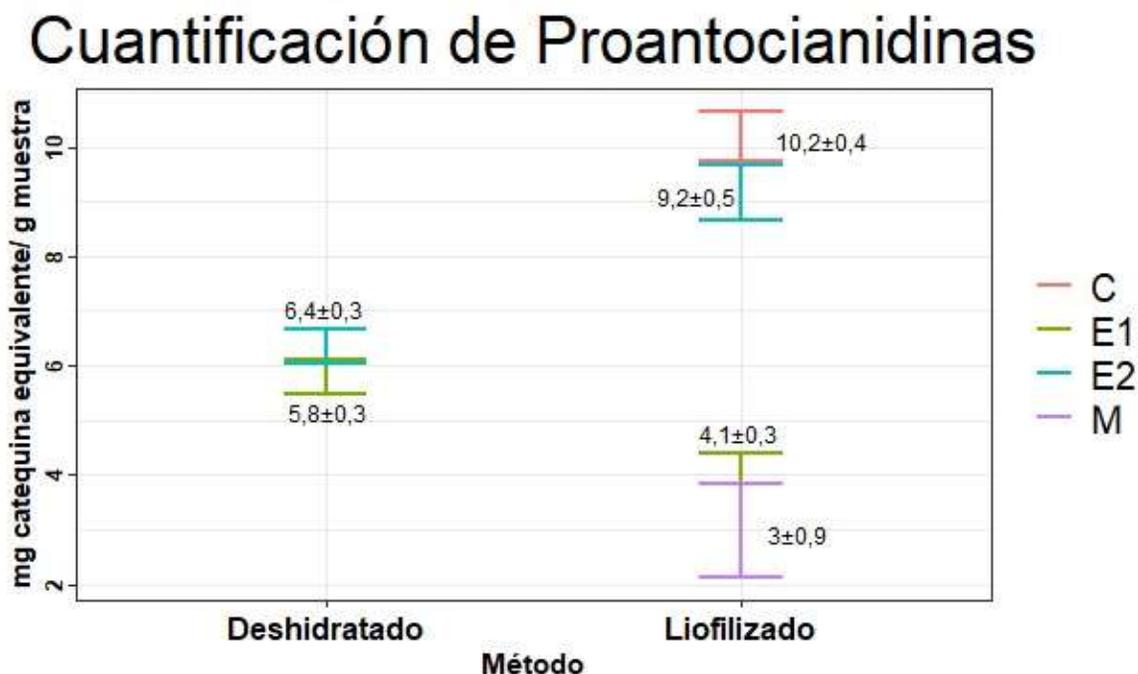


Para esta determinación, la muestra E1 (deshidratado) presentó mayor contenido de polifenoles en comparación con el método de liofilizado, mientras que los resultados de la muestra E2 se invirtieron con respecto a los resultados de la E1 en cuanto al contenido de polifenoles totales y método de deshidratación. Según Irigoytia et al. (2018), el proceso de liofilización tiene menor impacto en los polifenoles totales en comparación con el proceso de deshidratado, ya que, en polifenoles totales, los arándanos frescos contienen $9,9 \pm 0,4$ EAG/100 g, por secado por convección $1,04 \pm 0,04$ EAG/100 y por liofilizado $1,5 \pm 0,1$. Por lo tanto, en los resultados de la figura 3 se observa un comportamiento atípico en la muestra E1, recomendándose mayor cantidad de ensayos para verificar si se presenta este mismo comportamiento en las muestras E1.

Según Esquivel et al. (2019), indican que, a medida que avanza la madurez del fruto, la cantidad de polifenoles totales disminuye; mientras que la cantidad total de antocinidinas aumenta. Esto plantea que el aumento de antocianinas se produce en el epicarpio del fruto de manera tardía, por consiguiente, la disminución de los otros polifenoles totales se produce en el resto del fruto (mesocarpio y endocarpio) produciendo un efecto de dilución. Por lo tanto, en la muestra E1 es posible que su estado de madurez esté más avanzado, debido a que presenta menor cantidad de compuestos polifenólicos.

Grande et al. (2020) afirman la importancia de la mora como fuente rica en polifenoles especialmente flavonoides (antocianinas, flavonoles, flavan-3-oles y proantocianinas) y elagitaninos, en relación con esto, cabe recalcar que el fruto del cas contiene un mayor aporte de polifenoles totales ($58,1 \pm 2,4$ EAG) en comparación con el residuo de mora, considerado buena fuente de compuestos bioactivos.

Figura 4
Resultados obtenidos de proantocianidinas



Según la figura 4, el residuo E1 contiene un menor aporte de PAC, el cual se encuentra directamente relacionado al grado de madurez; en la investigación realizada por Esquivel et al. (2019), demostraron que las proantocianidinas solubles siguen la tendencia a la baja, al igual que el contenido total de polifenoles durante el desarrollo de las frutas; demostraron que el contenido de estos compuestos disminuyó 0,53 veces para arándano silvestre (*V. consanguineum*), 0,43 veces para arándano silvestre (*V. poasanum*) y 0,47 veces para uva de monte (*V. floribundum*); además, mencionan que es posible que las PAC durante el desarrollo temprano de la fruta brinden protección contra los patógenos fúngicos. Por lo que coincide lo mencionado por estos autores, ya que la muestra E2, según los análisis fisicoquímicos realizados, se encontraba en un estado de madurez temprano en comparación con la E1.

En la indagación de Muñoz et al. (2021), en el fruto de cas obtuvieron un contenido de proantocianidinas de $24,39 \pm 0,68$ mg equivalente de proantocianidina A2/g;

representando C un contenido mayor en los residuos analizados; sin embargo, el contenido de estos compuestos posee una menor cantidad de estos compuestos con respecto al estudio de Muñoz et al. (2021), por lo que el fruto completo, dependiendo del estado de madurez en que se encuentre, se puede considerar una fuente de mayor aporte de PAC. Cabe recalcar que los residuos analizados presentan compuestos bioactivos, mismos que no son aprovechados, por lo tanto, este contenido de PAC es significativo para ser un residuo.

El residuo de M muestra el menor contenido de PAC ($3,0 \pm 0,9$), sin embargo, en el estudio realizado por Vasco (2009), el contenido de proantocianidinas en la mora se encuentra en un rango de 9 a 27 mg/100g. Cabe destacar que la muestra M es solamente residuo de este fruto, por lo que es posible que la diferencia con la literatura se deba a las características de la muestra (fruto completo) e incluso estado de madurez de los frutos al ser procesados. En la tabla 6, se muestran los valores medios con su desviación estándar respectiva sobre la capacidad antioxidante para cada una de las muestras analizadas.

Tabla 6
Resultados capacidad antioxidante

Muestra	DPPH ($\mu\text{mol eq trolox/ g}$ muestra)	ORAC ($\mu\text{mol eq trolox/ g}$ muestra)	FRAP ($\mu\text{mol eq trolox/ g}$ muestra)	ABTS ($\mu\text{mol eq trolox/ g}$ muestra)
NFL $\pm ds$	$124,44 \pm 8,16$	$654,51 \pm 50,95$	$162,89 \pm 12,53$	$165,08 \pm 13,95$
NFD $\pm ds$	$164,02 \pm 5,15$	$786,06 \pm 37,68$	$208,39 \pm 13,83$	$208,78 \pm 11,67$
OVD $\pm ds$	$187,82 \pm 11,23$	$839,92 \pm 27,99$	$223,44 \pm 10,16$	$216,08 \pm 9,51$
OVL $\pm ds$	$209,29 \pm 11,47$	$1000,29 \pm 5,34$	$284,67 \pm 18,32$	$271,54 \pm 13,70$
C $\pm ds$	$287,49 \pm 14,67$	$1118,02 \pm 103,02$	$307,90 \pm 14,41$	$287,16 \pm 14,47$
M $\pm ds$	$294,55 \pm 37,28$	$1119,60 \pm 35,77$	$324,62 \pm 28,76$	$268,59 \pm 32,85$

ds: desviación estándar

De acuerdo con los métodos empleados para la determinación de la capacidad antioxidante (DPPH, ORAC, FRAP, ABTS⁺), al estar basados en fundamentos distintos, los resultados no se pueden comparar entre sí. Pérez et al. (2007) indican que FRAP

determina la capacidad antioxidante de la muestra mediante la reducción de metales, mientras que ABTS⁺, DPPH y ORAC miden la capacidad antioxidante mediante la eliminación de radicales libres de la muestra. Desde otra perspectiva, según Foti et al. (2004), así como Prior et al. (2005) citados en Pérez et al. (2007), en los métodos FRAP y ABTS⁺ hay una transferencia de un electrón, en ORAC hay una transferencia de un átomo de hidrógeno, mientras que DPPH combina ambas transferencias. Por lo tanto, de acuerdo con estas literaturas, no se puede concluir que un método sea mejor que el otro, aunque se puede asumir que, dependiendo de la matriz de análisis, puede que presente mayor afinidad con algún tipo de método. Pérez et al. (2007) indican que FRAP, ABTS⁺ y ORAC se utilizan habitualmente en muestras altamente hidrofílicas, mientras que el método DPPH se utiliza para la medición de muestras hidrofílicas y lipofílicas, considerándose los frutos de la familia *Psidium* principalmente de carácter hidrofílico (Espinal, 2010).

Pese a que los métodos de la capacidad antioxidante no se pueden comparar entre sí, debido a que presentan diferentes medios de cuantificación, se puede indicar que cada método siguió la misma tendencia antioxidante M>C>E2>E1 con excepción del método ABTS⁺, cuyo comportamiento C>M>E2>E1 variando únicamente la muestra M y C.

Según Pérez et al. (2007), los secados por medio de altas temperaturas provocan pérdida o disminución en la capacidad antioxidante. Este comportamiento se evidenció en fresas que fueron sometidas a secado por convección, secado por microondas y liofilizadas, mostrándose que el último tratamiento (liofilizado) fue el único en el que no hubo una pérdida significativa en la capacidad antioxidante en comparación con la muestra original. Este mismo autor indica que, si no se puede liofilizar, se recomienda secar al vacío a temperaturas controladas que no superen (50°C – 60°C); esta temperatura se debe aplicar dependiendo de la naturaleza de la muestra, debido a que la

reducción de capacidad antioxidante (con este secado al vacío) no fue significativa en comparación con los resultados de las muestras liofilizadas. Bajo esta premisa, las muestras OVL y OVD mantuvieron este comportamiento, es decir, las muestras liofilizadas mostraron minimizar las pérdidas de capacidad antioxidante en comparación con la muestra deshidratada; mientras que las muestras NFL y NFD mostraron un comportamiento atípico, por lo que se recomienda aplicar más ensayos para verificar si se presenta este mismo comportamiento en las muestras E1.

Según la tabla 6, se evidencia que las muestras en estudio tienen un alto aporte de capacidad antioxidante, ya que García et al. (2004) reportan una capacidad antioxidante ($\mu\text{mol eq Trolox/ g fruta fresca}$) por el método ABTS⁺, mostrando que la mora es la que mayor aporte contiene (192 μmoles)>arándanos (187 μmoles)>fresas (163 μmoles)>aguacate (1 μmol). No obstante, la mora en el estudio mencionado resultó ser la que mayor aporte de capacidad antioxidante presenta, sin embargo, los residuos de la mora analizada, según la tabla 6, presentó un aporte mayor por este mismo método ($268,59 \pm 32,85$) en comparación con este estudio de García et al. (2004). Aunque la mora ha tenido gran apogeo en diferentes estudios sobre su alta capacidad antioxidante, para García et al. (2004), las muestras analizadas mantienen un valor cercano a los resultados de la mora, siendo (C>E2>E1), en este orden respectivamente de mayor capacidad antioxidante.

Cabrera (2019) efectuó un estudio, el cual comparó cuatro tipos de cultivares de mora en diferentes estados de madurez mediante el método de ABTS⁺ y FRAP, los cuales determinaron estadísticamente que la capacidad antioxidante disminuye durante la maduración del fruto de la mora. Por consiguiente, las muestras E1 representaron un valor inferior de capacidad antioxidante por estos mismos métodos en relación con las muestras E2, atribuyéndose posiblemente a su estado de madurez, ya que la tabla 5 evidencia que la E1 presenta mayor madurez que la E2.

Cabe destacar que factores como ubicación geográfica, condiciones climáticas, condiciones y tipo de suelo, manipulación del cultivo y las condiciones de cosecha, así como los métodos de secado influyen en las características fitoquímicas y compuestos de capacidad antioxidante del fruto. Por lo tanto, es importante considerar que la composición del fruto varía con respecto a estos factores.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

El diagnóstico desarrollado sobre las condiciones de generación de residuo en la empresa E1 permitió conocer el proceso del cultivo y cosecha del fruto, el procesamiento una vez ingresado en la planta y el uso actual de estos. Por lo que se logra ampliar el panorama sobre la viabilidad de caracterizar los residuos como base de futuras líneas de investigación.

Los factores como ubicación geográfica, condiciones climáticas, condiciones y tipo de suelo, manipulación del cultivo, las condiciones de cosecha y estado de madurez influyen en las características fisicoquímicas, fitoquímicas y de compuestos de capacidad antioxidante del fruto. Por lo tanto, es importante considerar que la composición del fruto varía con respecto a estos factores. La E2 tanto en estado liofilizado como deshidratado por aire caliente mostró mayor contenido de proantocianidinas, polifenoles totales y mayor capacidad antioxidante con respecto a la E1, por lo que, posiblemente, esta variación se pueda asociar a los factores antes mencionadas.

A nivel de criterios microbiológicos, los residuos procesados, tanto deshidratados como liofilizados, se encuentran dentro de los rangos establecidos por las entidades rectoras, por lo que cumplen parámetros de inocuidad y calidad microbiológica; asimismo, se evidencia la efectividad de los procesos de lavado y desinfección, así como procesos térmicos para disminuir las cargas microbianas.

Los residuos analizados de la E1 y E2 se caracterizan por ser altos en fibra dietética en comparación con el aporte normal del fruto del cas. Este aporte podría representar grandes beneficios en la salud, debido a la liberación de compuestos bioactivos en el intestino delgado.

En los métodos empleados de deshidratado y liofilizado, se determinó que el procesamiento de liofilización tiene un menor impacto en la capacidad antioxidante de las muestras en comparación con el deshidratado, por lo que, para el aprovechamiento de estos compuestos, el tratamiento térmico aplicado es un factor importante por tomar en cuenta.

El presente trabajo de investigación ubica los residuos analizados del cas como un residuo con un alto aporte tanto a nivel fisicoquímico como en contenido de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante, permitiendo establecer una caracterización de este, con el fin de que sea base para futuras líneas de investigación sobre sus posibles usos para la industria alimentaria.

5.2. Recomendaciones

Debido a los ensayos realizados en los residuos del cas, se considera que tiene excelentes propiedades de compuestos bioactivos, un alto aporte de fibra, proteína y capacidad antioxidante; por lo que es importante realizar más estudios a los residuos de este fruto, tanto un mayor número de repeticiones, así como estudios por diferentes zonas, para obtener resultados más representativos en cuanto a la valorización de estas propiedades; asimismo, para verificar el comportamiento de las muestras liofilizadas y deshidratadas.

Se recomienda realizar un mayor número de análisis microbiológicos en los residuos de cas para determinar estadísticamente si sus parámetros de inocuidad y calidad microbiológica se mantienen. Además, llevar a cabo un estudio sobre la identificación y cuantificación de los polifenoles presentes en los residuos del cas.

Se recomienda mantener la práctica de realizar los análisis de la capacidad antioxidante por los métodos descritos en este documento, para brindar información más

completa; asimismo, determinar la naturaleza de la muestra con el fin de verificar el método más sensible para determinar los compuestos antioxidantes.

Debido a la capacidad antioxidante, aporte de fibra y proteínas de los residuos analizados, se recomienda explorar sobre posibles usos para la industria alimentaria, tales como harinas, bebidas en polvo, fortificación de materias primas, fuente de fibra, suplementos alimenticios y aditivos. Así mismo, por su alto nivel en fibra, se recomienda indagar sobre el posible uso para consumo animal, como complemento o fortificación de piensos. Además, valorar con mayor profundidad la capacidad antioxidante en los residuos del cas como potencial de aprovechamiento en la industria alimentaria.

Finalmente, se recomienda evaluar alternativas de extracciones para obtener compuestos ricos en fitoquímicos como polifenoles y PAC. Así como realizar un estudio en el que se pueda conocer la interacción de la microbiota con el contenido de fibra y liberación de compuestos en el intestino.

VI. REFERENCIAS

- Agencia Europea de Medio Ambiente. (4 de junio de 2012). *Residuos alimentarios*. Recuperado el 15 de marzo de 2022 de <https://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2012/en-detalle/residuos-alimentarios>
- Aldana, C. y Guayasamín, L. (2014). *Evaluación de la actividad antioxidante de los extractos (alcohólico y acuoso) de las hojas de ficus citrifolia y caracterización química de los polifenoles* [Tesis de licenciatura, Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito, Ecuador]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6011>
- Argueta, A., Estrada, A., y García, M. (2008). *Determinación de la aceptabilidad de galletas para niños en Edad escolar elaboradas a partir de harina de semilla de pan (artocarpus altilis) en el municipio de san lorenzo del Departamento de Suchitepéquez* [Tesis de grado, Universidad San Carlos de Guatemala, Guatemala]. <https://digi.usac.edu.gt/bvirtual/informes/prunian/INF-2008-089.pdf>
- Asencio, T. (2014). *Aprovechamiento de los excedentes del banano en la hacienda Sta. Cruz para la elaboración de un producto tipo aderezo para repostería del Cantón El Guabo provincia del Oro* [Tesis de licenciatura, Universidad Técnica de Machala, El Oro, Ecuador]. Repositorio institucional. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/2213>
- Barrance, A., Boshier, D., Chamberlain, J. Detlefsen, G., Finegan, B., Galloway, G. Gordon, J., ... Pennington, T. (2003). *Árboles de Centroamérica*. CATIE. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/9730>

- Benzie, I. F., y Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP assay. *Analytical biochemistry*, 239(1), 70-76. <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>.
- Betelgeux. (31 de enero de 2018). *El ácido peracético (PAA): Biocida de amplio espectro y bajo en residuos*. Recuperado el 15 de marzo de 2022 de <https://www.betelgeux.es/blog/2018/01/31/el-acido-peracetico-paa-biocida-de-amplio-espectro-y-bajo-en-residuos/>
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., y Berset, C. L. W. T. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology*, 28(1), 25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Cabeza, S. (10 de mayo 2016). *Beneficios de incorporar fitoquímicos a la dieta*. Unidiversidad. Recuperado el 15 de marzo de 2022 de <http://www.unidiversidad.com.ar/enfermedades-neurodegenerativas-y-dieta>
- Cabrera, A. (2019). *Evaluación del efecto del estado de madurez sobre el perfil de compuestos funcionales en cuatro cultivares de mora (Rubus sp)* [Tesis de Química de Alimentos, Universidad Central del Ecuador, Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/18023/1/T-UCE-0008-CQU-087.pdf>
- Calderón, V. y Noriega, V. (2017). *Obtención de harina de los residuos de frutas con mayor poder antioxidante y antimicrobiano. (maracuyá, cacao y plátano)* [Tesis de Bachillerato]. Universidad Estatal de Guayaquil. Repositorio institucional. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/18336>
- Cárdenas, G., Arrazola, G., y Villalba, M. (2015). Frutas tropicales: fuente de compuestos bioactivos naturales en la industria de alimentos. *Ingenium*, 17(33), 29-40. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5327083.pdf>

- Carbajal, A. (2013). *Manual de Nutrición y Dietética* (Informe No. 01). Universidad Complutense de Madrid. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/22755/1/Manual-nutricion-dietetica-CARBAJAL.pdf>
- Chan, D., Tamayo, J., Toledo, V., Madera, T. y Vargas, M. , (2020). Análisis proximal y cuantificación de compuestos bioactivos de las hojas de moringa oleífera recolectadas en la ciudad de Mérida, Yucatán. *Innovación y desarrollo tecnológico revista digital*, 12(2), 91-103.
https://www.researchgate.net/publication/342886337_Analisis_proximal_y_cuantificacion_de_compuestos_bioactivos_de_las_hojas_de_Moringa_oleifera_recolectadas_en_la_ciudad_de_Merida_Yucatan
- Comité Sectorial Regional Agropecuario Región Huetar Caribe. (2018). *Plan de acciones climáticas y gestión del riesgo*.
http://www.infoagro.go.cr/InfoRegiones/Documents/PACGR_2018-2022_RegionHuetarCaribe.pdf
- Cuadrado, S. (2016). *Estudio químico de las propiedades sensoriales y biofuncionales de la guayaba agria (Psidium friedrichsthalianum Nied)* [Tesis de Doctorado en Ciencias-Química, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia].
<http://hdl.handle.net/10261/152181>
- Cuadrado, C. T., Pozo, M. Á., y Osorio, C. (2016). Targeted metabolomic analysis of polyphenols with antioxidant activity in sour guava (*Psidium friedrichsthalianum* Nied.) fruit. *Molecules*, 22(1), 11. <https://doi.org/10.3390/molecules22010011>
- Ecos, J. (2019). *Determinación de la calidad microbiológica y sanitaria de los restaurantes situados en la plaza de armas de ica-2015* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Huancavelica, Perú]. Repositorio Institucional.
<https://repositorio.unh.edu.pe/bitstream/handle/UNH/2890/TEISCIENCIAS%20DE%20INGENIER%C3%8DA-2019ECOS%20ESPINO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Escudero, E., y González, P. (2006). La fibra dietética. *Nutrición hospitalaria*, 21, 61-72.
https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0212-16112006000500007
- Esquivel, D., Muñoz, R., Alfaro, E., Madrigal, S., Krueger, C. G., y Reed, J. D. (2019). Composition of anthocyanins and proanthocyanidins in three tropical *Vaccinium* species from Costa Rica. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(10), 2872-2879. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b01451>
- Espinal, M. (2010). *Capacidad antioxidante y ablandamiento de la guayaba Palmira ICA I (Psidium guajava) / Capacidad antioxidante y ablandamiento de la guayaba Palmira ICA I (Psidium guajava)* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia, Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/70508>
- Feliciano, R. P., Shea, M. P., Shanmuganayagam, D., Krueger, C. G., Howell, A. B., y Reed, J. D. (2012). Comparison of isolated cranberry (*Vaccinium macrocarpon* Ait.) proanthocyanidins to catechin and procyanidins A2 and B2 for use as standards in the 4-(dimethylamino) cinnamaldehyde assay. *Journal of agricultural and food chemistry*, 60(18), 4578-4585. <https://doi.org/10.1021/jf3007213>
- Food and Drug Administration (FDA). (2021). *CFR - Título 21 del Código de Regulaciones Federales*. Recuperado el 15 de marzo de 2022 de <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/cfrsearch.cfm?fr=173.315>
- Gala, E. (2018). *Evaluación del consumo de proteínas dietarias y su relación con el cáncer en los pacientes oncológicos del Hospital Nacional Arzobispo Loayza* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Educación, Lima, Perú]. <https://1library.co/document/q5wrx83q-evaluacion-proteinas-dietarias-relacion-pacientes-oncologicos-hospital-arzobispo.html>

- García, M., de Pascual, S., Santos-Buelga, C., y Rivas, J. C. (2004). Evaluation of the antioxidant properties of fruits. *Food chemistry*, 84(1), 13-18.
[https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(03\)00160-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00160-2)
- García, E., Fernández, I. y Fuentes, A. (2015). *Determinación de polifenoles totales por el método de FolinCiocalteu* (Informe No.1). ETSIAMN, Universitat Politècnica de València. <https://riunet.upv.es/handle/10251/52056>
- García, P. (2010). *Caracterización del agua recirculada y optimización de la dosificación de lechada de cal en el agua residual del ingenio Risaralda S.A.* [Tesis de licenciatura, Universidad Tecnológica de Pereira, Risaralda, Colombia]. Repositorio Institucional. <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/1826>
- González, F. (2010). *Caracterización de compuestos fenólicos presentes en la semilla y aceite de chía (Salvia hispánica L.), mediante electroforesis capilar* [Tesis de licenciatura, Instituto Politécnico Nacional, México].
<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/9536/36.pdf?sequence=1>
- Grande, C., Araujo, L., Flórez, E., y Aranaga, C. (2021). Determinación de la actividad antioxidante y antimicrobiana de residuos de mora (*Rubus glaucus* Benth). *Informador Técnico*, 85(1), 64-82. <https://doi.org/10.23850/22565035.2932>
- Hernández, R., Fernandez, C. y Baptista M. (2014). *Metodología de la investigación* (6ta ed.). Mc Graw Hill Education
https://periodicooficial.jalisco.gob.mx/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf
- Horwitz, W. y Latimer, G. (2005). *Official methods of analysis of AOAC International*. AOAC International.
- Instituto de Desarrollo Rural (Inder). (s.f.). *Caracterización del territorio Paraíso- Alvarado*.
<https://www.inder.go.cr/istaru/Caracterizacion-Territorio-Paraiso-Alvarado.pdf>

Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP). (2012). *Tabla de composición de alimentos de Centroamérica*.

<http://www.incap.int/mesocaribefoods/dmdocuments/tablacalimentos.pdf>

Integrated Taxonomic Information System (ITIS). (s.f.). *Integrated Taxonomic Information System, Report Database, Psidium friedrichsthalianum*. Recuperado el 15 de marzo de 2022 de

https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=506171#null

Irigoytia, B., Sosa, N., y Genevois, C. (2018). *Efecto de diferentes tratamientos de deshidratación sobre las propiedades físicas y nutricionales de subproductos de arándanos* (Informe No 1). Universidad Nacional de Entre Ríos.

Ley 615. (2003). *Norma sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano*. Ministerio del Perú. http://www.digesa.minsa.gob.pe/norma_consulta/Proy_RM615-2003.pdf

López, A. (2011). *Análisis fundamentales de alimentos* (Informe No.2). Escuela MEH.

Madrigal, V. (2011). *Determinación del comportamiento germinativo de semillas de cas (Psidium friedrichsthalianum L.), provenientes de la localidad de Coris de Cartago, sometidas a diferentes temperaturas, métodos de extracción de semillas y períodos de almacenamiento* [Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica]. Repositorio SIBDI.

<http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/2258>

Márquez, B. (2014). *Cenizas y grasas teoría del muestreo* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Agustín, Perú]. Repositorio institucional.

<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/4188/IAmasibm024.pdf?sequence=1&isA>

- Mateos, M. (2013). *Relación estructura/ actividad de proantocianidinas procedentes de fuentes naturales de origen vegetal* [Tesis de doctorado, Universidad de Barcelona]. https://digital.csic.es/bitstream/10261/99216/1/estructura_actividad_proantocianidinas_Mateos.pdf
- Municipalidad de Desamparados (s.f.). *Distrito N°7 Patarrá*. Recuperado el 15 de marzo de 2022 de <https://www.desamparados.go.cr/es/el-canton/distritos/distrito-7-patarra>
- Muñoz, R. (2014). *Bioprospección Fitoquímica de dos variedades de fruta de cas (Psidium friedrichsthalianum Ndz y Psidium guineense Sw.) oriundas de Costa Rica* [Tesis de licenciatura sin publicar, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica].
- Muñoz, R. y Esquivel, D. (2019). Perfil de proantocianidinas en *Psidium Friedrichsthalianum* y su potencial como superalimento (Informe No. 1). En *Congreso Internacional de Ciencias Exactas y Naturales*.
<http://dx.doi.org/10.15359/cicen.1.81>
- Muñoz, R., Esquivel, D., Alfaro, E., Rodríguez, M., Álvarez, V., Rodríguez, G., y Reed, J. D. (2021). Nutritional and Chemical Composition of the Costa Rican Guava (*Psidium friedrichsthalianum* [O. Berg] Nied): An Underexploited Edible Fruit with Nutritional and Industrial Potential. *Food Science & Technology*, 1(10), 1970-1978.
<https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.1c00262>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO). (2004). *Fundamentos*. Recuperado el 15 de marzo de 2022 de <http://www.fao.org/3/y5771s/y5771s02.htm>
- Ou, B., Hampsch-Woodill, M., y Prior, R. L. (2001). Development and validation of an improved oxygen radical absorbance capacity assay using fluorescein as the fluorescent probe. *Journal of agricultural and food chemistry*, 49(10), 4619-4626.
<https://doi.org/10.1021/jf010586o>

- Padilla, L y Ávila, J. (2015). *Lípidos* (Informe de laboratorio N°2). Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Pedraza, S. y Torres, E. (s.f.). *Temperatura y velocidad del aire en harina de guayaba (Psidium guajava) con máxima vitamina C*. (Informe No.1). Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.
- Peñaranda, L., Montenegro, S. y Giraldo, P. (2017). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 8(2), 141-147. <https://doi.org/10.22490/21456453.2040>
- Pérez, J., Arranz, S., Tabernero, M., Díaz, M. E., Serrano, J., Goñi, I., y Saura, F. (2008). Updated methodology to determine antioxidant capacity in plant foods, oils and beverages: Extraction, measurement and expression of results. *Food research international*, 41(3), 274-285. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.12.004>
- Poder Ejecutivo de Costa Rica. (2018). *Decreto 41420: Publica Resolución N° 402-2018 (COMIECO-LXXXIII) de fecha 28/06/2018 y su Anexo:"Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 67.04.50:17 Alimentos. Criterios Microbiológicos para la Inocuidad de los Alimentos"*. Sistema Costarricense de Información Jurídica. http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=87920&nValor3=114653¶m2=1&strTipM=TC&IResultado=1&strSim=simp
- Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED). (2018). *Alimentos vegetales autóctonos iberoamericanos subutilizados*. Recuperado el 15 de marzo de 2022 de <http://alimentos-autoctonos.fabro.com.mx/cas.html>
- Ramírez, A., & de Delahaye, E. P. (2009). Propiedades funcionales de harinas altas en fibra dietética obtenidas de piña, guayaba y guanábana. *Interciencia*, 34(4), 293-298. <https://www.redalyc.org/pdf/339/33911575012.pdf>

- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., y Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free radical biology and medicine*, 26(9-10), 1231-1237.
[https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
- Rioja, A. P., Vizaluque, B. E., Aliaga, E., Tejeda, L., Book, O., Mollinedo, P., y Peñarrieta, J. M. (2018). Determinación de la capacidad antioxidante total, fenoles totales, y la actividad enzimática en una bebida no láctea en base a granos de chenopodium quinoa. *Revista Boliviana de Química*, 35(5), 168-176. <https://www.redalyc.org/journal/4263/426358213006/html/>
- Santos, D., da Silva, J. A. L., y Pintado, M. (2022). Fruit and vegetable by-products' flours as ingredients: A review on production process, health benefits and technological functionalities. *LWT*, 154, 112707. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112707>
- Sibaja, P. (2015). *Evaluación del efecto de la aplicación de tecnologías emergentes (ultrasonido y ultravioleta) sobre la calidad fisicoquímica, microbiológica y sensorial de jugo de cas (Psidium friedrichsthalianum (Berg.) Niedz.) y agua de pipa (Cocos nucifera L.)* [Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica, Costa Rica]. Repositorio SIBDI.
<http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/2702>
- Silva, M., Bañuelos, R., Muro, A., Esparza, E., y Delgadillo, L. (2017). Evaluación de semilla de guayaba (*Psidium guajava* L.) como alternativa en la nutrición ruminal. *Abanico veterinario*, 7(1), 26-35. <https://doi.org/10.21929/abavet2017.71.2>
- Singleton, V., Orthofer, R., y Lamuela-Raventós, R. M. (1999). Análisis de fenoles totales y otros sustratos de oxidación y antioxidantes mediante reactivo folin-ciocalteu. *Methods in Enzymology*, 299, 152-178. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)

- Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). (2008). *Fundamentos y técnicas de análisis de alimentos*.
http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/FUNDAMENTOSYTECNICASDEANALISISDEALIMENTOS_12286.pdf
- Unusan, N. (2020). Proanthocyanidins in grape seeds: An updated review of their health benefits and potential uses in the food industry. *Journal of Functional Foods*. *Journal of Functional Foods*, (67), 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.103861>
- Vargas, M., Brito, H. F., Cortez, J. A. T., López, V. M. T., y Huchin, V. M. (2019). Aprovechamiento de cáscaras de frutas: análisis nutricional y compuestos bioactivos. *CIENCIA ergo-sum*, 26(2), 6. <https://doi.org/10.30878/ces.v26n2a6>
- Vasco, C. (2009). *Phenolic Compounds in Ecuadorian Fruits* [Tesis de doctorado, University of Agricultural Sciences, Suecia]. <https://pub.epsilon.slu.se/2076/>
- Vélez, A. y Ortega, J. (2013). *Determinación de coliformes totales y e. Coli en muestras de lechuga expandidas en cuatro mercados de la ciudad de Cuenca* [Tesis de grado, Universidad de Cuenca, Ecuador].
<https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/4301/1/TESIS.pdf>
- Vila, R. (2006). *Caracterización físico-química del membrillo japonés (Chaenomeles sp. Lindl)* [Tesis de doctorado, Universidad de Murcia, España].
<https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/11058/vilalopez.pdf?sequence=1>
- Virreira, J. (2014). *Caracterización Físicoquímica de las cascarras de naranja (Citrus sinensis L.) y pomelo (Citrus grandis), para obtener bioetanol* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/4258>

- Yepes, S. M., Montoya, L. J., y Orozco, F. (2008). Valorización de residuos agroindustriales-frutas-en Medellín y el sur del Valle del Aburrá, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 61(1), 4422-4431.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-28472008000100018
- Zapata, K., Cortes, F., y Rojano, B. (2013). Polifenoles y Actividad Antioxidante del Fruto de Guayaba Agria (*Psidium araca*). *Información tecnológica*, 24(5), 1-10.
<https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000500012>
- Zapata, S., Piedrahita, A. M., y Rojano, B. (2014). Capacidad atrapadora de radicales oxígeno (ORAC) y fenoles totales de frutas y hortalizas de Colombia. *Perspectivas en nutrición humana*, 16(1), 25-36. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0124-41082014000100003&script=sci_abstract&tlng=es

VII. APÉNDICES

Apéndice 1. Ficha técnica de la caracterización del cas

FICHA TÉCNICA

Residuos cas (*psidium friedrichsthalium*)

Residuo Cas



Composición fisicoquímica:

Fibra: 70 -73 g/100g
Proteína: 5, 74 - 5,83 g/100g
Humedad: 61 - 70 g/100g
Cenizas: 0,75 - 0, 85 g/100g
Grasa: 0,15 - 0,25 g/100g
% de semillas: 59-71%

Contenido de fitoquímicos:

Polifenoles totales: 36 - 56 mg eq ac gálico/g muestra
Proantocianidinas (PAC's): 4 - 9 mg cat eq/g muestra
Capacidad Antioxidante
ORAC: 654 - 1000 μ mol eq trolox/ g muestra
FRAP: 163 - 285 μ mol eq trolox/ g muestra
ABTS: 165 - 271 μ mol eq trolox/ g muestra
DPPH: 124 - 209 μ mol eq trolox/ g muestra

Parámetros de calidad:

°Brix: 2,7 - 3,4

pH: 2,8 - 3,10

Apéndice 2. Imágenes de residuo de cas

Figura 2.1.

Residuo de cas deshidratado por el secador de bandejas



Figura 2.2.
Residuo de cas liofilizado



**Apéndice 3. Herramienta de recopilación de información sobre principales
proveedores de la empresa E1**

Universidad Técnica Nacional
Sede Atenas
2021

**ESTUDIO DE LA GENERACIÓN Y CARACTERIZACIÓN
FISICOQUÍMICA, FITOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DE RESIDUOS
AGROINDUSTRIALES DE CAS (PSIDIUM FRIEDRICHSTHALIANUM)
PARA FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN**

Estudiantes:

Susana Morales Vásquez
Fernanda Vargas Castro

Tutora:

M-Sc Carolina Herrera Gonzáles

Herramienta de recopilación de datos - Proveedores

Procedencia de los frutos

Aplicación de agroquímicos

Condiciones de cosecha y post cosecha

Controles de producción

Análisis de calidad

Apéndice 4. Herramienta de recopilación de información sobre el manejo de residuos en la E1

Universidad Técnica Nacional
Sede Atenas
2020

ESTUDIO DE LA GENERACIÓN Y CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA, FITOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES DE CAS (*PSIDIUM FRIEDRICHSTHALIANUM*) PARA FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Estudiantes:

Susana Morales Vásquez

Fernanda Vargas Castro

Tutora:

M-Sc Carolina Herrera Gonzáles

Herramienta de recopilación de datos - Empresa E1

Recepción de materia prima

Especificaciones de madurez del fruto

Procedimientos de lavado y desinfección utilizados previo al procesamiento del fruto

Acondicionamiento para el despulpado

Método de obtención del residuo

Condiciones de manipulación y almacenamiento de residuo

Registros de rendimiento del período anterior

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Programa integral de mercadeo agropecuario

PROGRAMA INTEGRAL DE MERCADEO AGROPECUARIO

OFERTA EN TONELADAS POR CANTÓN DESDE EL AÑO 2000
HASTA EL AÑO 2019 PARA EL PRODUCTO: CAS

Cantón	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Total	
Acosta	6,10	10,61	3,78	2,13	0,55	1,95	0,55	0,15		7,10	14,30	21,01	13,89	1,07	1,95		0,50			0,20	87,32	
Escazú	0,65	2,91	2,83	5,07	9,63	13,43	17,73	4,74	3,06	9,24	18,04	18,47	6,51	0,75	2,00	4,60	2,10	3,06	2,65	3,00	131,27	
Matina											2,50		7,60								3,00	14,06
Paraíso	4,09	16,00	12,45	19,66	24,19	50,19	37,23	39,55	28,10	25,63	69,59	58,02	71,47	62,77	95,05	51,62	69,65	78,00	76,31	96,75	987,20	
Pococí									3,21	20,30	66,71	71,70	130,05	100,65	169,90	118,58	110,84	87,80	102,30	118,05	1	100,17
Pariscal	50,51	67,11	66,43	60,56	86,91	79,27	66,82	105,29	112,40	60,25	73,70	87,00	90,67	131,19	113,10	39,63	40,68	33,70	37,34	27,80	1	462,44
Santa Bárbara										0,20												0,20
Total	61,35	96,71	85,49	96,22	121,28	144,84	122,33	148,73	146,85	130,88	244,92	257,00	326,07	377,23	382,80	214,43	231,77	202,56	218,60	249,60		

**CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA USO Y MANEJO DE LOS TRABAJOS FINALES DE
GRADUACIÓN
UNIVERSIDAD TÉCNICA NACIONAL**

Atenas, 22 de abril 2022

Señores
Vicerrectoría de Investigación
Sistema Integrado de Bibliotecas y Recursos Digitales

Estimados señores:

Nombre de sustentantes	Cédula
Susana María Morales Vásquez	207660086
María Fernanda Vargas Castro	207560315

Nosotros en calidad de autores del trabajo de graduación titulado: Estudio de la generación y caracterización fisicoquímica, fitoquímica y microbiológica y capacidad antioxidante de residuos agroindustriales de cas (*Psidium friedrichsthalianum* [O. Berg] Nied) para futuras líneas de investigación.

El cual se presenta bajo la modalidad de:

Seminario de Graduación

Proyecto de Graduación

Tesis de Graduación

Presentado en la fecha 22/abril/2022, autorizamos a la Universidad Técnica Nacional, sede Atenas, para que nuestro trabajo pueda ser manejado de la siguiente manera:

Autorizamos	SI	No
Conservación de ejemplares para préstamo y consulta física en biblioteca	X	
Inclusión en el catálogo digital del SIBIREDI (Cita catalográfica)	X	
Comunicación y divulgación a través del Repositorio Institucional	X	
Resumen (Describe en forma breve el contenido del documento)	X	
Consulta electrónica con texto protegido	X	
Descarga electrónica del documento en texto completo protegido	X	
Inclusión en bases de datos y sitios web que se encuentren en convenio con la Universidad Técnica Nacional contando con las mismas condiciones y limitaciones aquí establecidas.	X	

Por otra parte, declaramos que el trabajo que aquí presentamos es de plena autoría, es un esfuerzo realizado de forma conjunta, académica e intelectual con plenos elementos de originalidad y creatividad. Garantizamos que no contiene citas, ni transcripciones de forma indebida que puedan devenir en plagio, pues se ha utilizado la normativa vigente de la American Psychological Association (APA). Las citas y transcripciones utilizadas se realizan en el marco de respeto a las obras de terceros. La responsabilidad directa en el diseño y presentación son de competencia exclusiva, por tanto, se exime de toda responsabilidad a la Universidad Técnica Nacional.

Conscientes de que las autorizaciones no reprimen nuestros derechos patrimoniales como autores del trabajo. Confiamos en que la Universidad Técnica Nacional respete y haga respetar nuestros derechos de propiedad intelectual.

Nombre del estudiante	Cédula	Firma
Susana María Morales Vásquez	207660086	<i>Susana Morales Vásquez</i>
María Fernanda Vargas Castro	207560315	<i>M. Fernanda Vargas</i>