

Caracterización física y química de residuos de frutas: cáscaras y semillas

Andrés Felipe Rojas González



Facultad de
Ingeniería y
Arquitectura

VIE - Vicedecanatura
de Investigación y
Extensión

MANIZALES
2023



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Caracterización física y química de residuos de frutas: cáscaras y semillas

Andrés Felipe Rojas González



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Bogotá, D. C., 2023

Catalogación en la publicación Universidad Nacional de Colombia

Rojas González, Andrés Felipe, 1974-

Caracterización física y química de residuos de frutas : cáscaras y semillas /

Andrés Felipe Rojas González. -- Primera edición. -- Bogotá : Editorial Universidad Nacional de Colombia ; Manizales : Universidad Nacional de Colombia.

Vicedecanatura de Investigación y Extensión. Facultad de Ingeniería y Arquitectura, 2023
1 CD-ROM (236, páginas) : ilustraciones a color, diagramas

Incluye referencias bibliográficas al final de cada capítulo e índice temático
ISBN 978-958-505-338-0 (ebook)

1. Propiedades fisicoquímicas 2. Frutas -- Residuos -- Colombia 3. Semillas de árboles frutales -- Residuos -- Colombia 4. Agroindustria 5. Cáscaras 6. Residuos de cosechas 7. Aprovechamiento de residuos 8. Manejo de desechos agrícolas I. Título

CDD-23 664.804 / 2023

-
- ⊙ Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales
Vicedecanatura de Investigación y Extensión
Facultad de Ingeniería y Arquitectura
 - ⊙ Vicerrectoría de Investigación
Editorial Universidad Nacional de Colombia
 - ⊙ Andrés Felipe Rojas González

Editorial Universidad Nacional de Colombia

Alberto Amaya

Director

Comité Editorial

Alberto Amaya

Patricia Noguera

Fabio Pavas

Veronique Bellanger

Fredy Chaparro

Jairo Peña

Pedro Benjumea

Primera edición, 2023

ISBN (digital): 978-958-505-338-0

Edición

Editorial Universidad Nacional de Colombia

direditorial@unal.edu.co

www.editorial.unal.edu.co

Equipo editorial

Coordinación editorial: Valentina Martin Roa

Corrección de estilo: Johan Sánchez

Pauta gráfica: Juan Carlos Villamil

Diagramación: Andrea Kratzer

Salvo cuando se especifica lo contrario, las figuras y tablas del presente volumen son propiedad de la autora.

Hecho en Bogotá, D. C., Colombia, 2023.



Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional
(CCBY-NC-ND 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

A

Dios por darme la sabiduría y el triunfo en todo lo que rodea mi vida.
Mi esposa Laura María Aranzazu Ríos por su gran apoyo y permanencia a mi lado.
Mis hijos Andrés Felipe y Laura Catalina, quienes son mis amores.
Mis padres Esther e Ignacio, por su amor y acertados consejos.
Mis queridos estudiantes del grupo de investigación, por sus enseñanzas y trabajo
diligente.

Andrés F. Rojas G.

Contenido

Lista de de símbolos y abreviaturas	10
Lista de tablas.....	13
Lista de figuras	16
Prefacio	19
Capítulo 1. Agroindustria de frutas en Colombia.....	23
Agroindustria	25
Clasificación de la agroindustria	25
Agroindustria en Colombia	26
Agroindustria de frutas en Colombia	30
Frutas.....	32
Partes de una fruta.....	32
Nombre científico de algunas frutas	33
Clasificación de las frutas	35
Residuos de frutas.....	39
Producción, área sembrada, rendimiento y consumo nacional de frutas.....	39
Producción de residuos de frutas en Colombia.....	44
Cáscaras de frutas.....	46
Tipos de cáscaras de frutas.....	47
Clasificación de las cáscaras de frutas como residuo.....	49
Proporción de las cáscaras en las frutas.....	51
Aprovechamiento de las cáscaras de frutas	52
Semillas de frutas.....	54
Tipos de semillas de frutas	55
Clasificación de las semillas de frutas como residuo	58
Proporción de las semillas en las frutas.....	60
Aprovechamiento de las semillas de frutas	62
Características físicas y químicas de las cáscaras y semillas de frutas.....	65
Principales características físicas y químicas de las semillas de frutas.....	65
Principales características físicas y químicas de las cáscaras de frutas.....	67
Conclusiones	68
Bibliografía	69

Capítulo 2: Caracterización física de las cáscaras y semillas de frutas87

Caracterización por análisis del índice de generación de residuos de las cáscaras y semillas de frutas	88
Método de análisis del índice de generación de residuos.....	89
Características del índice de generación de residuos de las cáscaras y semillas de frutas	90
Caracterización por análisis de tamaño y forma de las semillas y espesor de las cáscaras de frutas	93
Método de análisis de tamaño, espesor y forma de las cáscaras y semillas.....	95
Características de tamaño, espesor y forma de las cáscaras y semillas de frutas	95
Caracterización por análisis de dureza de las cáscaras de frutas.....	98
Método de análisis de dureza de las cáscaras.....	99
Características de dureza de las cáscaras de frutas	100
Caracterización por análisis de color de las cáscaras de frutas	101
Método de análisis de color de las cáscaras.....	102
Características de color de las cáscaras de frutas	102
Caracterización por análisis de densidad de las cáscaras y semillas de frutas	103
Método de análisis de densidad de las cáscaras y semillas.....	105
Características de densidad de las cáscaras y semillas de frutas	106
Conclusiones	109
Bibliografía	110

Capítulo 3. Caracterización química de las cáscaras y semillas

de frutas – Parte 1	119
Caracterización por análisis próximo	120
Método de análisis próximo.....	125
Características inmediatas de las cáscaras y semillas de frutas	128
Caracterización por análisis elemental	133
Método de análisis elemental.....	135
Características últimas de las cáscaras y semillas de frutas	136
Caracterización por contenido energético	148
Método de análisis del poder calorífico.....	150
Características de poder calorífico de las cáscaras y semillas de frutas	150

Conclusiones	159
Bibliografía	159
Capítulo 4. Caracterización química de las cáscaras y semillas de frutas – Parte 2.....	167
Caracterización por análisis de composición estructural	168
Método de análisis de composición estructural	173
Características de la composición estructural de las cáscaras y semillas de frutas	177
Caracterización por análisis de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante	182
Método de análisis de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante.....	185
Características de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de las cáscaras y semillas de frutas	189
Caracterización por análisis bromatológico.....	199
Método de análisis bromatológico	204
Conclusiones	210
Bibliografía	211
Glosario	227
Índice temático	233

Lista de símbolos y abreviaturas

$\%Inh$	Porcentaje de inhibición
A_{Bl}	Absorbancia a una longitud de onda de 515 nm para el blanco
A_{Dln}	Absorbancia a una longitud de onda de 515 nm para una disolución
D_F	Diámetro de Feret
D_{ma}	Diámetro medio aritmético
D_{mg}	Diámetro medio geométrico
M_C	Peso atómico del carbono
M_H	Peso atómico del hidrógeno
M_O	Peso atómico del oxígeno
V_c	Volumen de las cáscaras
V_d	Volumen desplazado por las semillas
V_{dc}	Volumen a granel
V_p	Volumen equivalente de las partículas individuales de las semillas
m_c	Masa de las cáscaras de una fruta
m_{gr}	Masa a granel
m_p	Masa de partícula de cada semilla
ρ_c	Densidad de las cáscaras de frutas
ρ_{gr}	Densidad a granel de las semillas
ρ_p	Densidad de partícula
a	Ancho
AGCC	Ácidos grasos de cadena corta
C	Porcentaje de carbono
Cb	Carbohidratos
Ce	Celulosa no libre de extractivos
Ce'	Celulosa libre de extractivos
CEL	Contenido de celulosa
CF	Carbono fijo
Cl	Porcentaje de cloro
CZ	Ceniza
CZ_F	Cenizas en la fibra
e	Espesor
EAG	Equivalentes de ácido gálico

EXT	Compuestos extractivos totales
EXT _{agua}	Extractivos en agua
EXT _{etanol}	Extractivos en etanol
FDS	Fibra dietética soluble
<i>Fr</i>	Fibra dietética total
FRAP	Potencial antioxidante reductor férrico
GC	Grasa cruda
H	Porcentaje de hidrógeno
H/C	Relación atómica entre el porcentaje de hidrógeno y el carbono
HHV	Poder calorífico superior
HLC	Holocelulosa
HM	Humedad
HM ₁₀₅	Humedad a 105 °C
HMC	Contenido de hemicelulosa
HM _{total}	Humedad total
Ht	Humedad total
IC	Índice de combustibilidad
IGR	Índice de generación de residuos
<i>l</i>	Largo
L	Lignina
LGN	Contenido de lignina
LHV	Poder calorífico inferior
Mdb	Muestra en base seca
MS	Materia seca
MS _{40 o 105}	Materia seca a 40 °C o 105 °C
MS _{total}	Materia seca total
MV	Materia volátil
N	Porcentaje de nitrógeno
<i>N_c</i>	Concentración equivalente
O	Porcentaje de oxígeno
O/C	Relación atómica entre el porcentaje de oxígeno y el carbono
ORAC	Capacidad de absorbancia de radicales de oxígeno
P _B	Peso del balón
P _{B+ETXetanol}	Peso del balón más extractivos solubles en etanol
P _{B+EXTagua}	Peso del balón más extractivos solubles en agua

P_{CEL}	Peso de la celulosa
PCF	Porcentaje de cáscara en la fruta
P_{CZ}	Peso de las cenizas
P_{DV}	Peso de residuo desvolatilizado
P_{HCL}	Peso de la holocelulosa
P_{LGN}	Peso de la lignina
$P_{R\ l.Ext}$	Peso del residuo libre de extractivos totales
$P_{R\ seco}$	Peso del residuo seco
Pr	Contenido de proteína
P_R	Peso del residuo
Pr_F	Proteína en fibra obtenida
PSF	Porcentaje de semillas en la fruta
QE	Equivalentes de quercetina
RPAAs	Potencial reductor de actividad antioxidante
S	Porcentaje de azufre
TE	Equivalentes de Trolox
TGA	Analizador termogravimétrico
TPC	Compuestos fenólicos totales
UV	Ultravioleta
V	Exceso de ácido
W_B	Peso del matraz de fondo redondo
W_{F+GC}	Peso del matraz de fondo redondo más peso de grasa bruta
W_F	Peso de fibra obtenida
W_W	Peso residual
φ	Esfericidad

Lista de tablas

Tabla 1.1.	Principales productos agrícolas por regiones en Colombia para el año 2017	27
Tabla 1.2.	Principales productos agrícolas en el departamento de Caldas	28
Tabla 1.3.	Algunas agroindustrias del departamento de Caldas	29
Tabla 1.4.	Nombre científico de algunas frutas	34
Tabla 1.5.	Tipos de residuos generados en el procesamiento y transformación de frutas	40
Tabla 1.6.	Producción nacional de frutas en toneladas (ton)	41
Tabla 1.7.	Áreas sembradas de algunas frutas (hectáreas)	42
Tabla 1.8.	Rendimiento promedio de producción de frutas por hectárea sembrada (ton/ha)	43
Tabla 1.9.	Consumo de frutas en las principales agroindustrias del departamento de Caldas - Colombia	43
Tabla 1.10.	Producción nacional de residuos de frutas para el 2015	45
Tabla 1.11.	Algunas agroindustrias de frutas del departamento de Caldas, con sus principales residuos	46
Tabla 1.12.	Residuos generados en las principales agroindustrias de Caldas	47
Tabla 1.13.	Tipo de residuo al que corresponden las cáscaras de frutas	50
Tabla 1.14.	Porcentaje de cáscara en algunas frutas	52
Tabla 1.15.	Tipo de residuo al que corresponden las semillas de frutas	59
Tabla 1.16.	Porcentaje de semillas en algunas frutas	61
Tabla 2.1.	Índice de generación de residuos de cáscaras y semillas de algunas frutas tomados de la literatura	89
Tabla 2.2.	Índice de generación de residuos de cáscaras y semillas de algunas frutas	92
Tabla 2.3.	Número de semillas en algunas frutas	92
Tabla 2.4.	Dimensiones y tamaño de las semillas de algunas frutas	96
Tabla 2.5.	Esfericidad de las semillas de algunas frutas	96
Tabla 2.6.	Espesor de las cáscaras de algunas frutas	97
Tabla 2.7.	Dureza de las cáscaras de algunas frutas	100
Tabla 2.8.	Color y estado de maduración de las cáscaras de algunas frutas	103

Tabla 2.9.	Masa, volumen y densidad de partícula para las semillas de algunas frutas	107
Tabla 2.10.	Masa, volumen y densidad a granel para las semillas de algunas frutas	107
Tabla 2.11.	Masa, volumen y densidad de cáscaras de algunas frutas.....	108
Tabla 3.1.	Análisis próximo e índice de combustibilidad en base seca de cáscaras de algunas frutas reportadas en la literatura.....	123
Tabla 3.2.	Análisis próximo e índice de combustibilidad en base seca de semillas de algunas frutas reportadas en la literatura.....	124
Tabla 3.3.	Condiciones de operación del análisis próximo, elemental y de poder calorífico.....	126
Tabla 3.4.	Ecuaciones empleadas en la determinación de análisis próximo	127
Tabla 3.5.	Análisis próximo en base seca e índice de combustibilidad para cáscaras de algunas frutas.....	129
Tabla 3.6.	Análisis próximo en base seca e índice de combustibilidad para semillas de algunas frutas	132
Tabla 3.7.	Análisis elemental en base seca libre de ceniza de cáscaras de algunas frutas reportadas en la literatura	134
Tabla 3.8.	Análisis elemental en base seca libre de ceniza de semillas de algunas frutas reportadas en la literatura	135
Tabla 3.9.	Correlaciones para determinar el análisis último de biomasa en base seca	136
Tabla 3.10.	Análisis último en base seca libre de cenizas de cáscaras de algunas frutas	138
Tabla 3.11.	Análisis último en base seca libre de cenizas de semillas de algunas frutas	140
Tabla 3.12.	Correlaciones empleadas en la determinación del poder calorífico....	149
Tabla 3.13.	Poder calorífico superior de cáscaras de algunas frutas.....	151
Tabla 3.14.	Poder calorífico superior de semillas de algunas frutas	153
Tabla 4.1.	Caracterización química o estructural de cáscaras de algunas frutas en base seca libre de ceniza y de extractivos, reportada en la literatura...	172
Tabla 4.2.	Caracterización química o estructural de semillas de algunas frutas en base seca libre de ceniza y de extractivos, reportada en la literatura...	173
Tabla 4.3.	Ecuaciones empleadas para determinar la composición estructural de los residuos.....	174

Tabla 4.4.	Caracterización química o estructural de cáscaras de algunas frutas en base seca libre de ceniza y de extractivos (% CEL+% HEM+% LIG = 100 %)	178
Tabla 4.5.	Relación de constituyentes estructurales de cáscaras de algunas frutas	180
Tabla 4.6.	Caracterización química o estructural de semillas de algunas frutas en base seca libre de ceniza y de extractivos (% CEL+% HEM+% LIG = 100 %)	181
Tabla 4.7.	Relación de constituyentes estructurales de semillas de algunas frutas	182
Tabla 4.8.	Contenido de flavonoides totales de cáscaras de algunas frutas	190
Tabla 4.9.	Contenido de flavonoides totales de semillas de algunas frutas	191
Tabla 4.10.	Contenido de polifenoles totales y capacidad antioxidante de cáscaras de algunas frutas	192
Tabla 4.11.	Contenido de polifenoles totales y capacidad antioxidante de semillas de algunas frutas	194
Tabla 4.12.	Actividad antioxidante medida por los métodos FRAP, RPAA y ORAC de cáscaras de algunas frutas	195
Tabla 4.13.	Actividad antioxidante medida por los métodos FRAP, RPAA y ORAC de semillas de algunas frutas	197
Tabla 4.14.	Análisis bromatológico de la mezcla de residuos del procesamiento de algunas frutas en base seca libre de cenizas, reportado en la literatura	203
Tabla 4.15.	Ecuaciones empleadas para determinar la composición bromatológica de residuos	204
Tabla 4.16.	Análisis bromatológico de cáscaras de algunas frutas	207
Tabla 4.17.	Análisis bromatológico de semillas de algunas frutas	209

Lista de figuras

Figura 1.1.	Clasificación de las frutas.....	35
Figura 1.2.	Clasificación de las cáscaras de frutas	48
Figura 1.3.	Clasificación de las semillas de frutas.....	55
Figura 3.1.	Diagrama de Van Krevelen para cáscaras y semillas de algunas frutas	142
Figura 3.2.	Variación de la materia volátil con el contenido del elemento carbono en cáscaras y semillas de algunas frutas	144
Figura 3.3.	Variación de la materia volátil con el contenido del elemento hidrógeno en cáscaras y semillas de algunas frutas.....	145
Figura 3.4.	Variación de la materia volátil con el contenido del elemento oxígeno en cáscaras y semillas de algunas frutas.....	145
Figura 3.5.	Variación del índice de combustibilidad con la relación atómica H/C y el porcentaje de carbono presente en cáscaras y semillas de algunas frutas.....	146
Figura 3.6.	Variación del índice de combustibilidad con la relación atómica O/C y el porcentaje de oxígeno presente en cáscaras y semillas de algunas frutas.....	147
Figura 3.7.	Variación del poder calorífico superior con el contenido de cenizas en cáscaras y semillas de algunas frutas	154
Figura 3.8.	Variación del poder calorífico superior con el contenido de materia volátil en cáscaras y semillas de algunas frutas.....	155
Figura 3.9.	Variación del poder calorífico superior con el contenido de carbono fijo en cáscaras y semillas de algunas frutas.....	156
Figura 3.10.	Variación del poder calorífico superior con el índice de combustibilidad en cáscaras y semillas de algunas frutas	156
Figura 3.11.	Variación del poder calorífico superior con la relación atómica O/C y el porcentaje de oxígeno presente en cáscaras y semillas de algunas frutas.....	157
Figura 3.12.	Variación del poder calorífico superior con la relación atómica H/C y el porcentaje de carbono elemental presente en cáscaras y semillas de algunas frutas	158

Agradecimiento

El autor agradece a los estudiantes del programa de ingeniería química: Ana Sofía Franco Pérez, Angélica María Ruiz Rodríguez, Danya Katherine Jurado Erazo, Diego Andrés Orrego Grisales, Karol Ximena Salazar Rivera, Laura Liliana Cañaverl González, Leidy Maribel Pinchao Cuatin, Manuela Vélez Castro, Valentina Salazar Núñez y Yanela Alexandra Tulcán Cuasapud, quienes hicieron parte de los semilleros de investigación y trabajos de grado que apoyaron el desarrollo del proyecto de investigación titulado “Valorización Térmica de Residuos de Frutas Generados en la Agroindustria de Colombia”. También se da un agradecimiento especial a la ingeniera química, y ahora magister en ingeniería química, Ciliana Flórez Montes, por sus aportes en la realización de algunos análisis que enriquecieron la discusión en este documento.

Prefacio

Todo proceso industrial, especialmente los desarrollados en la agroindustria de un país, genera residuos con características especiales, que dependen del tipo de materia prima que se procesa. En la agroindustria se manejan materias primas como carnes (provenientes principalmente del ganado vacuno, ovino y caprino), pollo, pescado, verduras, leche, frutas, entre otras, generando residuos específicos derivados de estas materias primas. Un ejemplo de lo anterior es lo que ocurre en la agroindustria de frutas, que se enfoca en la producción y elaboración de jugos, néctares, mermeladas, compotas, almíbar, bocadillos, bebidas alcohólicas, salsas a base de frutas, frutas enlatadas, frutas deshidratadas, granolas, confitería, pulpas, etc. En esta agroindustria se generan como residuos: cáscaras, semillas, pulpa, pedúnculos, hojas, capachos, coronas, raspones o escobajos y vainas.

Una fruta es una parte de la planta considerada como el estado de madurez máximo alcanzado por sus ovarios u órganos florales. Esta parte de la planta está constituida por una fracción comestible (pulpa) y una fracción no comestible (cáscara, semillas, hojas, pedúnculos, etc.), y se caracteriza por su variedad de colores, formas, aromas y sabores. Las frutas son consideradas, junto con las verduras, componentes importantes de una dieta saludable, debido a que son uno de los alimentos con mayor cantidad de nutrientes, porque su parte comestible presenta gran variedad y contenido de vitaminas, antioxidantes, minerales y fibra.

A pesar de que las fracciones comestibles de las frutas son consumidas por sus importantes beneficios nutricionales, las fracciones no comestibles (cáscara, semillas, hojas, pedúnculos, etc.) pueden tener mayor cantidad de nutrientes. Las fracciones no comestibles de la fruta presentan sustancias bioactivas con mayor capacidad antioxidante, fibra con mejores características solubles y ácidos grasos con más insaturaciones, dado que tienen distintos perfiles fotoquímicos respecto de la fracción comestible.

Para aprovechar los beneficios, no solamente nutricionales, de los residuos o fracciones no comestibles de las frutas, se requiere realizar procesos físicos, químicos o biológicos, a través de los cuales se podrán obtener productos como papel, aditivos nutricionales, vitaminas, colorantes, carbón activado, harinas para panadería, aceites

y extractos aprovechables en la industria farmacéutica y cosmética, biocombustibles (como biodiesel, biogás, bioetanol, biohidrógeno, etc.), bioenergía, biopolímeros, biofertilizantes, biomateriales (como la madera plástica), entre otros.

Aun con lo anterior, para establecer el tipo de proceso físico, químico o biológico, o para determinar los posibles aprovechamientos de los residuos de frutas, es necesario realizar una caracterización física, química o térmica de las fracciones no comestibles de las frutas. Estas caracterizaciones permiten conocer las propiedades fisicoquímicas que tienen los residuos en el momento de ser aprovechados dado que, una vez estos residuos son generados, se inician algunas reacciones de descomposición que deterioran sus propiedades.

Este libro surgió como resultado de la culminación de varios proyectos de investigación, apoyados por trabajos de grado y tesis de maestría, realizados en el Grupo de Investigación en Aprovechamiento de Residuos (GIAR). Entre los proyectos están: 1) *Identificación, cuantificación y caracterización de los residuos orgánicos generados en la agroindustria Caldense para su aprovechamiento energético y bioactivo*, 2) *Valorización térmica de residuos de frutas generados en la agroindustria de Colombia*, 3) *Evaluación del potencial energético y bioactivo de los residuos generados por la producción y transformación de la uva*, y 4) *Remoción de compuestos azufrados y amoniacales de aguas residuales con un adsorbente obtenido de residuos agroindustriales*. Por su parte, algunos de los trabajos de grado en el programa de Ingeniería Química fueron: 1) *Caracterización estructural de algunos residuos de la agroindustria caldense*, 2) *Caracterización fisicoquímica de las semillas de frutas*, 3) *Caracterización fisicoquímica de las cáscaras de frutas*, y 4) *Extracción asistida por microondas y ultrasonido de compuestos polifenólicos de residuos de frutas*. Finalmente, las tesis de maestría que se desarrollaron fueron: 1) *Evaluación del potencial energético y bioactivo de los residuos generados por la producción y transformación de la uva*, 2) *Obtención de materiales compuestos madero plásticos a partir de la mezcla de residuos lignocelulósicos y plásticos posindustrial*, y 3) *Valorización de residuos del procesamiento de frutas para la obtención de un ingrediente alimenticio*.

La temática presentada en este libro se aborda de manera secuencial a través de cuatro capítulos, para que el lector interesado en la caracterización de biomasa residual comprenda con facilidad las técnicas de caracterización y tenga a la mano datos de caracterización física y química de cáscaras y semillas de algunas frutas. Este texto puede ser estudiado y consultado por estudiantes, profesionales en ejercicio y estudiantes de posgrado en las áreas de ingeniería ambiental, ingeniería de procesos, ingeniería de

alimentos, ingeniería de manufactura, ingeniería agroindustrial, ingeniería biotecnológica, ingeniería química, entre otras profesiones.

Todos los capítulos cuentan con introducción, conclusiones y una sección de referencias. Los tres últimos capítulos del libro contienen un soporte conceptual, una descripción de los métodos de análisis y los resultados de la caracterización de los residuos de algunas frutas. El libro también presenta una sección de glosario con definiciones de los términos que aparecen en el transcurso del texto, con el fin de que el lector comprenda mejor el contenido.

El capítulo uno presenta una revisión bibliográfica para contextualizar al lector en temas de agroindustria, frutas, cáscaras y semillas de frutas, y sus características físicas y químicas. En la sección de agroindustria se presenta su definición y clasificación, además de un abordaje sobre la agroindustria en general y la agroindustria de frutas en Colombia. En la sección de frutas, además de darse la definición de fruta, se abordan sus partes, clasificación, residuos generados por el cultivo y procesamiento de las frutas, producción, área sembrada, rendimiento de los cultivos, consumo nacional de frutas y la producción de residuos de frutas en Colombia. En las secciones de cáscaras y semillas de frutas, se presentan las definiciones, partes y tipos de cáscaras y semillas; se aborda la clasificación de las cáscaras y semillas de frutas como residuo; y se explican los aprovechamientos actuales de estos dos residuos de fruta. El capítulo termina con una revisión exhaustiva de las principales características físicas y químicas que se pueden determinar para las cáscaras y semillas de frutas.

El capítulo dos presenta las características físicas de las cáscaras y semillas de algunas frutas. Para cada una de las características físicas medidas en este capítulo se describe el método de análisis empleado, los resultados obtenidos y el análisis de los resultados. Las características medidas para las cáscaras fueron: el índice de generación de residuos, espesor, dureza, color y densidad. Mientras que las características medidas en las semillas fueron: índice de generación de residuos, tamaño (diámetro medio aritmético, diámetro medio geométrico y diámetro de Feret), forma (esfericidad) y densidad.

Los capítulos tres y cuatro se enfocan en la caracterización química de las semillas y cáscaras de algunas frutas. En ambos, al igual que en el capítulo dos, se describe el método de análisis empleado, se presentan los resultados obtenidos y se hace un análisis de resultados para cada una de las características químicas medidas. En el capítulo tres se realiza el análisis próximo (humedad, ceniza, materia volátil y carbono fijo), el análisis elemental (carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre) y el análisis del poder calorífico superior. Mientras que en el capítulo cuatro, se caracterizan las semillas

y las cáscaras de algunas frutas por medio de los análisis de composición estructural o químico, composición de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante, y composición bromatológica.

A.F. Rojas González

Capítulo 1. Agroindustria de frutas en Colombia

Las frutas son un producto agrícola que se consume ampliamente en el mundo por su contenido nutritivo (vitaminas, fibra, azúcares, compuestos antioxidantes), efectos positivos para la salud y por su diversidad de usos (jugos, néctares, mermeladas, ensaladas de frutas, almíbares, pulpas, etc.). Este consumo conlleva a la generación de grandes cantidades de residuos, producidos en la agroindustria del procesamiento de frutas y en espacios como la cocina doméstica, instituciones, heladerías, fruterías y restaurantes. Durante el cultivo, procesamiento y consumo de las frutas, se generan residuos que representan entre el 5 y el 80 % del peso total de la fruta fresca. Específicamente en el proceso de industrialización de cítricos, el rendimiento en la producción de zumo de estas frutas es menor al 50 % del peso de la fruta, generando subproductos como cáscaras y semillas que son considerados como desperdicios (Li *et al.*, 2006; Lagha-Benamrouche y Madani, 2013; Juhaimi, 2014; Tenorio-Domínguez, 2016). En términos generales, los subproductos o residuos de frutas están constituidos principalmente por pedúnculos, hojas, capachos, coronas, escobajos, vástagos, bagazo, pulpa, cáscaras, semillas, etc. (Rojas *et al.*, 2019).

Desechar o disponer los residuos de frutas en el campo, laderas, bordes de carretera y rellenos sanitarios, origina la pérdida de nutrientes, pérdidas económicas y problemas ambientales, como propagación de plagas, atracción de roedores e insectos, malos olores, contaminación de suelos y de cuerpos de agua, emisiones de gases de efecto invernadero, entre otros. Sin embargo, el aprovechamiento de residuos de frutas permite combatir el hambre, mejorar la seguridad alimentaria, aumentar los ingresos económicos de la agroindustria, reducir la contaminación ambiental, recuperar sustancias de valor agregado como colorantes y compuestos antioxidantes, y obtener materias primas de bajo costo para la elaboración de biofertilizantes (compostaje), proteína animal (lombricultivo) y alimento para animales (Mohsen *et al.*, 2012).

Colombia cuenta con diferentes pisos bioclimáticos, que le permiten tener una gran biodiversidad agropecuaria, por lo que es un país con potencial para la generación de diferentes productos de carácter agrícola, que son fundamentales para su economía. Entre los alimentos de mayor producción del agro colombiano se encuentran los ela-

borados en el sector hortofrutícola, que produce hortalizas y frutas en gran variedad y de forma masiva. En el 2018 la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) reportó que la producción mundial de frutas fue de 867.77 millones de toneladas (González, 2002), mientras que la producción hortofrutícola de Colombia fue de 10 843 361 de toneladas (Asohofrucol, 2019). El procesamiento de las frutas, en diferentes industrias como la industria de alimentos, genera una serie de residuos agroindustriales que se caracterizan principalmente por su amplio volumen de producción, dificultad en su manejo e incorrecta disposición (Cury *et al.*, 2017).

Actualmente, el aprovechamiento de estos residuos ha generado especial interés y es visto como una alternativa viable para su reincorporación en el ciclo productivo, dando un valor agregado a la agroindustria y mitigando el impacto sobre el medio ambiente. La mayoría de los residuos agroindustriales son aprovechados mediante el compostaje, la lombricultura y el uso directo como alimento para animales. Sin embargo, las propiedades de estos residuos resultan atractivas para uso cosmético, agronómico, energético, farmacéutico y alimentario. Esto indica que los residuos de frutas son susceptibles de ser aprovechados en muchos campos, como es el caso de la industria alimentaria, donde la recuperación de fibra dietaria de residuos de frutas permite aprovechar las propiedades benéficas sobre la salud humana, debido a la ingesta regular de fibra (Vargas *et al.*, 2019). La fibra puede prevenir y tratar enfermedades no transmisibles, como el sobrepeso, la obesidad, la hipertensión arterial, la diabetes tipo dos, el estreñimiento, el cáncer en el colon, entre otras (Vilcanqui *et al.*, 2018). También, los residuos se pueden considerar como una fuente de compuestos valiosos, como polifenoles y antioxidantes, que brindan considerables beneficios a la salud debido a sus aportes nutricionales, principalmente en vitaminas (Singh e Immanuel, 2014; Suja *et al.*, 2017).

Este capítulo inicia con la definición y clasificación de la agroindustria. Además, analiza la agroindustria en Colombia, específicamente en el departamento de Caldas, con un enfoque en la agroindustria de frutas; trata a las frutas en general con sus nombres científicos; incluye su clasificación, residuos generados en su cultivo, procesamiento, y consumo; y aborda la producción, área sembrada, rendimiento y consumo de frutas en Colombia, así como la producción nacional de residuos de frutas. El capítulo termina con la definición y tipos de cáscaras y semillas de frutas, junto con la clasificación de estos subproductos, sus proporciones en la fruta, y sus actuales y posibles aprovechamientos y valorizaciones.

Agroindustria

El término agroindustria es empleado para designar los procesos que están orientados a la transformación de productos que provienen de actividades agrícolas, ganaderas, forestales, pecuarias o pesqueras. Los procesos modifican las características físicas, químicas, térmicas o biológicas de las materias primas, con el propósito de generar productos intermedios del sector agrícola (FAO, 1997). Esto se logra poniendo en acción los objetivos fundamentales de la agroindustria, que, de acuerdo con Cortés (2007), son:

- Integrar el sector agropecuario de un país como un sector industrial.
- Unir al campo y la ciudad.
- Obtener un bien consumible mediante otro proceso diferente al que actualmente se utiliza.
- Incrementar la vida útil de los productos.
- Cambiar la presentación del producto con el fin de facilitar su consumo o transporte.
- Mejorar el contenido nutricional de un producto.
- Extraer productos de mayor valor agregado.
- Implementar nuevas metodologías de producción.
- Reducir las pérdidas postcosecha.
- Incentivar la integración del comercio regional.
- Fomentar modelos y técnicas de producción nativos o autóctonos de una región.
- Migrar de una producción artesanal a una industrial.
- Aumentar la capacidad de producción del sector agropecuario.
- Promover la seguridad alimentaria.

Clasificación de la agroindustria

En la literatura se encuentran varias clasificaciones de la agroindustria, entre las que están: según su capacidad de absorción tecnológica; según la relación existente entre agricultura, industria y tecnología; y según si es alimentaria o no alimentaria. La clasificación de la agroindustria según su capacidad de absorción tecnológica se divide en: agroindustria básica tradicional, agroindustria básica moderna, agroindustria de productos diferenciados, agroindustria de agroexportación tradicional y agroindustria de agroexportación moderna (Barrera y Jiménez, 2015). Entre la clasificación según la relación existente entre agricultura, industria y tecnología, se encuentran: la agroindustria artesanal, la agroindustria de integración, la agroindustria de producción propia, la agroindustria disociada de bases agrícolas específicas, y la agroindustria a partir

de la agricultura (Barrera y Jiménez, 2015). Por su parte, la clasificación según si es alimentaria o no alimentaria, se divide en agroindustria alimentaria y agroindustria no alimentaria (Castillo y Dávila, 2012). Sin embargo, la clasificación más utilizada es aquella que considera el grado de transformación del producto final, de tal manera que, de acuerdo con Cardona *et al* (2012), divide la agroindustria en niveles de transformación como:

- Nivel de transformación cero: clasificación que considera las operaciones básicas de almacenamiento de materias primas de origen vegetal y la transformación artesanal o básica de productos. Por tanto, el valor agregado de los productos es bajo.
- Nivel de transformación uno: considera a las agroindustrias donde los productos frescos se someten a una transformación primaria, con un nivel bajo tanto de uso de la tecnología, como de las herramientas empleadas.
- Nivel de transformación dos: esta clasificación se caracteriza por emplear tecnología más avanzada, tiene una organización empresarial definida, y el sistema productivo ofrece algunos productos en pocas y moderadas cantidades.
- Nivel de transformación tres: procesa las materias primas a través de transformación química para obtener productos alimentarios o no alimentarios, con el propósito de elaborar un producto alimenticio o insumo agropecuario.

Agroindustria en Colombia

Colombia es un territorio con el potencial de producir gran variedad de especies vegetales, entre ellas las frutas y verduras, tanto para el consumo interno como para el externo. Esto debido a la diversidad de características geográficas, climáticas y biológicas de los diferentes ecosistemas, la riqueza cultural y su ubicación ecuatorial (FAO, 2012). De acuerdo con las estadísticas del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (Dane), se establece que la agroindustria colombiana está compuesta principalmente por cinco actividades agropecuarias: 1) café, 2) productos de animales y de caza, 3) extracción de madera y silvicultura, 4) pesca, acuicultura y servicios relacionados, y 5) otros productos agrícolas, como flores, frutas y vegetales. Además, Colombia tiene otras actividades manufactureras como el café y trilla, carnes y pescados, lácteos, azúcar y panela, molinería, almidones y sus productos, aceites y grasas, producción animal y vegetal, madera, corcho, paja, tabaco, productos alimenticios, cacao, chocolate y productos de confitería, fibras textiles naturales, hilazas e hilos, tejidos de fibras textiles, incluso afelpados y bebidas (Asociación Nacional de Industriales - Andi, 2017).

A nivel global, el sector primario, representado en actividades agrícolas, pecuarias, forestales y pesqueras, es de vital importancia para la producción de alimentos y la provisión de insumos para la industria. Sin embargo, la contribución de la agricultura al Producto Interno Bruto (PIB) mundial pasó de representar el 8 % en 1995 a 3.9 % en 2015. La agroindustria colombiana representa el 10 % del PIB nacional, con una participación de 28 325 millones de dólares, de los cuales el 65 % corresponde a la producción agropecuaria y el 35 % restante a las actividades de la industria manufacturera. La agroindustria en Colombia creció solamente 1.25 % en 2016, tasa inferior al crecimiento del PIB total y al promedio anual de crecimiento que traía la agroindustria desde el 2000, que era de 2.30 %. En el año 2015, la actividad agropecuaria del país tuvo una producción de 17 486 millones de dólares, de los cuales el 32.50 % correspondió a consumo intermedio y el 67 % se destinó a ventas intermedias (Andi, 2017). En el 2017 la tasa de crecimiento de la producción de frutas en Colombia presentó una tasa de crecimiento de 1.10 % anual, pasando de 10.60 millones de toneladas en el 2016 a 10.70 millones de toneladas en el 2017.

Tabla 1.1. Principales productos agrícolas por regiones en Colombia para el año 2017

Región	Producción en Colombia (%)	Principales frutas y vegetales producidas
Caribe	15.12	Ñame, plátano, mango, cítricos y papaya
Cafetera	23.37	Plátano, cítricos, aguacate y tomate de árbol
Santanderes	12.28	Piña, cítricos, plátano, tomate de aliño y cebolla
Orinoquía	12.93	Plátano, piña, cítricos, sandía y maracuyá
Pacífico	17.21	Plátano, piña, cítricos, coco y tomate
Centro	16.90	Plátano, mango, cítricos, tomate y aguacate
Amazonía	2.18	Plátano, chontaduro, piña y lulo

Fuente: Modificado de Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2018).

En cuanto a regiones productoras de frutas en Colombia, se destacan las regiones cafetera, centro y pacífica, donde se concentra el 57 % de la producción de frutas nacional, que equivalen a 6.40 millones de toneladas. El área sembrada de frutas en Colombia reportó un crecimiento de 2.70 %, que corresponde a 25 mil hectáreas respecto al año 2016, por lo que se pasó de 1.01 millones de hectáreas en 2016, a 1.04 millones en el 2017. En la tabla 1.1 se muestra el porcentaje de participación de los principales

productos vegetales por regiones de Colombia para el año 2017. (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2018)

Tabla 1.2. Principales productos agrícolas en el departamento de Caldas

Productos agrícolas	Municipios con mayor producción
Café	Manizales, Anserma, Pensilvania, Chinchiná, Risaralda y Palestina
Caña	Viterbo, Supía, Neira, Filadelfia, Pácora y Samaná
Plátano	Anserma, Manizales, Pácora, Neira, Risaralda, Aguadas y Belalcázar
Cítricos	Aguadas, Anserma, Palestina, Manizales y Viterbo
Yuca	Anserma, Chinchiná, Risaralda, Samaná y Viterbo
Cacao	Samaná, Victoria, Anserma y Belalcázar
Aguacate	Norcasia, Anserma y Risaralda
Caucho	Victoria, Samaná y Marquetalia
Banano	Manizales
Granadilla	Aranzazu y Salamina
Fique	Marquetalia y Samaná
Mora	Aguadas
Lulo	Risaralda
Guayaba	Manizales y Palestina
Maracuyá	Aguadas, Anserma, Risaralda, San José y Viterbo
Tomate de árbol	Anserma y Aranzazu

Fuente: Modificado de Cardona *et al.* (2012).

El departamento de Caldas, localizado en la zona andina de Colombia, hace parte del eje cafetero con los departamentos de Risaralda y Quindío, y las regiones noroccidental del Tolima, suroccidental de Antioquia y el norte y oriente del Valle del Cauca. Por su ubicación geográfica, el departamento de Caldas tiene la facilidad de distribuir sus productos a nivel nacional, por lo que es un departamento con gran potencial en el sector agroindustrial. Los principales productos agrícolas del departamento de Caldas son: café, plátano, cítricos, yuca, caña, maíz, entre otros. Un resumen de los productos agrícolas más importantes del departamento se presenta en la tabla 1.2 (Cardona *et al.*, 2012). El principal producto agroindustrial de este departamento es el café, con 70 793 hectáreas sembradas dedicadas a su producción (*La Patria*, 2017). Mientras que productos como

yuca, cacao, aguacate, caucho, banano y granadilla, cuentan con hectáreas sembradas entre 315 y 2314 para cada especie. En los últimos años, las hectáreas sembradas de mora y lulo han aumentado, mientras que las de café, caña, guayaba, maracuyá y tomate de árbol han disminuido (Cardona *et al.*, 2012).

En Caldas, existen diversos procesos agroindustriales tecnificados que cuentan con un mercado asegurado; sin embargo, muchos de los procesos agroindustriales del departamento son artesanales y los productos son de venta local. En la tabla 1.3 se presentan algunas de las empresas representativas de Caldas, se especifican las materias primas agroindustriales usadas por ellas y se ubica el municipio al que pertenecen. Las empresas se localizan principalmente en la subregión centro sur del departamento, específicamente en Manizales, Chinchiná, Neira y Palestina. Las industrias citadas en la tabla se centran en la transformación de materias primas provenientes del sector agrícola para la elaboración de productos alimenticios como bebidas, pulpas de fruta, confitería, *snacks*, granolas, cereales, compotas, enlatados, entre otros.

Tabla 1.3. Algunas agroindustrias del departamento de Caldas

Empresa	Materia prima	Municipio
Buencafé liofilizado de Colombia	Café	Chinchiná
CI Súper de Alimentos S.A.	Coco y azúcar	Manizales
Frugy S.A.	Frutas como: guayaba, mora, borojó, breva, curuba, feijoa, fresa, guanábana, lulo, mango, maracuyá, papaya, piña, tamarindo y tomate de árbol	Manizales
Frugen S.A.S.	Frutas y cacao	Manizales
Delicoco	Coco	Neira
Cenicafé	Café	Chinchiná
Jartru y Compañía S.A.	Plátano	Manizales
Meals de Colombia SAS	Frutas como: naranja, uva y manzana	Manizales

FLP procesados	Frutas como: guayaba, guanábana, piña, lulo, mango, naranja, maracuyá y tomate de árbol	Chinchiná
Comestibles Mapy S.A.S.	Plátano	Manizales
Descafecol S.A.S.	Café	Manizales
Colombiana de deshidratados S.A.S.	Frutas como: banano, mango, papaya, piña y uchuva	Manizales
Celema	Leche	Manizales
Industria de Alimentos Gransoli y Cia. S en CA	Yuca y maíz	Manizales
Normandy	Leche	Manizales
Be fruit	Cáscaras de banano, mango, piña, tomate y uchuva	Palestina
Casa Luker, planta de café	Cacao y café	Manizales
Frutasa	Frutas como: naranja, limón y mandarina	Chinchiná
Passiflora Colombiana S.A.	Frutas como: banano, curuba, feijoa, fresa, granadilla, guanábana, guayaba, limón, lulo, mango, maracuyá, melón, mora, naranja, papaya, piña, tomate de árbol y uchuva	Chinchiná

Fuente: Modificado de Flórez (2017).

Agroindustria de frutas en Colombia

La industria alimenticia es de suma importancia para Colombia, pues representa el 30 % de la producción nacional industrial; sin embargo, la agroindustria de preparados de frutas y hortalizas solo corresponde al 0.2 % de la producción nacional bruta generada por el total de la agroindustria manufacturera, y representa únicamente el 1.0 % de la producción nacional bruta de la industria de alimentos en Colombia (Palacio-Peláez, 2017).

En Colombia alrededor de 80 000 productores de frutas, hortalizas y plantas aromáticas, medicinales y condimentarias, de 23 departamentos y 380 municipios, se encuentran agremiados en la Asociación Hortifrutícola de Colombia (Asohofrucol). Desde 1996 esta asociación es la encargada de administrar los recursos del Fondo Nacional de Fomento Hortifrutícola (FNFH) del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Asohofrucol es la entidad responsable del recaudo de la cuota de fomento hortofrutícola, de su manejo y de financiar proyectos productivos que promuevan la productividad, competitividad y desarrollo de los agronegocios (Palacio-Peláez, 2017). El FNFH es uno de los catorce fondos parafiscales del sector agropecuario, que fueron creados por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Este fondo parafiscal es para atender las necesidades del sector de frutas y hortalizas del país, tiene como función principal la recolección de la cuota para este subsector y se rige por la Ley 118 de 1994 (Congreso de la República de Colombia, 1994).

En mayo de 2020, la Red Agrícola de Colombia comunicó en su canal de noticias que Asohofrucol, en su informe de 2019, reportó que la producción hortofrutícola nacional creció en un 5 %, pasando de 11.30 millones de toneladas en 2018, a 11.80 millones de toneladas en 2019, de las cuales 7.30 millones correspondieron a frutas frescas. Lo anterior, indica que la producción colombiana de frutas frescas creció un 20.60 % en los últimos cinco años. Para el 2019, Colombia registró 82 946 hectáreas cultivadas de aguacate, 38 317 de piña, 33 433 de mango, 8736 de papaya, y 2552 de fresa, entre otras (*Invest in Colombia*, 2020). Los departamentos con la mayor producción de frutas y hortalizas son: Antioquia (11 %), Santander (10 %), Meta (8 %), Arauca (7 %), Valle del Cauca (7 %) y Cundinamarca (6 %), los cuales en conjunto tienen una participación del 49 % de la producción nacional (Red Agrícola, 2020).

Asohofrucol también informó que para el 2019 las exportaciones de frutas y hortalizas frescas y procesadas superó las 264 000 ton, con ingresos aproximados de 409 millones de dólares, que representaron un aumento del 10 % en exportaciones y un incremento del 14 % en ingresos, respecto al año 2018. Los productos preparados o conservados de exportación que generaron más divisas ese año fueron: aguacate, gu-lupa, plátano, uchuva, lima ácida Tahití y mango. Estos seis productos representaron el 75 % del total de los ingresos por las exportaciones de frutas y hortalizas frescas y procesadas. Además, fueron exportados a más de 79 países. El 74 % de las exportaciones fueron a Estados Unidos, 32 % a Reino Unido, 18 % a Países Bajos, 15 % a Holanda, 5 % a Bélgica y 4 % a España (Asohofrucol, 2019; Red Agrícola, 2020).

Frutas

Desde el punto de vista de la botánica, una fruta es el estado de madurez alcanzado por los órganos florales u ovarios de una planta, que contiene las semillas (Cámara *et al.*, 2003). Las frutas se caracterizan por la gran variedad de colores, formas, aromas y sabores. Además, son uno de los alimentos con mayor cantidad de nutrientes por su gran variedad y contenido de vitaminas, minerales y fibra, que las hacen adecuadas para el consumo humano y altamente beneficiosas para la salud (Partesdel, 2017). Estos productos agrícolas se pueden consumir crudos (frescos) o cocidos, cuando han alcanzado un grado de madurez adecuado para su ingesta (Ecured, 2020).

Partes de una fruta

Las frutas se componen de dos elementos principales conocidos como pericarpio y semillas. El pericarpio es la parte que generalmente rodea la semilla y está constituido por tres componentes diferenciados: epicarpio, mesocarpio y endocarpio (Partesdel, 2017). El epicarpio, también llamado exocarpo, exocarpio o flavedo es la zona más externa de la fruta, la cual se conoce comúnmente como cáscara. El mesocarpio, mesocarpo o albedo es la parte intermedia de la fruta que se considera comestible, es apta para el consumo humano y se conoce comúnmente como pulpa, como en los casos del mango y el aguacate. El espesor, grosor, tamaño, dureza y consistencia de la pulpa varía dependiendo del tipo de fruta. Por su parte, el mesocarpio puede ser delgado como en la guama o canoso como en el mango y la guanábana. En la naranja y en la mandarina el mesocarpio es la parte blanca que rodea a los gajos. Finalmente, el endocarpio es la capa interior del pericarpio y se encarga de proteger y envolver la semilla. Esta capa, dependiendo del tipo de fruta, puede ser carnosa, membranosa, leñosa o córneo, pubescente o pilosa, o confundirse con el mesocarpio como en la sandía (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (Siagropes), 2018; Libro de respuestas, 2019a)

El endocarpio se puede convertir en una capa carnosa, manteniendo una consistencia jugosa hasta llegar a la madurez como ocurre en las bayas. La consistencia membranosa del endocarpio contiene los jugos de la fruta, como en la naranja o la mandarina, o puede contener las semillas como la manzana y la pera. Cuando esta capa esta endurecida, leñosa o tiene consistencia pétreo toma el nombre de corozo o hueso, como la ciruela, el durazno o el chontaduro. La consistencia pubescente o pilosa del

endocarpio se caracteriza por la presencia de pelos largos, suaves y dispersos, como ocurre con el mango (Siagropes, 2018; Partesdel, 2017).

La semilla es la parte más interna de la fruta, generalmente no es comestible y es utilizada para dar origen a una nueva planta. Se considera que las semillas son la unidad básica de reproducción, multiplicación y dispersión de la mayoría de las plantas, tanto terrestres como acuáticas (Doria, 2010). Adicionalmente, está constituida por tres fracciones principales: el embrión, el albumen o endospermo y el tegumento. El embrión también es llamado como plántula o planta en miniatura, porque da origen a la nueva planta. El albumen también es conocido como endospermo y es el material empleado por el embrión para alimentarse durante la etapa de germinación. Por su parte, el tegumento es la capa que recubre al embrión y al albumen, y tiene contacto con el endocarpio (Vásquez, 2009; Partesdel, 2017; Libro de respuestas, 2019b).

Nombre científico de algunas frutas

Las frutas a nivel mundial tienen diferentes nombres comunes que son asignados de acuerdo con el país o región donde se cultivan. Infortunadamente estos nombres cambian de un país a otro, incluso de una región a otra dentro de un mismo país. Para evitar confusiones y facilitar la comunicación entre científicos, son asignados los nombres científicos, de tal manera que se garantice que cada especie tenga un solo nombre científico, el cual se escribe de la misma forma en cualquier idioma. Esto facilita la búsqueda de información y da seguridad de que se está hablando de una misma fruta en cualquier lugar del planeta (López, 2018). En la tabla 1.4 se presentan los nombres comunes y los nombres científicos de varias frutas, mayormente consumidas en Latinoamérica.

Tabla 1.4. Nombre científico de algunas frutas

Fruta	Nombre científico	Fruta	Nombre científico
Aguacate	<i>Persea americana</i>	Lulo	<i>Solanum quitoense</i>
Arándano	<i>Vaccinium myrtillus</i>	Madroño	<i>Arbutus unedo</i>
Arazá	<i>Eugenia stipitata</i>	Mamoncillo	<i>Melicoccus bijugatus</i>
Árbol del pan	<i>Artocarpus altilis</i>	Mandarina	<i>Citrus reticulata</i>
Badea	<i>Passiflora quadrangularis</i>	Mango	<i>Mangifera indica</i>
Banano	<i>Musa paradisiaca</i>	Mangostino	<i>Garcinia mangostana</i>
Carambolo	<i>Averrhoa carambola</i>	Manzana	<i>Malus domestica</i>
Cereza	<i>Prunus cerasus</i>	Maracuyá	<i>Passiflora edulis</i>
Chirimoya	<i>Annona cherimola</i>	Melón	<i>Cucumis melo</i>
Chontaduro	<i>Bactris gasipaes</i>	Mora	<i>Rubus ulmifolius</i>
Coco	<i>Cocos nucifera</i>	Naranja	<i>Citrus sinensis</i>
Ciruela	<i>Prunus domestica</i>	Níspero	<i>Manilkara zapota</i>
Curuba	<i>Passiflora tarminiana</i>	Papaya	<i>Carica papaya</i>
Durazno / Melocotón	<i>Prunus persica</i>	Pera	<i>Pyrus communis</i>
Fresa	<i>Fragaria vesca</i>	Piña	<i>Ananas comosus</i>
Guanábana	<i>Annona muricata</i>	Pitahaya	<i>Hylocereus undatus</i>
Granada	<i>Punica granatum</i>	Sandía	<i>Citrullus lanatus</i>
Granadilla	<i>Passiflora ligularis</i>	Tamarindo	<i>Tamarindus indica</i>
Guama	<i>Inga edulis</i>	Tomate de árbol	<i>Solanum betaceum</i>
Guayaba	<i>Psidium guajava</i>	Uchuva	<i>Physalis peruviana</i>
Kiwi	<i>Actinidia deliciosa</i>	Uva	<i>Vitis vinifera</i>
Lima	<i>Citrus aurantiifolia</i>	Zapallo	<i>Cucurbita maxima</i>
Limón	<i>Citrus limon</i>	Zapote	<i>Pouteria sapota</i>

Fuente: elaboración propia.

Clasificación de las Frutas

En la literatura se encuentran varias formas de clasificar las frutas, las cuales incluyen su naturaleza, tipo de maduración, tipo de semilla, características comunes, beneficios y propiedades medicinales, tiempo transcurrido desde su recolección hasta su consumo, contenido energético y contenido de fibra, vitaminas y minerales. En la Figura 1.1 se presenta esta clasificación y se explica cada forma.

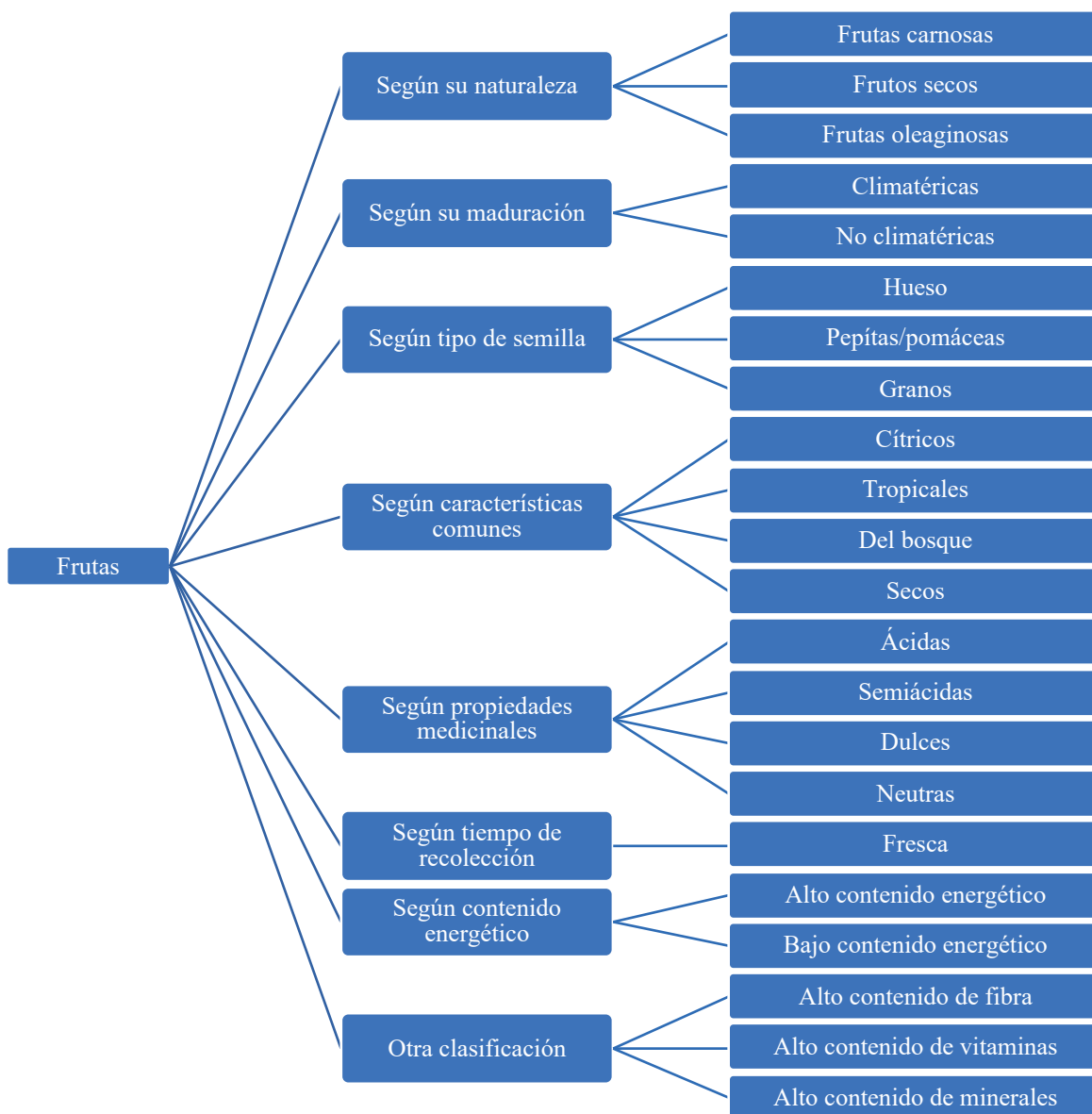


Figura 1.1. Clasificación de las frutas

Fuente: elaboración propia.

Tipos de frutas según su naturaleza

Se dividen en frutas carnosas, frutos secos y frutas oleaginosas. Las frutas carnosas son aquellas que tienen un contenido de agua mayor a 50 %, como la manzana, pera, banano, uvas, granadilla, maracuyá, etc. Los frutos secos se caracterizan por tener un contenido de agua menor al 50 %, como el maní, almendras, nueces, avellanas, castañas, entre otras. Las frutas oleaginosas tienen un alto contenido de aceites y grasas, como el coco, cítricos, frutos secos, entre otras (Araneda, 2022).

Tipos de frutas según su maduración

Se dividen en: climatéricas y no climatéricas. Las primeras se cosechan en un estado de premaduración y después de ser cosechadas experimentan maduración brusca, grandes cambios de color, textura y composición. También, sufren un incremento considerable en la tasa de respiración o en la síntesis de etileno durante la maduración. Algunas frutas climatéricas son: albaricoque, banano, chirimoya, durazno, kiwi, manzana, melón, pera, entre otras. Por su parte, las no climatéricas se caracterizan por ser cosechadas después de su maduración, no experimentan cambios bruscos en su aspecto y composición después de ser cosechadas y tienen mayor contenido de almidón. Estas frutas no experimentan variaciones importantes en la tasa de respiración o en la síntesis de etileno a través de la maduración. Entre las frutas no climatéricas están: cereza, fresa, limón, mandarina, naranja, piña y uva (Pozo, 2011; Gaitán, 2012; Araneda, 2015).

Tipos de fruta según su tipo de semilla

Esta clasificación divide a las frutas en: frutas de hueso, frutas de pepitas o pomáceas y frutas de granos. Las frutas de hueso se caracterizan por tener una semilla grande recubierta con un endocarpio duro, esclerificado, cubierto por una capa carnosa comestible, como el albaricoque (damasco), cereza, chontaduro, ciruela, durazno, mango, entre otras. Las frutas de pepitas tienen semillas pequeñas con cáscara menos dura, es decir, sin cubierta esclerificada, como la papaya, pera, manzana, membrillo, níspero, entre otras. Las frutas de granos presentan infinidad de semillas minúsculas, como la fresa, kiwi, lulo, pitahaya, entre otras (Pozo, 2011; Gaitán, 2012; Viviendo la salud, 2013).

Tipos de frutas según sus características comunes

Se clasifican en: cítricas, tropicales, del bosque y secas. Las frutas cítricas se dan en grandes arbustos o arbolillos perennes, de altura entre 5 y 15 m, y se caracterizan por tener un alto contenido de vitamina C y ácido cítrico, que le proporcionan un sabor

ácido intenso. Algunos ejemplos son: lima, limón, mandarina, naranja, pomelo y toronja. Las frutas tropicales se dan originalmente en las regiones tropicales del planeta y requieren de temperaturas elevadas y alta humedad en el ambiente para su desarrollo. Algunas frutas tropicales son: aguacate, banano, chirimoya, coco, granada, granadilla, guayaba, kiwi, lichi, mango, papaya, piña, entre otras. Los frutos del bosque se dan tradicionalmente en plantas o arbustos silvestres en bosques naturales, tal es el caso del arándano, cereza, frambuesa, fresa, grosella, mora y zarzamora. Los frutos secos se caracterizan por tener un contenido de agua inferior al 50 %, ser altamente energéticos, ricos en grasas, proteínas y oligoelementos. Ejemplos de este tipo de frutas son: almendras, avellanas, maní, castañas y nueces (Pozo, 2011; Gaitán, 2012; Viviendo la salud, 2013).

Tipos de frutas según sus beneficios y propiedades medicinales

De acuerdo con esta categoría, las frutas se dividen en: ácidas, semiácidas, dulces y neutras. Las frutas ácidas se caracterizan por su alto contenido de ácidos y complejos como la vitamina C, que son adecuados para bajar los triglicéridos, el colesterol y el ácido úrico; sin embargo, no todas las frutas tienen ácido cítrico, como la piña. Algunos ejemplos de frutas ácidas son: arándanos, borjón, guayaba, kiwi, limón, maracuyá, naranja (variedad), mora, piñuela, pomelo, tamarindo, toronja y uva. Las frutas semiácidas tienen un contenido de ácidos menos fuerte y son más simples que los ácidos de las frutas ácidas, y tienen un contenido de proteínas elevado con alto valor biológico. Entre estas frutas se encuentran: badea, ciruela, curuba, durazno, feijoa, frambuesa, fresa, granada, granadilla, guayaba (variedad), lima, mandarina, mango, maní, mamoncillo, manzana verde, marañón, membrillo, níspero, pomarrosa (de Brasil), tomate de árbol y uchuva. Las frutas dulces tienen un contenido alto de vitaminas (A, C, E, B12 y B15) y minerales. Tal es el caso del albaricoque, anón, banano, breva, cereza, chirimoya, ciruela, granada, grosella, guama, guanábana, guayaba, manzana roja, melón, mamoncillo, mangostino, níspero, papaya, papayuela, pera, pitaya, pomarrosa, sandía, uva dulce y zapote. Las frutas neutras se caracterizan por tener mayor contenido en nutrientes esenciales para el organismo como proteínas (prótidos), vitaminas, sales, minerales y oligoelementos, además de grasa, fósforo, potasio y azufre, que fortalecen el sistema muscular e inmunológico. En este grupo están: aguacate, almendra, árbol del pan, avellana, cacahuete, cacao, castaña, chachafruto, chontaduro, coco, corozuela, macadamia, maní y nuez (Cerna, 2016; Kiwi Atlántico, 2019; Pérez, 2018).

Tipos de frutas según el tiempo transcurrido desde su recolección hasta su consumo

Se clasifican en fruta fresca y frutas seca, desecada o pasa. Las frutas frescas se consumen al momento de su recolección o pocos días después de ser cosechadas, y no requieren ningún tipo de procesamiento previo a su consumo. Entre los ejemplos de este tipo de frutas están: uva, mango, piña, manzana, freza, mora, cereza, naranja, mandarina, limón, entre otras. En cambio, las frutas secas, o llamadas también frutas desecadas o frutas pasa, se caracterizan porque requieren de un proceso de secado artificial antes de su consumo, el cual puede ser inmediatamente, en meses o años, como ocurre con las uvas pasas, ciruelas pasas, frutas deshidratadas, nueces, maní, pistachos, castañas, avellanas, cacahuets y cacao (Pozo, 2011; Gaitán, 2012).

Tipos de frutas según su contenido energético

En esta clasificación se consideran las frutas con alto contenido energético y frutas con bajas calorías. Las frutas energéticas se caracterizan por tener un contenido calórico mayor a 50 kilocalorías. Tal es el caso de: chirimoya (264 kilocalorías), aguacate (223 kilocalorías), plátano (83 kilocalorías), uva (73 kilocalorías), entre otras. Mientras que las frutas menos energéticas son aquellas que tienen un contenido calórico menor a 50 kilocalorías, como: papaya (13 kilocalorías), limón (31 kilocalorías), sandía/patilla (35 kilocalorías), mora (38 kilocalorías), melocotón (39 kilocalorías), etc. (CONtextogadero, 2015).

Tipos de frutas según su contenido de fibra, vitaminas y minerales

Esta clasificación considera el contenido de fibra, vitaminas y minerales en 100 g de frutas, e incluye frutas ricas en fibra, frutas con alto contenido de vitaminas y frutas con alto contenido de minerales. Algunas frutas ricas en fibra son: arándano (5 g), frambuesa (4 g), membrillo, parecida a la pera (6 g), níspero (10 g) y uvas pasas (7 g). La categoría de frutas con alto contenido de vitaminas se subdivide en frutas ricas en carotenos, frutas ricas en vitamina C, en vitamina B3, vitamina E y en ácido fólico. Entre las frutas ricas en provitamina A (carotenos) están: albaricoque (298 µg), mango (3000 µg) y níspero (977 µg); algunas frutas ricas en vitamina C son: guayaba (280 mg), kiwi (100 mg), mango (30 mg), naranja (50 mg), papaya (70 mg) y pomelo (41 mg); dentro de las frutas con alto contenido en vitamina B3 están: banano (0.7 mg) y durazno o melocotón (1 mg); entre las frutas ricas en vitamina E están: aguacate (3 g), albaricoque (0.5 mg), ciruelas negras (0.8 mg), frambuesa (4.5 g) y mora (2.7 mg); y, por último dentro de la categoría

de frutas con alto contenido de vitaminas, se registran aquellas con mayores contenidos de ácido fólico, dentro de las cuales se pueden encontrar: melón (30 μg), piña (9 μg) y banano (23 μg). Por su parte, la categoría de frutas con altos contenidos de minerales se subdivide en: frutas ricas en calcio, hierro, magnesio, potasio y zinc. Las frutas con mayor contenido de calcio son: mora (54 mg) y níspero (30 mg); las más ricas en hierro son: ciruela claudia (1.1 mg), fresa (1 mg), membrillo (0.7 mg) y mora (1.6 mg); las más ricas en magnesio son: banano (36 mg) y piña (45 mg); las que tienen altos contenidos de potasio son: albaricoque (280 mg), banano (382 mg) y melón amarillo (330 mg); y, por último, las frutas más ricas en zinc son: mora (0.27 mg) y piña (0.26 mg) (CONtextoganadero, 2015).

Residuos de frutas

El tipo de residuos generados por las frutas depende del tipo de fruta que se analiza. En términos generales, los residuos de frutas se clasifican como: cáscaras, semillas, corazón, corona, pedúnculo, capacho, vaina y raspón o escobajo. El corazón es la parte central de frutas como la guanábana y la piña; la corona se refiere a la parte superior de la piña, que está constituida por hojas; el pedúnculo es la parte leñosa que permite que la fruta se una a la rama del árbol o arbusto, como en el tomate de árbol; el capacho es el tejido vegetal fibroso, que recubre al coco o a la uchuva (el capacho en el coco también se conoce como estopa, mientras que en la uchuva se le denota como cáliz); la vaina es la cubierta externa que tienen algunas frutas y se caracteriza por ser dura y contener el fruto o semillas en su interior, como es el caso de la guama; y, finalmente, el raspón o escobajo es la estructura herbácea del racimo donde van unidas las uvas. En la tabla 1.5 se presentan algunos ejemplos de los residuos que se generan en el consumo y transformación de las frutas, y se incluye el proceso de producción agroindustrial donde se genera dicho residuo.

Producción, área sembrada, rendimiento y consumo nacional de frutas

La producción de frutas en Colombia depende principalmente de las condiciones de cultivo para cada fruta y de su estacionalidad. Estos dos factores afectan la producción agroindustrial de alimentos procesados a partir de frutas. En la tabla 1.6 se presenta la producción nacional de las principales frutas. Las cinco frutas de mayor producción en Colombia son: plátano, cítricos, piña, mango y aguacate. En la tabla se observa que la producción de estas frutas aumentó en un 18.05 % del 2016 al 2018, y en un 9.20 %

entre 2018 y 2019. Lo anterior indica que la producción en Colombia entre los años 2016 y 2019 experimentó un crecimiento anual promedio del 9 %, aproximadamente.

Tabla 1.5. Tipos de residuos generados en el procesamiento y transformación de frutas

Tipo de residuos de la fruta	Fruta que produce el residuo	Proceso de producción que genera el residuo
Cáscara	Todas las frutas producen cáscaras. La cáscara de la uva se conoce con el nombre de hollejos	Compotas, jugos / néctares, pulpas, frutas deshidratadas, salsas, frutas en almíbar
Semillas	Aguacate, mango, tomate de árbol, lulo, guayaba, naranjas, mandarinas, papaya, durazno, ciruela, madroño, entre otras	Mermeladas, bocadillos frutas en almíbar
Corazón	Guanábana y piña	Jugos, compotas, pulpas y frutas en almíbar
Corona	Piña	Fruta en almíbar o deshidratada
Pedúnculo	Toma de árbol, manzana, durazno, pera, granadilla y maracuyá	Pulpas, compotas, bocadillo, bebidas alcohólicas, etc.
Capacho	Coco y uchuva	Confitería, pastelería, fruta deshidratada, mermelada, etc.
Vaina	Algarrobo, sacha inchi y maní	Granolas, confitados, harinas y mantequilla de maní
Raspón o escobajo	Uvas	Néctar, jugo, vino, etc.

Fuente: elaboración propia.

Los departamentos de Colombia que reportan la mayor producción de frutas y hortalizas son: Antioquia (11 %), Santander (10 %), Meta (8 %), Arauca (7 %), Valle del Cauca (7%) y Cundinamarca (6%). El departamento de Caldas ocupa el puesto noveno con una producción de 542 843 ton en el año 2019. Los seis primeros departamentos tienen a cargo el 49 % del total producido a nivel nacional (Asohofrucol, 2020).

Tabla 1.6. Producción nacional de frutas en toneladas (ton)

Fruta	2016	2018	2019
Plátano	3 823 650	4 430 153	4 638 319
Mango	350 915	338 687	354 501
Tomate de árbol	212 200	439 581	460 689
Piña	818 569	1 058 109	1 107 515
Cítricos	1 206 856	1 333 612	1 395 883
Aguacate	336 327	544 933	954 789
Papaya	175 576	184 852	193 484
Guayaba	157 250	-----	-----
Granadilla, gulupa y maracuyá	159 931	218 448	228 648
Total	7 241 274	8 548 375	9 333 828

Fuente: modificado de Palacio-Peláez (2017) y Asohofrucol (2020).

Respecto al área sembrada, entre los años 2018 y 2019 se produjo un crecimiento del 2 % del área sembrada en el sector hortofrutícola, de tal manera que esta área pasó de 1.03 a 1.06 millones de hectáreas aproximadamente (Asohofrucol, 2020; Palacio-Peláez, 2017). En la tabla 1.7 se presenta el área sembrada de las principales frutas en Colombia para los años, 2016, 2018 y 2019. Al analizar la información de esta tabla se encontró que el área sembrada para las frutas en el 2016 fue mayor que en 2018 y 2019. Esto se debe a que parte del área sembrada de estas frutas fue empleada para otras frutas y hortalizas; sin embargo, las áreas sembradas de estas frutas se han recuperado como se registró en el 2019. La tabla también muestra que las mayores áreas sembradas en Colombia fueron empleadas para cultivos de plátano, cítricos, aguacate y mango. Los departamentos con mayor área sembrada fueron: Antioquia (11 %), Santander (7 %), Tolima (7 %), Meta (6 %), Nariño (6 %), Valle del Cauca (6 %), Cundinamarca (6 %) y Córdoba (5 %). Cabe destacar, que estos departamentos concentraron el 53 % del área total sembrada hortofrutícola. El departamento de Caldas ocupó el décimo lugar con 46 234 hectáreas sembradas con frutas y hortalizas en el 2019. Entre las líneas productivas con mayor participación en el área sembrada hortofrutícola y que concentraron el 67% del total del área del país, estuvieron productos como: plátano (44 %), cítricos (9 %), aguacate (6 %), ñame (4 %) y mango (3 %) (Asohofrucol, 2019).

El rendimiento de producción de frutas por hectárea en Colombia aparece en la tabla 1.8, y tiene en cuenta cifras de los principales cultivos de frutas, correspondien-

tes a los años 2016, 2018 y 2019 (Palacio-Peláez, 2017; Asohofrucol, 2020). La tabla registra que el cultivo de piña presenta el mayor rendimiento de producción por hectárea, seguido por los cítricos, pasiflora (maracuyá, gulupa y granadilla) y mango. También se aprecia que el rendimiento promedio de la producción de estas frutas ha aumentado año a año, debido a que los cultivos están transitando a cultivos intensivos. El rendimiento promedio de producción de estas frutas aumentó en un 5.41 % entre los años 2016 y 2018, mientras que entre 2018 a 2019 el incremento fue de 3.76 %. Lo anterior, permite establecer que el crecimiento promedio anual entre 2016 y 2019 fue de aproximadamente de 3.06 %.

Tabla 1.7. Áreas sembradas de algunas frutas (hectáreas)

Fruta	2016	2018	2019
Plátano	478 908	440 078	470 358
Cítricos	97 275	88 565	99 080
Aguacate	57 990	55 777	61 355
Mango	37 074	29 276	31 824
Piña	25 968	28 093	30 701
Coco	20 017	20 496	20 497
Guayaba	20 792	14 351	16 216
Mora	15 836	14 584	15 216
Granadilla, gulupa y maracuyá	15 158	17 049	17 496
Total	769 018	708 269	762 743

Fuente: Modificado de Palacio-Peláez (2017) y Asohofrucol (2020).

En Colombia, las principales frutas consumidas en orden de mayor a menor consumo son: banano, limón, mango, guayaba, tomate de árbol, mora, piña, maracuyá, coco, aguacate, papaya, manzana, lulo y mandarina (Palacio-Peláez, 2017). La agroindustria del país demanda de estas frutas para la fabricación de pulpas, congelados, preparados de frutas, frutas deshidratadas, cereales con frutas, helados y paletas, mermeladas, jaleas, compotas, confites blandos, *snacks*, bocadillos, frutas en almíbar, yogur, kumis, jugos de fruta, mosto, vino de uvas, jugos, néctares y gaseosas (Palacio-Peláez, 2017). Los principales productos en Colombia derivados de estas frutas son los jugos envasados (24.10 %), patacones (12.50 %), salsa de tomate (12.40 %), pulpas (7.10 %), helados y paletas (3.80 %), compotas (3.10 %), bocadillos (3.10 %) y mermeladas (2.50 %) (Palacio-Peláez, 2017).

Tabla 1.8. Rendimiento promedio de producción de frutas por hectárea sembrada (ton/ha)

Fruta	2016	2018	2019
Plátano	8.0	7.81	8.17
Cítricos	12.40	13.01	13.39
Aguacate	5.80	7.89	8.40
Mango	9.50	10.71	11.25
Piña	31.50	30.31	31.05
Coco	6.80	6.93	7.20
Guayaba	7.60	9.09	9.69
Mora	7.70	7.86	7.99
Granadilla, gulupa y maracuyá	10.60	-----	-----
Total	11.10	11.70	12.14

Fuente: Modificado de Palacio-Peláez (2017) y Asohofrucol (2020).

Tabla 1.9. Consumo de frutas en las principales agroindustrias del departamento de Caldas – Colombia

Fruta	Agroindustria	Consumo (ton)	Participación (%)
Naranja	Frutasa	500	5.64
Mango	Passicol S.A.	3000	33.84
	Frugy	203	2.29
Tomate de árbol	Passicol S.A.	7	0.08
	Frugy	105	1.19
Piña	Passicol S.A.	85	0.96
	Frugy	103	1.16
Maracuyá	Passicol S.A.	4300	48.51
	Frugy	85	0.96
Guanábana	Passicol S.A.	120	1.35
	Frugy	60	0.68
Lulo	Passicol S.A.	200	2.26
	Frugy	48	0.54
Mandarina	Frutasa	48	0.54
	Total	8864	100

Fuente: modificado de Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2006) y Flórez (2017).

Los departamentos que registran mayor consumo de frutas son: San Andrés, Sucre, Bolívar, Quindío y Risaralda (Asohofrucol, 2020). En la tabla 1.9 se presenta el consumo de frutas registrado por tres agroindustrias principales del departamento de Caldas, que corresponde a un consumo de 8864 ton. Así, las frutas más consumidas por las tres agroindustrias caldenses (Frutasa, Passicol S.A. y Frugy) son: naranja, mango, tomate de árbol, piña, maracuyá, guanábana, lulo y mandarina, siendo las frutas de mayor demanda maracuyá, mango y naranja.

Producción de residuos de frutas en Colombia

En la tabla 1.10 se presenta un estimado de la cantidad de residuos agroindustriales generados en Colombia, considerando que toda la fruta producida en el 2015 se destinó a la agroindustria. Los datos se registran teniendo en cuenta los porcentajes del fruto que corresponden a las semillas, cáscaras y demás residuos (vástago y borra). La tabla señala que en el país se generó un gran volumen de residuos de frutas, con una cifra aproximada a 681 504 toneladas anuales (Dane, 2015). Esta cifra representó el 20.76 % de la producción anual de frutas en el país, por lo que es importante utilizar estos residuos con el fin de darles valor agregado y evitar un impacto ambiental negativo debido a su disposición.

El departamento de Caldas cuenta con 27 municipios, que en el 2014 generaron al día en promedio 526.19 toneladas de residuos sólidos. Los residuos sólidos de estos municipios son depositados adecuadamente en rellenos sanitarios. Entre los municipios se incluye a la ciudad capital, Manizales, que generó el 60.48 % (318.26 ton/día) del total de los residuos producidos en el departamento, los cuales se dispusieron en el relleno sanitario La Esmeralda (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2015).

En Manizales se ha aumentado la generación de residuos sólidos, en correspondencia con el crecimiento de la población y las actividades económicas, por lo cual se pasó de producir 83 696 toneladas en 2003, a 101 906 toneladas en 2014. Para el 2014, la empresa prestadora del servicio de aseo contó con un total de 121 286 usuarios en el área urbana, de los cuales 160 pertenecieron al sector industrial. El sector industrial generó aproximadamente un 10 % de los residuos orgánicos producidos en todo el municipio (Alcaldía de Manizales, 2015). Por lo tanto, teniendo en cuenta que el 49 % del total de residuos sólidos generados en Manizales son residuos orgánicos, el sector industrial de esta ciudad puede generar aproximadamente 4 993.43 ton de residuos orgánicos al año (Mariscal, 2014).

Tabla 1.10. Producción nacional de residuos de frutas para el 2015

Fruta	Residuos generados (ton)	Residuo promedio en la fruta (%)
Naranja	Semilla 16 038	3.00
Café	Borra 90 218	10.00
Plátano	Cáscara 445 576	34.00
Mango	Cáscara 36 969	15.00
Tomate de árbol	Cáscara 3776	8.80
	Semilla 1716	4.00
	Vástago 369	0.86
Piña	Cáscara 53 913	43.00
Maracuyá	Cáscara 18 906	4.00
Guanábana	Cáscara 5753	10.70
Lulo	Cáscara 4812	10.00
Mandarina	Semilla 3458	3.10

Fuente: modificado de Dane (2015) y Flórez (2017).

En el departamento de Caldas se encontraron doce principales agroindustrias procesadoras de frutas, que son presentadas en la tabla 1.11 con sus respectivos residuos. En la tabla se destaca que los residuos generados en las agroindustrias de frutas en el departamento de Caldas están compuestos principalmente por cáscaras y semillas, acompañados de estopa de coco, tallos y hojas de plátano. Dentro de estas empresas se destacan seis: FLP Procesados, Frugy S.A., Passiflora Colombiana S.A., Frutasa, Buencafé liofilizado de Colombia y Comestibles Mapy S.A.S. Estas seis empresas sobresalen por generar residuos como cáscara de maracuyá, cáscara de plátano, cáscara de piña, cáscara de tomate de árbol, semilla de tomate de árbol, vástago de tomate de árbol, cáscara de mango, borra de café, cáscara de lulo, semilla de mandarina, semilla de naranja y cáscara de guanábana.

Adicionalmente, la tabla 1.12 presenta la cantidad de residuos que se generan en tres de esas agroindustrias. En la tabla se observa que en las empresas Frutasa, Passicol S.A. y Frugy se generan 2 415 toneladas anuales de residuos, lo que equivale al 27.24 % del fruto fresco consumido por la agroindustria. Es de destacar que la agroindustria Caldense aprovecha sus residuos principalmente en la fabricación de abono orgánico, a través de la técnica de compostaje.

Cáscaras de frutas

La cáscara de las frutas también es llamada piel, corteza, concha o cubierta externa de la fruta (Sánchez, 2016). En botánica, las cáscaras de frutas se conocen con el nombre de epicarpio, exocarpo, exocarpio o flavedo. La cáscara es la parte más externa que rodea a toda la fruta, la cual se puede desprender y actúa como una capa protectora del medio ambiente, insectos y microorganismos (Partesdel, 2017). Las cáscaras de los cítricos corresponden a la unión de las capas llamadas exocarpo o flavedo y albedo o hesperidio (parte blanca pegada al exocarpo) (Sánchez, 2016).

Tabla 1.11. Algunas agroindustrias de frutas del departamento de Caldas, con sus principales residuos

Empresa	Principales residuos
CI Súper de Alimentos S.A.	Capacho y cáscara de coco
Frugy S.A.	Cáscaras y semillas de guayaba, mora, borjój, breva, curuba, feijoa, fresa, guanábana, lulo, mango, maracuyá, papaya, piña, tamarindo y tomate de árbol
Frugen SAS.	Cáscaras de frutas y de cacao
Delicoco	Estopa y cáscara de coco
Jartru y Compañía S.A.	Cáscara de Plátano, tallos y hojas
Meals de Colombia SAS	Cáscaras de naranja, semillas de uva y manzana, piel de uva y manzana
FLP procesados	Semillas de guayaba; semillas y cáscaras de guanábana, lulo, mango, naranja, maracuyá y tomate de árbol (también pedúnculo); y cáscara y corona de piña
Comestibles Mapy SAS.	Cáscaras de plátano
Colombiana de deshidratados SAS	Cáscara de banano, capacho de uchuva, cáscara y corona de piña, y cáscaras y semillas de mango y papaya

Be fruit	Cáscaras de banano, capacho de uchuva, cáscara y corona de piña, cáscaras y semillas de mango y tomate de árbol, y pedúnculo de tomate de árbol
Frutasa	Cáscara, bagazo y semillas de naranja, limón y mandarina
Passiflora Colombiana S.A.	Cáscara y semillas de banano, curuba, feijoa, fresa, granadilla, guanábana, guayaba, limón, lulo, mango, maracuyá, melón, mora, naranja, papaya, piña, tomate de árbol y uchuva

Fuente: modificado de Flórez (2017).

Tipos de cáscaras de frutas

Las cáscaras de las frutas o exocarpio pueden tener aspectos (liso, brillante, opaco, ceroso, piloso o espinoso), espesores (grueso o delgado), dureza (dura o blanda) y características de consumo muy diferentes (Partesdel, 2017). Como se muestra en la figura 2, las diferencias permiten clasificar las cáscaras de frutas en cuatro tipos: según su aspecto, según su grosor o espesor, según su dureza y según si se pueden consumir o no.

Tabla 1.12. Residuos generados en las principales agroindustrias de Caldas

Fruta	Agroindustria	Residuos generados (ton)	
Naranja	Frutasa	Semilla	27.90
Mango	Passicol S.A.	Cáscara	480.45
	Frugy		
Tomate de árbol	Passicol S.A.	Cáscara	9.86
	Frugy	Semilla	4.48
		Vástago	0.96
Piña	Passicol S.A.	Cáscara	80.84
	Frugy		
Maracuyá	Passicol S.A.	Cáscara	1754.00
	Frugy		
Guanábana	Passicol S.A.	Cáscara	18.00
	Frugy		
Lulo	Passicol S.A.	Cáscara	24.80
	Frugy		
Mandarina	Frutasa	Cáscara	13.44
Total			2415

Fuente: modificado de Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2006) y Flórez (2017).

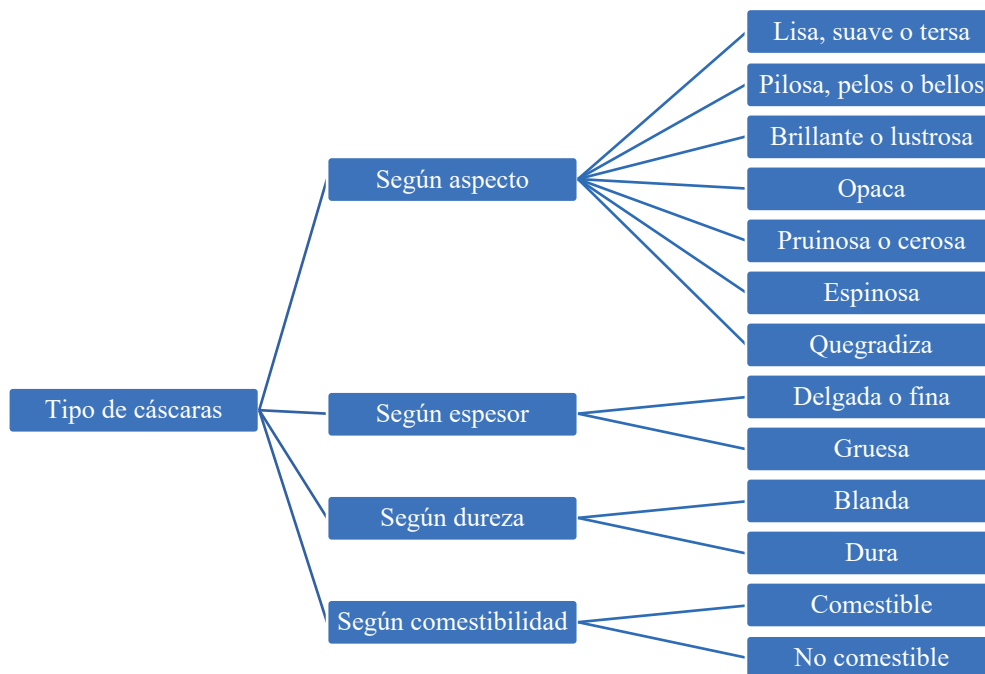


Figura 1.2. Clasificación de las cáscaras de frutas

Fuente: elaboración propia.

Tipos de cáscaras de frutas según su aspecto

Los aspectos de las cáscaras de frutas pueden ser: liso, suave o terso (cáscaras de cereza, ciruela, uva, mango, granadilla, pera, papaya, mandarina y banano) (González, 2002; Araneda, 2015; Haro, 2017); piloso, con pelos o bellos (cáscaras de lulo, durazno y kiwi) (González, 2002); brillante o lustroso (cáscaras de manzana, mandarina, naranja, banano, uchuva, cereza y ciruela) (Ariza *et al.*, 2010); opaco (cáscara de durazno); pruinoso o ceroso (cáscaras de ciruela, maracuyá, manzana, uchuva y cereza) (González, 2002); espinoso (cáscaras de guanábana, chirimoya y piña) (Zanin, 2023; Partesdel, 2019); y quebradizo (cáscaras de maracuyá, granadilla y mangostino).

Tipos de cáscaras de frutas según su espesor

Las cáscaras de frutas pueden tener espesores diferentes, como cáscaras delgadas y cáscaras gruesas. Algunas frutas que tienen la cáscara delgada son: manzana, durazno, kiwi, lulo, pera, guayaba, papaya, cereza y ciruela; mientras que algunos ejemplos de frutas con cáscaras gruesas son: naranja, guama, sandía, piña, coco, maracuyá, granadilla, guanábana y mandarina (Zanin, 2023; Partesdel, 2019; Ariza *et al.*, 2010).

Tipos de cáscaras de frutas según su dureza

Las cáscaras de frutas pueden ser duras como las del coco, piña, naranja y maracuyá (Araneda, 2015; Partesdel, 2019); o pueden ser blandas como en la guanábana, kiwi, banano, papaya, durazno, lulo, guayaba, cereza y ciruela (Zanin, 2023).

Tipos de cáscaras de frutas según su comestibilidad

Las cáscaras de frutas pueden ser comestibles o no comestibles. Algunos ejemplos de cáscaras comestibles son las de la manzana, pera, mango, uva, fresa, guayaba, mora, cereza y ciruela (González, 2002; Haro, 2017). Entre las cáscaras no comestibles o incomedibles están las cáscaras del aguacate, coco, guama, maracuyá, granadilla, kiwi, lulo, guanábana y banano (Zanin, 2023; Partesdel, 2019).

Clasificación de las cáscaras de frutas como residuo

En la tabla 1.13 se presenta la categorización del tipo de residuo al que pertenecen las cáscaras de frutas, de acuerdo con la clasificación dada por Rojas (2018). En la tabla se observa que las cáscaras de frutas son un residuo sólido, no peligroso, orgánico, vegetal, biodegradable, reciclable, aprovechable, fermentable, putrescible, de origen urbano y agroindustrial, y que se genera en el sector primario y secundario con una tasa de generación media. Además, la tabla explica por qué las cáscaras de frutas se categorizan en los tipos de residuos anteriormente mencionados.

Tabla 1.13. Tipo de residuo al que corresponden las cáscaras de frutas

Clasificación según:	Cáscara de fruta como residuo	Observación
Estado de agregación	Sólido	Las cáscaras de frutas en la naturaleza se encuentran en estado sólido.
Origen	Urbano y agroindustrial	Es un residuo que se produce en hogares, instituciones y en la industria procesadora de frutas.
Tipo de manejo	No peligroso	Este residuo en el momento que se produce no representa peligro para la persona que lo maneja o para el animal que lo consume.
Composición química	Orgánica	Las cáscaras de frutas están constituidas fundamentalmente por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, y son consideradas como biomasa residual.
Sector de producción	Primario y secundario	Residuo que se genera en los cultivos de frutas (sector primario) y en la producción agroindustrial de jugos, conservas, néctares, pulpas y mermeladas (sector secundario).
Naturaleza	Vegetal	Las frutas provienen del reino vegetal, por lo tanto, las cáscaras son residuos vegetales.
Tipo de descomposición	Biodegradable	La mayoría de las cáscaras se degradan en un tiempo inferior a seis meses por la acción de microorganismos.
Marco Legal	Sólido urbano y no peligroso	Este es un residuo que según la normativa colombiana es del tipo sólido urbano y no peligroso.

Posibilidad de tratamiento	Reciclable	Las cáscaras de frutas se pueden procesar para obtener abonos orgánicos o alimento para animales, y para extraer sustancias valiosas como vitaminas y compuestos bioactivos, etc.
Posibilidad de aprovechamiento	Aprovechable	Este residuo se aprovecha como materia prima para producir biofertilizantes, biofermentos, alimentos para animales y recuperación de sustancias valiosas.
Posibilidad de fermentación	Fermentable	Las cáscaras de frutas en su mayoría tienen gran cantidad de azúcares reductores, que pueden ser fermentados por medio de microorganismos aptos para ello, con el objetivo de producir alcohol.
Putrescible o no	Putrescible	La descomposición de las cáscaras de frutas por los microorganismos genera malos olores.
Taza de generación	Media	Es un residuo que tiene un índice de generación de residuos para la mayoría de las frutas, entre el 10 y el 45 %

Fuente: elaboración propia.

Proporción de las cáscaras en las frutas

La proporción de cáscara en las frutas indica el porcentaje que representan las cáscaras respecto al peso total de las frutas en el momento de ser consumidas o procesadas. El porcentaje permite establecer la cantidad de residuos generados al procesar la fruta. Este parámetro es empleado para definir el tipo y tamaño de embalaje requerido en la recolección, almacenamiento, disposición y diseño de los equipos para el aprovechamiento y valorización de las cáscaras. El porcentaje de cáscara en la fruta (PCF) se calcula así:

$$PCF = \frac{\text{masa de la cáscara}}{\text{masa de la fruta entera}} \times 100 \% \quad (1.1)$$

Encontrar este valor no es muy común en la literatura; sin embargo, en la tabla 1.14 se presentan los porcentajes de cáscaras para trece frutas. De esta tabla se puede apreciar que el mayor PCF es para el mangostino, con un valor máximo cercano al 77 %, mientras que la guayaba tiene un valor aproximado de PCF de 6 %.

Tabla 1.14. Porcentaje de cáscara en algunas frutas

Cáscara de	PCF (%)	Referencias
Árbol del pan	21.00	(Cleves, 2017)
Banano	35.00	(Ganchozo y Luna, 2018)
Chontaduro	11.00	(Márquez, 2014)
Guanábana	15.71	(Jiménez <i>et al.</i> , 2016)
Guayaba	5.87	(Athmaselvi <i>et al.</i> , 2014)
Limón	32.44	(Sandoval y Romero, 2017)
Mandarina	18.35	(Sandoval y Romero, 2017)
Mango	15.00 – 20.00	(Sánchez <i>et al.</i> , 2019)
Mangostino	72.12 – 76.86	(Campos <i>et al.</i> , 2009)
Naranja	45.00	(Bechlina <i>et al.</i> , 2020)
Papaya	20.00	(Zhang <i>et al.</i> , 2017)
Piña	30.00 – 42.00	(Rodsamran y Sothornvit, 2019)
Zapote	31.64	(Athmaselvi <i>et al.</i> , 2014)

Fuente: elaboración propia.

Aprovechamiento de las cáscaras de frutas

Los residuos de frutas, principalmente las cáscaras, se han aprovechado con el propósito de obtener biocombustibles (Parawira, 2008), saborizantes y aditivos para la industria alimenticia (Rivas *et al.*, 2009; Di Gioia *et al.*, 2007), productos secundarios con actividad antioxidante (Rafiq *et al.*, 2016), pesticidas (Cayuela *et al.*, 2008), carbón activado (Velásquez *et al.*, 2007), aceites esenciales (Yepes *et al.*, 2008), productos químicos finos (Ochoa-Velasco *et al.*, 2012), compuestos polifenólicos (Anagnostopoulou *et al.*, 2006; Ghasemi *et al.*, 2009; Li *et al.*, 2006; Lagha-Benamrouche y Madani., 2013; Ma *et al.*, 2008), para la prevención de enfermedades (Oliveira *et al.*, 2009), entre otros aprovechamientos.

Como ejemplos específicos de aprovechamiento de algunas cáscaras de frutas se tiene que: las cáscaras de piña se han aprovechado como sustrato en la síntesis de ácido láctico (Araya *et al.*, 2010), mientras que las cáscaras de varias frutas, como sandía, tomate y mango, han sido utilizadas para la extracción de pectina (Prakash *et al.*, 2014).

Los residuos del procesamiento de la guayaba se han utilizado en la producción de etanol, de compuestos antimicrobianos y ácido láctico (Serna *et al.*, 2013). Las cáscaras de plátano y banano se aprovechan para formulaciones de alimento para animales (Dormond *et al.*, 2011), obtención de harina, extracción de almidón (Peñaranda *et al.*, 2008), fabricación de bioplásticos como el Polihidroxibutirato (PHB) (Saval, 2012; Harro-Velasteguí *et al.*, 2017), elaboración de envases desechables (Pérez, 2019), síntesis de bioetanol (Zola *et al.*, 2016), obtención de carbón activado (Tejeda *et al.*, 2014), entre otras aplicaciones.

La cáscara, además de tener contacto con el medio ambiente, también interactúa con la luz, creando una serie de pigmentos que absorben diferentes longitudes de onda, que promueven la formación de sustancias benéficas para la salud. Tal es el caso de la cáscara de naranja, que alivia el malestar causado por la flatulencia, la diarrea y males digestivos en general; el consumo de cáscaras de arándanos, ciruelas, manzanas y peras, favorece la reducción de grasa corporal y permite ganar masa muscular; la cáscara de manzana también ayuda a disminuir la masa corporal grasa y permite el aumento de la masa corporal magra, debido a la presencia de ácido ursólico; y las cáscaras de tomate verde, manzana verde y pera, consumidas en forma de infusión, promueven la reducción de azúcar en la sangre debido a la presencia de la acilisacarosa que actúa como hipoglucemiante (Sánchez, 2016).

En general, las cáscaras de frutas se caracterizan por su alto contenido de sustancias con capacidad antioxidante, como los fenoles, flavonoides, pigmentos (como β -carotenos) y vitaminas, que contribuyen a retardar los daños producidos a nivel del sistema nervioso central, causados por el envejecimiento de las células (Ochoa-Velasco *et al.*, 2012). Como ejemplo de esto, las cáscaras de papaya tienen valores significativos de β -carotenos (42.13 ± 0.671 mg/ 100g de cáscara) y flavonoides (385.27 ± 19.62 mg/ 100g de cáscara), que pueden favorecer al sistema nervioso central (Vargas *et al.*, 2019). Los extractos etanólicos de la cáscara de mango variedad Irwin ayudan a la prevención del cáncer de cuello uterino (Kim *et al.*, 2012). También, las cáscaras de mango de las variedades Keitt y Tommy Atkins tienen un potencial de aprovechamiento en la formulación de prebióticas, dado a su alto contenido de antioxidantes y fibra dietética, especialmente celulosa (Serna y Torres, 2015). Lo anterior indica que las cáscaras de frutas son fuentes importantes de sustancias, como los compuestos polifenólicos, que pueden prevenir enfermedades, debido a su variado y alto contenido de sustancias con propiedades antioxidantes, anticancerígenas, cardioprotectoras, antidiabéticas y neuroprotectoras (Bhullar y Rupasinghe, 2013); con efectos de anti-peroxidación

lipídicas y efectos vasodilatadores (Ghasemi *et al.*, 2009); y pueden ser antialérgicas, antiaterogénicas, antiinflamatorias, antimicrobianas o antitrombótica, con capacidad para neutralizar las especies reactivas de oxígeno y especies reactivas de nitrógeno (Castro-Vázquez *et al.*, 2016; Ordoñez-Gómez *et al.*, 2018).

Semillas de frutas

La semilla es el órgano reproductivo o unidad básica de reproducción y multiplicación de muchas plantas superiores terrestres y acuáticas. Su principal función es garantizar la dispersión, persistencia y renovación de cada planta que la posee (Doria, 2010). Las semillas se encuentran en el interior o corazón de las frutas y están rodeadas por la pulpa. Están compuestas por una parte dura llamada tegumento, una sustancia de reserva o endospermo o albumen y un embrión (Partesdel, 2017). Al conjunto de la sustancia de reserva y el embrión se le llama nuez. El tegumento tiene la función de proteger al embrión y está conformado por dos capas: una externa que es dura y resistente llamada testa, y una capa interna, muy delgada, llamada cubierta seminal interna o tegment. El albumen es una sustancia presente en la semilla, cuya función es alimentar al embrión en el periodo de germinación de la semilla. Finalmente, el embrión se encuentra en la parte más interna de la semilla y es el que da origen a una nueva planta (Fuentes, 2017; Vásquez, 2009).

Generalmente, las semillas son consumidas por gran parte de los animales (especialmente aves), por ser un alimento básico para ellos. Por su parte, el ser humano no suele hacerlo, pero sí las utiliza para crear nuevas plantas con el fin de conservar la especie o para desarrollar cultivos intensivos que contribuyan a obtener un beneficio nutricional de las frutas. Las pocas semillas consumidas por el ser humano y por los animales proporcionan minerales, fibras y algunas vitaminas.

Las semillas en general son de suma importancia para la vida en la Tierra, dado que son la parte de la fruta que puede dar origen a una nueva planta, la forma natural de almacenamiento de alimento, la fuente de alimentación básica de muchas especies animales y la unidad básica de la reproducción de plantas espermatofitas (plantas con semilla). También, las semillas se consideran como el mecanismo de perennización de las plantas, que corresponde a la forma empleada por las plantas para moverse y colonizar nuevos terrenos y microambientes. Además, son la materia prima fundamental de gran parte de la agricultura y la fuente más importante de la genética de las plantas que se puede emplear para modificar la producción agrícola (Doria, 2010; Camacho, 2019).

Tipos de semillas de frutas

Las semillas se pueden clasificar según su origen, número de cotiledones, conservación, localización del albumen, manipulación genética, comestibilidad, número de semillas presentes en la fruta y tamaño. En la figura 1.3 se presentan algunas clasificaciones de las semillas de frutas.

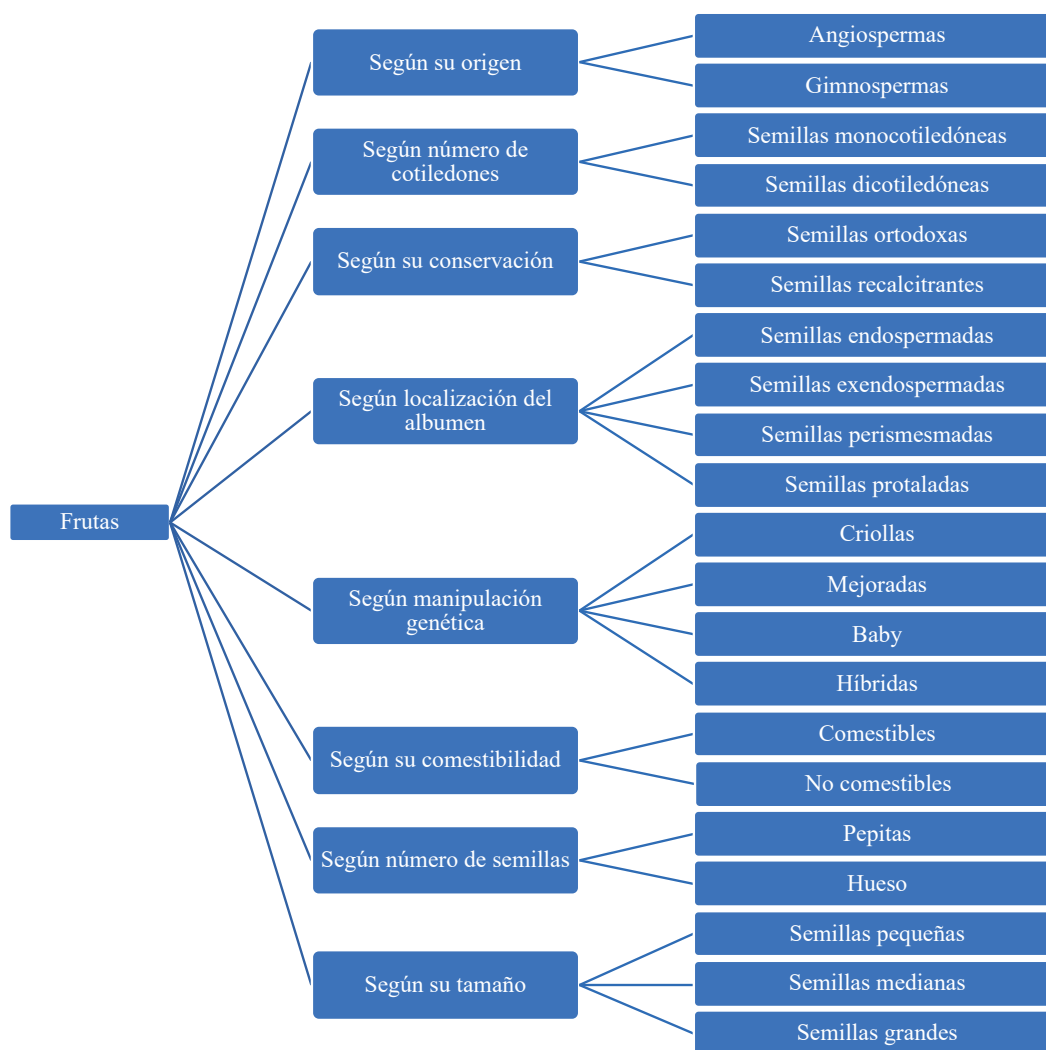


Figura 1.3. Clasificación de las semillas de frutas

Fuente: elaboración propia.

Tipos de semillas de frutas según su origen

Las semillas, de acuerdo con su origen, se clasifican en angiospermas y gimnospermas. Las semillas angiospermas se encuentran en las plantas con flores (plantas angiosper-

mas) y se caracterizan porque están en el interior de la fruta y son recubiertas por una estructura carnosa llamada pulpa. Algunos ejemplos de semillas angiospermas son las encontradas en frutas como durazno, pera, manzana, aguacate, mango, entre otras (Eriksson, 2014). Por su parte, las semillas gimnospermas, llamadas también semillas desnudas, se encuentran en el exterior de la fruta y no se desarrollan dentro de un ovario o carnosidad. Tal es el caso de las semillas de la fresa (Chaw *et al.*, 2018).

Tipos de semillas de frutas según su número de cotiledones u hojas embrionarias

Las semillas, según el número de cotiledones, se dividen entre semillas monocotiledóneas y semillas dicotiledóneas (Camacho, 2019). Las primeras se caracterizan por tener solo una hoja embrionaria o cotiledón, como las semillas de mango y aguacate. Mientras que las semillas dicotiledóneas presentan dos hojas embrionarias o cotiledones, que en general son simétricas, como en las semillas de tomate y café.

Tipos de semillas de frutas según su conservación

En este caso las semillas se clasifican en ortodoxas y recalcitrantes. Las semillas ortodoxas son consideradas como semillas de larga vida, porque soportan periodos largos de desecación y congelación al ser almacenadas o conservadas fuera de la fruta, como las semillas de guayaba y las semillas de mora (Khandelwal, 2020). En su lugar, las semillas recalcitrantes no soportan condiciones de desecación (contenidos de humedad por debajo del 20 %) y congelación (son sensibles a temperaturas menores a los 10 °C), y no se pueden almacenar o conservar por mucho tiempo. Las semillas de mango, aguacate y lichi, son ejemplos de este tipo de semillas (Ballesteros *et al.*, 2019).

Tipos de semillas de frutas según la localización del albumen

En esta clasificación las semillas se dividen en endospermadas, exendospermadas, perispermadas y protaladas (Fuentes, 2017). Las semillas endospermadas también son llamadas semillas albuminadas, porque las sustancias de reserva o albumen se almacenan en el tejido endospermático, como ocurre en las semillas de tomate. En las semillas exendospermadas o exalbuminadas las sustancias de reserva o albumen se almacenan en los cotiledones. Por su parte, en las semillas perispermadas el albumen se acumula en los perispermados o nucela del óvulo. Finalmente, en las semillas protaladas el albumen es almacenado en el prótalo.

Tipos de semillas de frutas según su manipulación genética

De acuerdo con la modificación genética en las semillas, se clasifican en semillas criollas, mejoradas, baby e híbridas (Acosta, 2021). Las criollas se han adaptado al entorno, no han sido modificadas genéticamente por medios artificiales, ni proceden de cruces híbridos. Las semillas mejoradas son el resultado de la implementación de técnicas o procesos de selección controlados (como la polinización), que son realizados por el ser humano con los propósitos de mejorar la adaptación de la planta al medio ambiente, aumentar la resistencia a plagas y enfermedades, y optimizar ciertas características del fruto. En tanto que, las semillas baby son el producto de la manipulación genética durante la germinación, con el fin de que la planta tenga un tamaño reducido y un fruto tierno, dulce y fácil de masticar. Finalmente, las semillas híbridas son el resultado de cruzar e injertar dos especies o variedades puras distintas de frutas que se caracterizan por ser especies fuertes con una gran capacidad de producción y crecimiento. Estos cruces se realizan para obtener una variedad con mayor producción o números de frutas por cosecha, más o menos semillas, un tamaño de la fruta más o menos grande y mayor ritmo de crecimiento. Comercialmente se conoce el injerto del tomate de árbol con mora y el injerto de la naranja con la mandarina para producir una mandarina de mayor tamaño y con más jugo.

Tipos de semillas de frutas según su comestibilidad

Esta clasificación divide a las semillas en comestibles y no comestibles (Sacsa, 2015). Las semillas comestibles pueden ser consumidas por el ser humano y se caracterizan por aportar fibra, proteínas, antioxidantes, vitaminas del grupo B, vitamina E, vitamina C y minerales (potasio, magnesio, fósforo, calcio, hierro y azufre). Algunas semillas comestibles provienen de frutas como la granadilla, maracuyá, pitaya, chontaduro, árbol del pan, pera, uva, lulo, kiwi, sandía, entre otras. Las semillas no comestibles, no se pueden consumir por el ser humano, debido a que contienen sustancias tóxicas, palatabilidad desagradable o son muy duras para ser partidas con los dientes. Sin embargo, algunas semillas que son consideradas no comestibles durante el consumo de la pulpa de la fruta, se pueden volver comestibles si son cocidas, molidas y mezcladas con otros alimentos, como es el caso de las semillas del mango, aguacate, guama, arazá, mamoncillo, entre otras. Un ejemplo de semillas no comestibles son las semillas de manzana, porque tienen una sustancia denominada amigdalina o amigdalósido, la cual es un glucósido cianogénico, que en cantidades elevadas produce envenenamiento.

Además, las semillas de cereza, durazno y ciruela contienen cianuro. Se conoce que una semilla de cereza contiene aproximadamente 0.84 mg de cianuro.

Tipos de semillas de frutas según su tamaño

En esta categoría, las semillas se clasifican en pequeñas, medianas y grandes. Las semillas pequeñas tienen un diámetro equivalente menor a 1.0 cm, como las semillas de mora que tienen un diámetro polar que varía entre 1.2 a 1.3 mm y un diámetro ecuatorial que oscila entre 1.0 a 1.1 mm (Casaca, 2014). Otras semillas pequeñas provienen de frutas como: uva, papaya, melón, pera, manzana, sandía, guayaba, etc. Las semillas medianas presentan un diámetro equivalente entre 1.0 cm y 3.0 cm, como las semillas de la guanábana, mamoncillo, mangostino, níspero, arazá, ciruela, entre otras. Finalmente, las semillas grandes tienen un diámetro equivalente mayor a 3.0 cm, como las semillas de aguacate, mango, guama, zapote, etc. El tamaño de las semillas afecta el número de semillas presentes en la fruta, la habilidad de diseminación o esparcimiento y la capacidad de almacenamiento de sustancias de reserva o albumen. Las semillas pequeñas aparecen en mayor número en la fruta y se pueden diseminar ampliamente a distancias mayores, pero tienen almacenada una cantidad de albumen reducido, por lo que para su germinación dependen de los recursos disponibles del suelo donde caen. En las semillas de mayor tamaño se presenta todo lo contrario a lo descrito para las semillas pequeñas.

Tipos de semillas de frutas según el número de semillas en la fruta

Estas se dividen en pepitas y hueso. Las semillas son llamadas pepitas cuando en la fruta aparece un conjunto de más de dos semillas, como en el caso de la papaya, manzana, arazá, pera, lulo, kiwi, pitaya, níspero, mandarina, naranja, etc. (Batlle *et al.*, 2018). Algunos ejemplos de frutas con gran cantidad de semillas son las moras, que tienen alrededor de 65 semillas (Casaca, 2014), y las fresas, que presentan aproximadamente 200 semillas diminutas. Por otro lado, las semillas llamadas hueso o drupas cuentan con una o máximo dos semillas en la parte central de la fruta. Algunos ejemplos de frutas que contienen entre una y dos semillas de hueso son: cereza, durazno, aguacate, mango, ciruela y mamoncillo (Gimferrer, 2012).

Clasificación de las semillas de frutas como residuo

La tabla 1.15 muestra la clasificación o categorización del tipo de residuo al que corresponden las semillas de frutas en general, empleando la clasificación reportada por Rojas (2018), junto con una explicación concisa de su categorización. De esta tabla se

establece que las semillas de frutas son un residuo sólido, no peligroso (algunas de ellas), orgánico, vegetal, biodegradable, reciclable, aprovechable, no fermentable, putrescible, de origen urbano y agroindustrial, que se genera en el sector primario y secundario, y con una tasa de generación baja.

Tabla 1.15. Tipo de residuo al que corresponden las semillas de frutas

Clasificación según	Semillas de frutas como residuo	Observación
Estado de agregación	Sólido	Las semillas de frutas se encuentran en la naturaleza en estado sólido
Origen	Urbano y agroindustrial	Residuo generado principalmente en hogares, instituciones e industrias procesadoras de frutas
Tipo de manejo	No peligroso en general	La mayoría de las semillas no representan ningún peligro para el ser humano; sin embargo, algunas semillas tienen presencia de cianuro, como las semillas de cereza, durazno, ciruela y manzana
Composición química	Orgánica	La composición elemental de las semillas de frutas está conformada en su mayoría por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. Las semillas se consideran como biomasa residual
Sector de producción	Primario y secundario	Este residuo se produce durante el cultivo de frutas (sector primario) y en la producción agroindustrial de jugos, conservas, néctares, compotas o papillas para bebés, pulpas y mermeladas (sector secundario)
Naturaleza	Vegetal	Las semillas de frutas provienen del reino vegetal, por lo tanto, son residuos vegetales

Tipo de descomposición	Biodegradable	La mayoría de las semillas se degradan en alrededor de seis meses, debido a la acción de los microorganismos
Marco Legal	Sólido urbano y no peligroso en general	Residuo que, según la normativa colombiana, es del tipo sólido urbano y no peligroso en general (pocas semillas son peligrosas)
Posibilidad de tratamiento	Reciclable	Las semillas de frutas se pueden procesar para obtener biofertilizantes, alimento para animales, bioenergía, sustancias valiosas (vitaminas y compuestos bioactivos), carbón activado, entre otros productos
Posibilidad de aprovechamiento	Aprovechable	Este residuo se aprovecha como materia prima para producir biofertilizantes, alimentos para animales y recuperación de sustancias valiosas
Posibilidad de fermentación	No fermentable	En su mayoría, las semillas de frutas tienen gran cantidad de ácidos grasos y fibra, y bajos niveles de carbohidratos, lo cual impide que sean fermentables por medio de microorganismos
Putrescible o no	Putrescible	La descomposición por medio de microorganismos de las semillas de frutas produce malos olores
Taza de generación	Baja	Es un residuo. La mayoría de las frutas tienen un índice de generación de residuos entre el 1 y el 25 %

Fuente: elaboración propia.

Proporción de las semillas en las frutas

La proporción de las semillas en las frutas representa la cantidad porcentual en masa de las semillas respecto al peso total de las frutas. Este porcentaje permite conocer la masa

aproximada de residuos generados de semillas al momento de procesar o consumir la fruta. Al igual que para las cáscaras, este parámetro en las semillas es empleado para definir el tipo y tamaño del embalaje que se requiere para su recolección, almacenamiento y disposición, y para el diseño de los equipos de aprovechamiento y valorización. El porcentaje de semillas en la fruta (PSF) se obtiene por medio de:

$$PSF = \frac{\text{masa de las semillas}}{\text{masa de la fruta entera}} \times 100\% \quad (1.2)$$

En la tabla 1.16 se reporta el porcentaje de semillas en algunas frutas. De esta tabla se puede apreciar que el mayor valor de PSF es para el tamarindo, con un valor máximo 40 %, mientras que la pitaya tiene un valor de PSF de aproximadamente 1.50 %.

Tabla 1.16. Porcentaje de semillas en algunas frutas

Semilla de	PSF (%)	Referencias
Aguacate	15.00-16.00	(Dávila <i>et al.</i> , 2017)
Árbol del pan	49.00	(Mena, 2016)
Guanábana	5.00 – 8.50	(Villacís <i>et al.</i> , 2020)
Guayaba	4.75	(Silva <i>et al.</i> , 2017)
Granada	8.00 - 12.00	(Villacís <i>et al.</i> , 2020)
Granadilla	5.74 - 6.28	(Ocampo <i>et al.</i> , 2015)
Gulupa	9.00 - 11.00	(Orjuela <i>et al.</i> , 2011)
Mango	9.00 - 23.00	(Kittiphom, 2012)
Maracuyá	3.30 – 4.42	(Ocampo <i>et al.</i> , 2013)
Melón	5.00	(Álava, 2011)
Naranja	1.50 - 10.00	(Oyebola <i>et al.</i> , 2017)
Papaya	10.00 - 20.00	(Velasco, 2020)
Pitaya	1.30 - 1.50	(Villacís <i>et al.</i> , 2020)
Sandía	1.20 - 2.00	(Villacís <i>et al.</i> , 2020)
Tamarindo	25.00 - 40.00	(Villacís <i>et al.</i> , 2020)
Uva	5.00 - 6.00	(Ruales, 2015)
Zapote	14.30 - 15.10	(Alegría <i>et al.</i> , 2007)

Fuente: elaboración propia.

Aprovechamiento de las semillas de frutas

Las semillas de las frutas se aprovechan en actividades como: extracción de compuestos polifenólicos (Ballesteros-Vivas *et al.*, 2019), obtención de aceites (Oliveira *et al.*, 2013), síntesis de biopolímeros (Orrego *et al.*, 2017), fabricación de carbón activado (Anisuzzaman *et al.*, 2016) y producción de harinas (Ortiz, 2019). El aceite y los extractos obtenidos de las semillas de frutas se han aprovechado como insecticida (Suresh *et al.*, 2006), en la producción de biodiesel (Yathish *et al.*, 2013), como pesticida (Ranjan y Sahai, 2009), como sustituto del aceite de cacao en la producción de chocolate (Tapia *et al.*, 2013), entre otras aplicaciones. Mientras que las harinas obtenidas de las semillas se han valorizado en la obtención de aditivos ricos en fibra dietaria en productos cárnicos (Fernández-López *et al.*, 2004), en la elaboración de galletas (Kaur y Brar, 2017) y en la preparación de alimentos (Kowalska *et al.*, 2017).

En esta sección se presentan los aprovechamientos actuales de las semillas de algunas frutas producidas y consumidas en Latinoamérica. En la revisión de literatura que se presenta a continuación, se da información del aprovechamiento y valorización de semillas de quince frutas diferentes, que son: aguacate, asaí, chirimoya, frutas cítricas, granada, guanábana, guayaba, lulo, mango, manzana, maracuyá, papaya, pitaya, tamarindo y tomate.

Las semillas de aguacate se emplean para la extracción de compuestos polifenólicos por su capacidad antioxidante (Araujo *et al.*, 2018). Se han encontrado cuarenta y cinco tipos diferentes de compuestos polifenólicos en estas semillas, principalmente taninos condensados, ácidos fenólicos y flavonoides (Figuroa *et al.*, 2018). Contienen compuestos citotóxicos como los triterpenoides, que presentan actividad citotóxica significativa contra algunas células de cáncer de mama y cáncer de hígado humano (Abubakar *et al.*, 2017). También, tienen componentes como saponina, fitoesteroles, triterpenos, ácidos grasos, ácidos furanoicos, flavonoldímeros y proantocianidinas, algunos de los cuales presentan actividad antimicrobiana, antifúngica y efecto larvicida (Rodríguez *et al.*, 2011; Barbosa-Martín *et al.*, 2016). Otro aprovechamiento de las semillas de aguacate se da en la obtención de carbón activado para el tratamiento de aguas residuales (Palma *et al.*, 2016).

La nuez de las semillas de mango se ha empleado para la preparación de harina, con el propósito de incorporarla en un 30.0% a la harina de trigo para la fabricación de galletas, que presenta propiedades sensoriales aceptables y altos niveles de actividad antioxidante (Kaur y Brar, 2017). Las semillas de mango también se han utilizado para obtener harina, con el propósito de extraer almidón para la síntesis de un bioplástico

que se puede usar en la fabricación de envases (Ortiz, 2019) y para extraer aceites que tienen un perfil de lípidos similares al aceite de cacao, por lo que se ha utilizado como reemplazo para la fabricación de chocolate (Tapia *et al.*, 2013). Los extractos etanólicos de las semillas de mango se usan como antimicrobiano de amplio espectro (González, 2013) y materia prima para la obtención de polifenólicos y flavonoides (Ballesteros-Vivas *et al.*, 2019).

Los extractos obtenidos de las semillas de chirimoya tienen propiedades antimicrobianas (Raj y Vennila, 2014). Son empleados como insecticida para la eliminación de piojos (Suresh *et al.*, 2006), se han incorporado como medicamento para el tratamiento de infecciones causadas por hongos (Koushik *et al.*, 2017) y en la agricultura se utilizan como pesticida (Ranjan y Sahai, 2009). Los aceites extraídos de las semillas de chirimoya se han aprovechado en la producción de biodiesel (Yathish *et al.*, 2013) y para la síntesis de dietanolamida que contiene amidas que no irritan la piel, por lo que se han aplicado en varias formulaciones de detergentes como agente surfactante (Lokhande *et al.*, 2013).

Las semillas de maracuyá se utilizan para obtener fibras usadas en las industrias alimentaria, farmacéutica, veterinaria, cosmética y como fertilizante orgánico. También son empleadas para la extracción de aceite (Oliveira *et al.*, 2013), extracción de compuestos polifenólicos (Morais *et al.*, 2015) y en la fabricación de películas biodegradables (Orrego *et al.*, 2017). El aceite extraído de estas semillas presenta altos niveles de proteína (alrededor del 12.0%) y aceites poliinsaturados (aproximadamente 33.0%), que le otorgan características de agente acondicionador de la piel y del cabello. Debido a estas características, tanto los aceites como los residuos sólidos generados en la extracción del aceite, se han aprovechado en la fabricación de cremas exfoliantes, que presentan un pH, extensibilidad y estabilidad conforme a la normativa de productos cosméticos (Proaño *et al.*, 2020).

Las semillas de la guanábana se han utilizado en la obtención de acetogeninas, compuestos incorporados en medicamentos que aprovechan su actividad antitumoral, antifúngica y citotóxica (Ranisaharivony *et al.*, 2015; Solís-Fuentes *et al.*, 2011). De las semillas también se obtienen compuestos extractivos, utilizados como insecticidas sobre el gusano cogollero, un lepidóptero que destruye los cultivos de maíz (Guerra y Poveda, 2016). Además, a través del proceso termoquímico de pirólisis, las semillas de la guanábana se sintetizan en bioaceites, biocarbón y gas, que tienen un gran potencial energético (Schroeder *et al.*, 2017).

Las semillas de las frutas cítricas como la naranja, toronja, mandarina y limón se utilizan para la extracción de compuestos fenólicos, ácido cítrico y β -caroteno (Rafiq *et al.*, 2018; Shofinita *et al.*, 2015; Tsitsagi *et al.*, 2018), bioaceites (Rashid *et al.*, 2013) y líquidos iónicos ácidos (Dwivedi *et al.*, 2018). La harina preparada de las semillas de naranja se ha empleado como aditivo en salchichas cocidas y curadas en seco, para incrementar su contenido de fibra dietaria (Fernández-López *et al.*, 2004).

Las semillas de guayaba se usan en la extracción de compuestos polifenólicos (Lima *et al.*, 2019; Rojas-Garbanzo *et al.*, 2019); fabricación de carbón activado, que es biosorbente de bajo costo (Orrego *et al.*, 2017); y para remoción de fenol clorinado presente en medios acuosos (Anisuzzaman *et al.*, 2016).

Las semillas de papaya son útiles para extraer compuestos polifenólicos y ácido ascórbico (Asghar *et al.*, 2016; Ovando-Martínez *et al.*, 2018; Pathak *et al.*, 2014; Sofi *et al.*, 2016) y para la fabricación de carbón activado (Krishnaiah *et al.*, 2017). Los extractivos de estas semillas también tienen la capacidad de actuar como agentes coagulantes para eliminar la turbidez en el tratamiento de aguas residuales (Khalida *et al.*, 2020).

El aceite obtenido de las semillas de manzana es una materia prima para la extracción de ácido linoleico y floridzina (Yinrong *et al.*, 1997) y es fuente de compuestos antioxidantes que aprovechan su actividad citotóxica a modo de agente potencialmente anticancerígeno (Kowalska *et al.*, 2017). Las semillas completas, al ser convertidas en carbón activado, se han usado como material biosorbente de metales pesados de las aguas residuales provenientes del sector industrial (Tejada-Tovar *et al.*, 2015).

Las semillas de asaí son útiles para la extracción de compuestos polifenólicos, especialmente antocianinas y flavonoides (Melo *et al.*, 2016). Se han empleado ampliamente como agentes neutralizadores de radicales libres, así como por su capacidad antiinflamatoria y citotóxica (Heinrich *et al.*, 2011; Villacis-Chiriboga *et al.*, 2020). Además, las semillas también se han empleado para producir CO, H₂ y CH₄ con fines energéticos (Itai *et al.*, 2014).

Para complementar la información anterior, se ha encontrado que las semillas de lulo son usadas en la fabricación de cosméticos y en la obtención de películas biodegradables (Orrego *et al.*, 2017). Las semillas de tomate se emplean en preparaciones alimenticias, debido a su alto contenido de proteína (Kowalska *et al.*, 2017). Las semillas de tamarindo se utilizan para la extracción de polifenoles (Suksomtip *et al.*, 2010) y obtención de bioaceites (Kader *et al.*, 2013). De las semillas de granada se extraen aceites que tienen un amplio perfil de compuestos bioactivos, por lo que son atractivas para su aprovechamiento en la industria cosmética y farmacéutica. (Górnaś y Radzińska,

2016). Además, se ha reportado que las semillas de pitaya presentan metabolitos como catequinas, saponinas, aminoácidos libres, mucilagos y compuestos grasos. Estos dos últimos metabolitos, junto con la fibra soluble presente en las semillas, han permitido que las semillas de pitaya se utilicen como laxante, limitantes de la absorción del colesterol y reguladoras del tránsito lento en el intestino (Parra, 2010).

Características físicas y químicas de las cáscaras y semillas de frutas

La caracterización de las semillas y cáscaras de frutas se realiza a través de la determinación y cuantificación de sus propiedades físicas y químicas. La cuantificación de las propiedades es la base principal para establecer tanto el diseño de los equipos para manipulación, como para el tratamiento, disposición, valorización y aprovechamiento de los residuos de frutas. En esta sección se identifican las principales características físicas y químicas que se pueden medir en un residuo, a través de los análisis gravimétricos, de tamaño, de forma, de textura, de color, próximo o inmediato, elemental o último, energético (índice de combustibilidad y poder calorífico), compuestos bioactivos, capacidad antioxidante, estructural o químico, y bromatológico.

Principales características físicas y químicas de las semillas de frutas

La pulpa de las frutas se obtiene industrialmente mediante el proceso de despulpado, donde se generan como subproductos las cáscaras y las semillas. La selección del equipo de despulpado depende de las características o propiedades físicas de las cáscaras y de las semillas de las frutas. Esto se debe a que el proceso de despulpado busca obtener un producto final (la pulpa de fruta) con las características organolépticas de la fruta inicial, lo cual se logra retirando completamente las cáscaras y las semillas de la pulpa (Olabinjo *et al.*, 2017). Cualquier trozo de cáscara o semilla que quede afecta la calidad de la pulpa (Dobrzanski y Stepniewski, 2013); sin embargo, las propiedades físicas, e incluso químicas, de las semillas no son constantes, aun para la misma fruta. Los cambios en las propiedades físicas de las semillas se deben, en general, a que las semillas pueden presentar grandes variaciones en composición, ser heterogéneas y tener estructuras anisotrópicas. Las características de las semillas dependen de las variaciones estacionales, las técnicas de cultivo, el tipo de suelo y las condiciones ambientales que experimentaron las frutas durante su desarrollo en la planta (Dobrzanski y Stepniewski, 2013).

El conocimiento de las propiedades físicas y químicas de las semillas, no solo se requiere para el diseño y selección de los equipos de despulpado, sino también para los procesos de manipulación, disposición, tratamiento, aprovechamiento y valorización de las semillas (Olabinjo et al., 2017). Por tanto, es importante tener una estimación lo más precisa posible de la forma, tamaño, volumen, densidad, gravedad específica, área de superficie y otras características mecánicas de las semillas. Estos parámetros muchas veces son considerados como variables de diseño para la valorización y aprovechamiento de semillas en la producción de alimentos, fabricación de carbón activado, generación de energía, obtención de biofertilizantes, entre otras aplicaciones.

En la literatura se clasifican las propiedades físicas de los materiales agrícolas, incluyendo las semillas, en cinco categorías: propiedades térmicas, propiedades ópticas, propiedades eléctricas, propiedades mecánicas y propiedades estructurales y geométricas. (Dobrzanski y Stepniewski, 2013). Las propiedades para considerar en las semillas son:

- Propiedades térmicas: conductividad térmica y calor específico (Dobrzanski y Stepniewski, 2013).
- Propiedades ópticas: color y brillo (Durán y Calvo, 2009).
- Propiedades mecánicas: tensión-deformación y compresibilidad (Rahman, 2014).
- Propiedades estructurales y geométricas: masa, densidad, tamaño de partícula, volumen, porosidad, forma, longitud, esfericidad y rugosidad (Dobrzanski y Stepniewski, 2013). También se consideran el ángulo de reposo y el coeficiente de fricción (Ixtaina, 2010).

En este trabajo se evalúan como propiedades físicas algunas propiedades estructurales y geométricas de las semillas de algunas frutas, como: tamaño, peso, densidad y esfericidad. Para el tamaño se determina el diámetro, longitud y espesor, mientras que para la forma se establece la esfericidad.

Las propiedades químicas son características de las semillas, relacionadas con su composición y posibilidades de reacción de los componentes al entrar en contacto con otras sustancias. La caracterización química de las semillas se realizará a través de los análisis próximo inmediato, elemental o último, de poder calorífico, de composición estructural, de compuestos bioactivos, de capacidad antioxidante y bromatológico (Rojas, 2018; Flórez, 2020; Tulcán, 2021).

Por medio del análisis próximo se establece la composición de las semillas en cuanto a humedad total, materia seca, materia volátil, ceniza y carbono fijo. A través

del análisis elemental se determina el contenido de los elementos carbono, hidrógeno, nitrógeno, azufre y oxígeno, que se reporta en base seca libre de cenizas. En el análisis de poder calorífico se cuantifica el poder calorífico superior de las semillas. El análisis estructural es empleado para conocer el porcentaje de celulosa, hemicelulosa, lignina y extractivos totales. Con el análisis de compuestos bioactivos se establece el contenido de flavonoide totales y compuestos polifenólicos totales, mientras que con el análisis de capacidad antioxidante se identifica la capacidad que tienen los compuestos presentes en los extractivos de las semillas para inhibir la acción de los radicales libres presentes en las células, lo cual se realiza mediante los métodos de FRAP (potencial antioxidante reductor férrico), RPAA (potencial reductor de la actividad antioxidante) y ORAC (capacidad de absorbancia de radicales de oxígeno). Finalmente, el análisis bromatológico es utilizado para conocer el contenido de grasa cruda, proteína total, fibra dietética total y carbohidratos (Rojas y Flórez, 2019; Rojas *et al.*, 2019; Flórez-Montes *et al.*, 2020).

Principales características físicas y químicas de las cáscaras de frutas

Las características físicas de las cáscaras de frutas se consideran como el primer factor de conformidad para la cosecha y comercialización de las frutas (Olabinjo *et al.*, 2017), y permiten establecer su calidad, forma de almacenamiento y comportamiento en la etapa de postcosecha (Shahkoomahally *et al.*, 2021). Las principales características físicas de las cáscaras de frutas se clasifican en propiedades organolépticas y propiedades no organolépticas. Las propiedades organolépticas se refieren al color, textura, sabor y aroma de las frutas. Mientras que entre las propiedades no organolépticas están el peso, densidad, grosor (tamaño) y dureza (o firmeza) (Jurado, 2021).

Las propiedades son consideradas y medidas en la etapa de maduración de las frutas, donde ocurren transformaciones físicas y químicas. Los cambios se deben a que durante el proceso de maduración ocurre una reestructuración metabólica y química en el interior del fruto, que se ve reflejada en su superficie, cáscara o corteza (Jiménez, 2017). Los cambios más evidentes durante la maduración de las frutas son el color, sabor, olor, textura y firmeza (Santarrosa, 2013).

Las características de aroma o fragancia en las cáscaras de las frutas se deben a su proceso de respiración o metabolismo, donde se producen y emiten flavonoides y limonoides, como es el caso de las frutas cítricas (Olabinjo, 2017). Las características de peso, densidad y textura de las cáscaras dependen de la cantidad de agua presente, la cual se evapora durante la etapa de postcosecha y genera ablandamiento, disminución del peso y densidad de la cáscara (Nazoori *et al.*, 2020). La característica de tamaño o

grosor de la cáscara depende del tiempo de maduración de la fruta. Esta propiedad, al igual que la propiedad de firmeza, reduce su valor debido a las reacciones de hidrólisis del almidón en las cáscaras (Pinzón *et al.*, 2007).

Las propiedades químicas identificadas en las semillas también son medidas en las cáscaras de frutas y se determinan por medio de los análisis próximo o inmediato, elemental o último, de poder calorífico, de composición estructural, de compuestos bioactivos, de capacidad antioxidante y bromatológico (Rojas, 2018; Flórez, 2020; Jurado, 2021).

Conclusiones

Colombia es un país con gran riqueza hortofrutícola y con posibilidades especiales de desarrollos agroindustriales para el procesamiento de las frutas, con los cuales se pueden generar productos de interés internacional, que están en capacidad de promover la creación de empresas y la modernización de empresas ya existentes, con miras a la exportación de productos a base de frutas tropicales. Lo anterior, permitiría abrir nuevos mercados en países donde aún no se realizan exportaciones de productos elaborados con frutas cultivadas en Colombia.

Durante el cultivo, procesamiento y consumo de frutas se generan grandes cantidades de residuos, que pueden ser incorporados al ciclo productivo del país mediante su aprovechamiento y valorización en diferentes sectores industriales. Los residuos se convertirían en materias primas para la extracción de polifenoles, antioxidantes, vitaminas, fibras, azúcares y proteínas. De igual manera, permitirían el desarrollo de las empresas actuales, dejando atrás la industria tradicional para convertirse en las biorrefinerías del futuro.

Las cáscaras y semillas de frutas, así como los principales residuos de muchas frutas, han merecido un especial cuidado por parte de los investigadores y la industria en general, dado que a través de estos residuos se han obtenido muchos productos de interés. Algunos ejemplos son: biocombustibles, saborizantes, colorantes, aceites esenciales, carbón activado y biofertilizantes. Además, las cáscaras y semillas de frutas también son una fuente importante de compuestos químicos, empleados en la industria farmacéutica para la elaboración de medicamentos utilizados en la prevención y tratamiento de enfermedades.

Bibliografía

- Abubakar, A. N., Achmadi, S. S. y Suparto, I. H. (2017). Triterpenoid of avocado (*Persea americana*) seed and its cytotoxic activity toward breast MCF-7 and liver HepG2 cancer cells. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 7(5), 397-400. <https://doi.org/10.1016/j.apjtb.2017.01.010>
- Acosta, M.B. (2021). Semillas: qué son y tipos. *Ecología Verde*. <https://www.ecologia-verde.com/semillas-que-son-y-tipos-2497.html>
- Álava, L. (2011). *Elaboración de fruta confitada del epicarpio del melón (casabe) mediante la elaboración de confituras* [Tesis de grado, Universidad Tecnológica Equinoccial, Santo Domingo, Ecuador]. Repositorio institucional.: http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/19073/1/5636_1.pdf
- Alcaldía de Manizales. (2015). *Plan de gestión integral de residuos sólidos en Manizales (PGIRS 2015-2027)*. Colombia: Alcaldía de Manizales.
- Alegría, J.J., Hoyos, O.L. y Prado, J.A. (2007). Características fisicoquímicas de dos variedades del fruto del zapote (*Matisia cordata*) comercializadas en el departamento del cauca. *Revista Facultad de Ciencias Agropecuarias*, 5(2), 32-38.: <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/670>
- Anagnostopoulou, M.A., Kefalas, P., Papageorgiou, V.P., Assimopoulou, A.N., y Boskou, D. (2006). Radical scavenging activity of various extracts and fractions of sweet orange peel (*Citrus sinensis*). *Food chemistry*, 94(1), 19-25. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.09.047>
- Anisuzzaman, S.M., Joseph, C.G., Krishnaiah, D., Bono, A., Suali E., Abang, S. y Fai L.M. (2016). Removal of chlorinated phenol from aqueous media by guava seed (*Psidium guajava*) tailored activated carbon. *Water Resources and Industry* vol. 16, 29-36. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.wri.2016.10.001>
- Araneda, M. (6 de noviembre de 2015). Frutas, hortalizas (verduras) y frutos secos: Recomendaciones. *Edualimentaria*. <https://www.edualimentaria.com/frutas-hortalizas-frutos-secos-composicion-propiedades/recomendaciones>.
- Araneda M. (6 de mayo de 2022). Frutas, hortalizas (verduras) y frutos secos. Composición y propiedades. *Edualimentaria*. <https://www.edualimentaria.com/frutas-hortalizas-frutos-secos-composicion-propiedades>
- Araújo, R. G., Rodríguez-Jasso, R. M., Ruiz, H., Pintado, M. M. y Aguilar, C. N. (2018). Avocado by-products: Nutritional and functional properties. *Trends in Food Science & Technology*, 80, 51-60. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.07.027>

- Araya, C., Rojas, C. y Velázquez, C. (2010). Síntesis de ácido láctico, a través de la hidrólisis enzimática simultánea a la fermentación de un medio a base de un desecho de piña (Ananas comosus), para su uso como materia prima en la elaboración de ácido poliláctico. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 7(11), 407-416.
- Ariza, R., Tejacal, I., Beltrán, M. N., Ambriz, R., Lugo, A., Barrios, A. y Barbosa, F. (2010). Calidad de los frutos de naranja 'valencia' en Morelos, México. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 11(2), 148-153. <https://www.redalyc.org/pdf/813/81315809006.pdf>
- Asghar, N., Naqvi, S. A., Hussain, Z., Rasool, N., Khan, Z. A., Shahzad, S. A. y Jaafar, H. Z. (2016). Compositional difference in antioxidant and antibacterial activity of all parts of the Carica papaya using different solvents. *Chemistry Central Journal*, 10(1), 1-11.
- Asohofrucol: Asociación Hortifrutícola de Colombia. (2020). Frutas y hortalizas: Balance del sector hortifrutícola de 2019. *Revista de la Asociación Hortofrutícola de Colombia, Asohofrucol (FNFH)*, 69.
- Asohofrucol: Asociación Hortifrutícola de Colombia. (2019). *Balance del sector hortifruticultura en 2018*.
- Athmaselvi, K. A., Jenney, P., Pavithra, C. y Roy, I. (2014). Physical and biochemical properties of selected tropical fruits. *International Agrophysics*, 28(3), 383-388. <https://doi.org/10.2478/intag-2014-0028>
- Ballesteros, D., Walters, C. y Hugh, W. (2019). Probing life and death in the glassy state of cryopreserved seeds, fern spores and pollen: fundamental research to optimize ex situ preservation. *Cryobiology*, 91, 161. <https://doi.org/10.1016/j.cryobiol.2019.10.065>
- Ballesteros-Vivas, D., Álvarez-Rivera, G., Morantes, S. J., Sánchez-Camargo, A. D., Ibáñez, E., Parada-Alfonso, F. y Cifuentes, A. (2019). An integrated approach for the valorization of mango seed kernel: Efficient extraction solvent selection, phytochemical profiling and antiproliferative activity assessment. *Food Research International*, vol. 126, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108616>
- Barbosa-Martín, E., Chel-Guerrero, L., González-Mondragón, E. y Betancur-Ancona, D. (2016). Chemical and technological properties of avocado (*Persea americana Mill.*) seed fibrous residues. *Food and Bioprocess Processing*, 100, 457-463. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.09.006>
- Barrera, A., y Jiménez, O. A. (2015). *Caracterización de las empresas del sector de la agroindustria en Manizales*. Serie económica y empresarial No. 2. Cámara de Comercio de Manizales.

- Batlle, I., Iglesias, I., Cantin, C. M., Badenes, M. L., Ríos, G., Ruiz, D., Dicenta, F., Egea, J., López, M., Guerra, E., Alonso, J. M., Rodrigo, J., García, F. y García, J. (2018). Capítulo III. Frutales de hueso y pepita. En *Influencia del cambio climático en la mejora genética de plantas*. Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, Consejería de Agua, Agricultura, Ganadería y Pesca. <https://bit.ly/3z4WLhP>
- Bechlina, T., Granellaa, S., Christ, D., Coelho, S. y Paz, C. (2020). Effects of ozone application and hot-air drying on orange peel: moisture diffusion, oil yield, and antioxidant activity. *Food and Bioproducts Processing*, 123, 80–89. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.06.012>
- Bhullar, K. S. y Rupasinghe, V. (2013). Polyphenols: Multipotent Therapeutic Agents in Neurodegenerative Diseases. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. <https://doi.org/10.1155/2013/891748>
- Camacho, A. N. (3 de agosto de 2019). Importancia de la semilla, su función, producción, etapas y tipos de semillas. *Engormix*. <https://bit.ly/3LHUINC>
- Cámara, M., Sánchez, C. S. y Torija, M. E. (2003). *Frutas y verduras, fuente de salud*. Editorial Nueva Imprenta, S.A.
- Campos, R., Guerreiro, F., Santos, A., Lopes, A. y Mattietto, R. (2009). Características físicas e físico-química da casca de mangostão em três períodos da safra. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 31(2), 416-422. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452009000200015>
- Cardona, C. A., Orrego, C. E. y Tamayo, J. A. (2012). *Arcano, una oportunidad para el desarrollo de la agroindustria en el departamento de Caldas*. Universidad Nacional de Colombia.
- Casaca, A. D. (14 de marzo de 2014). Cultivo de la mora (Parte I). *Infoagro*. https://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_mora__parte_i_.asp
- Castillo, A. M. y Dávila, F. W. (2012). *Agroindustria alimentaria: lácteos, cacao, frutas y hortalizas, en las ciudades de Estelí, Matagalpa y Jinotega; 2009-2010*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería, Nicaragua] Repositorio institucional. <http://ribuni.uni.edu.ni/371/>
- Castro-Vásquez, L., Alañó, M., Rodríguez-Robledo, V., Pérez-Coello, M. S., Hermosín-Gutierrez, I., Díaz-Maroto, M. C., Jordán, J., Galindo, M. y Arroyo-Jiménez, M. (2016). Bioactive flavonoids, antioxidant behaviour and cytoprotective effects of dried grapefruit peels (*Citrus paradisi* Macf.). *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 1. <https://doi.org/10.1155/2016/8915729>

- Cayuela, M., Millner, P., Meyer, S. y Roig, A. (2008). Potential of olive mill waste and compost as biobased pesticides against weeds, fungi, and nematodes. *Science of the Total Environment*, 399, pp. 11-18. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.03.031>
- Cerna, J. (2016). *Clasificación de frutas y verduras*. <https://es.slideshare.net/JhemymaCr/clasificacin-de-las-frutas-58778186>.
- Chaw, S., Wu, C. y Sudianto, E. (2018). Evolution of Gymnosperm Plastid Genomes. *Advanced in Botanical Research, Plastid Genome Evolution*, 85, 195-222. <https://doi.org/10.1016/bs.abr.2017.11.018>
- Cleves, D. (2017). *Aprovechamientos potenciales del fruto de Árbol del Pan (Artocarpus altilis)*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales]
- Congreso de la República de Colombia. (1994). Ley 118. *Por la cual se establece la cuota de fomento hortifrutícola, se crea un fondo de fomento, se establecen normas para su recaudo y administración y se dictan otras disposiciones*. Diario Oficial 41216. <https://bit.ly/3FU0N0b>
- Contexto ganadero. (13 de mayo de 2015). Así se clasifican las frutas según su tipo de nutrientes. *Contexto ganadero*. <https://www.contextoganadero.com/agricultura/asi-se-clasifican-las-frutas-segun-su-tipo-de-nutrientes>
- Cortés, E. A. (2007). Marín La agroindustria y viabilidad del sector agropecuario. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 2(1), 74-80.
- Cury, R. K., Aguas, M. Y., Martinez, M. A., Olivero, V. R. y Chams, Ch. L. (2017). Residuos agroindustriales su impacto, manejo y aprovechamiento. *Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA*, 9(S1), 122. <https://revistas.unisucre.edu.co/index.php/recia/article/view/530>
- Dane: Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2015). *Encuesta Nacional Agropecuaria ENA 2015*.
- Dávila, J., Rosenberg, M., Castro, E. y Cardona, C. (2017). A model biorefinery for avocado (Persea americana mill.) processing. *Bioresource Technology*, 243, 17-29. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.063>.
- Di Gioia, L., Sciubba, L., Setti, F., Luziatelli, M., Ruzzi, D., Zanichelli, G. y Fava, F. (2007). Production of biovanillin from wheat bran. *Enzyme and Microbial Technology*, 41, 498-505. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2007.04.003>
- Dobrzanski, B. y Stpniewski, A. (2013). Physical Properties of Seeds in Technological Processes. *Advances in Agrophysical Research*. Doi: 10.5772/56874.
- Doria, J. (2010). Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Revista Cultivos Tropicales*, 31(1), 74-85. <https://bit.ly/3TGxhkd>

- Dormond, H., Rojas, A., Boschini, C., Mora, G. y Sibaja, G. (2011). Evaluación preliminar de la cáscara de banano maduro como material de ensilaje, en combinación con pasto King Grass (*Pennisetum purpureum*). *Revista electrónica de las sedes regionales de la Universidad de Costa Rica*, 23(12), 17-31.
- Dwivedi, P., Singh, M., Sehra, N., Pandey, N., Sangwan, R. S. y Mishra, B. B. (2018). Processing of wet Kinnow mandarin (*Citrus reticulata*) fruit waste into novel Bronsted acidic ionic liquids and their application in hydrolysis of sucrose. *Bioresource Technology*, 250, 621-624. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.11.100>
- Ecured. (2020). Fruta. Cuba. Ecured <https://www.ecured.cu/Fruta>.
- Eriksson, O. (2014). Evolution of angiosperm seed dispersal mutualisms: the timing of origins and their consequences for coevolutionary interactions between angiosperms and frugivores. *Biological Reviews*, 91(1), 168-186. <https://doi.org/10.1111/brv.12164>.
- FAO. (1997). La Agroindustria y el Desarrollo Económico. En *Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación*, (pp. 221-264). FAO,
- FAO. (2012). Perfil nacional de consumo de frutas y verduras. <https://bit.ly/2VOkRMI>
- Fernández-López, J., Fernández-Ginés, J. M., Aleson-Carbonell, L., Sendra, E., Sayas-Barberá, E. y Pérez-Álvarez, J. A. (2004). Application of functional citrus by-products to meat products. *Trends Food Sci Tech*, 15, 176-185. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.08.007>
- Figuerola, J. G., Borrás-Linares, I., Lozano-Sánchez, J. y Segura-Carretero, A. (2018). Comprehensive characterization of phenolic and other polar compounds in the seed and seed coat of avocado by HPLC-DAD-ESI-QTOF-MS. *Food Research International*, 105, 752-763. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.11.082>
- Flórez, C. (2017). *Caracterización estructural de algunos residuos de la agroindustria caldense*. [Tesis de pregrado. Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales].
- Flórez, C. (2020). *Valorization of processing fruits waste for the obtaining of food ingredients*. [Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales].
- Flórez-Montes, C., Mosquera-Martínez, O. M. y Rojas-González, A. F. (2020). Prospective use of fruit byproducts in Colombia according to their antioxidant capacity. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales*, 44(173), 1113-1125. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1241>.
- Fuentes, M. (2017). *Curso de morfología vegetal, Morfología de la semilla*. Universidad Nacional de la Plata. <https://bit.ly/3nigwjd>

- Gaitán, J. A. (28 de agosto de 2012). Clasificación de las frutas. *Gastronomía y sabor*. <https://bit.ly/3lDgVfN>
- Ganchozo, H. y Luna, R. A. (2018). *Obtención de un nanocompuesto estructurado por nanocelulosa y dopado con nanopartículas de plata (agnps) con actividad antibacterial y cicatrizante, utilizando como materia prima los residuos de banano: raquis y cascara (Musa Acuminata)*. [Tesis de pregrado. Universidad De Guayaquil] Repositorio institucional. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/35406>
- Ghasemi, K., Ghasemi, Y. y Ebrahimzadeh, M. A. (2009). Antioxidant activity, phenol and flavonoid contents of 13 citrus species peels and tissues. *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences*, 22(3), 277-28.
- Gimferrer, N. (14 de junio 2012). Frutas con hueso: cinco opciones muy saludables. *Consumer*. <https://bit.ly/40dQe0b>
- González, D. O. (2013). *Aprovechamiento de residuos industriales para la producción de alimentos funcionales: una aproximación desde la nutrición animal*. [Tesis de pregrado. Corporación universitaria Lasallista]. Repositorio institucional. <http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/handle/10567/1032>
- González, A. M. (2002). Morfología de plantas vasculares. Temas 6: Fruto. *Programa del curso morfología de plantas vasculares, de la Universidad Nacional del Nordeste*. <http://www.biologia.edu.ar/botanica/PROG2002.htm>
- Górnaś, P. y Rudzińska, M. (2016). Seeds recovered from industry by-products of nine fruit species with a high potential utility as a source of unconventional oil for biodiesel and cosmetic and pharmaceutical sectors. *Industrial Crops and Products*, 83, 329–338. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.01.021>
- Guerra, M. R. y Poveda, J. R. (2016). *Composición proximal y potencial insecticida de la semilla de Annona muricata L. para el control de Spodoptera frugiperda J. E. Smith (Lepidoptera: Noctuidae)*. [Tesis de pregrado. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua]. Repositorio institucional. <https://repositorio.unan.edu.ni/13860/>
- Haro, A. (12 de septiembre de 2017). Mango. Puleva. *Leche Puleva*. <https://www.leche-puleva.es/nutricion-y-bienestar/el-mango>.
- Haro-Velasteguí, A. J., Borja-Arévalo, A. E., Triviño-Bloisse, S. Y. (2017). Análisis sobre el aprovechamiento de los residuos del plátano, como materia prima para la producción de materiales plásticos biodegradables. *Revista Dominio de las Ciencias*, 3(2), 506-525. <https://dx.doi.org/10.23857/dom.cien.pocaip.2017.3.2.esp.506-525>

- Heinrich, M., Dhanji, T. y Casselman, I. (2011). Açai (*Euterpe oleracea* Mart.)—A phytochemical and pharmacological assessment of the species' health claims. *Phytochemistry Letters*, 4(1), 10-21. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.phytol.2010.11.005>
- Investincolombia. (22 de mayo de 2020). Agroindustria y producción de alimentos: Frutas y verduras. *Investincolombia*. <https://bit.ly/40uRool>
- Itai, Y., Santos, R., Branquinho, M., Malico, I., Ghesti, G. F. y Brasil, A. M. (2014). Numerical and experimental assessment of a downdraft gasifier for electric power in Amazon using açai seed (*Euterpe oleracea* Mart.) as a fuel. *Renewable Energy*, 66, 662–669. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.01.007>
- Iuit-González, M., Betancur-Ancona, D., Santos-Flores, J. y Cantón-Castillo, C. (2019). Mermelada enriquecida con fibra dietética de cáscara de Mango (*Mangifera indica* L.). *Revista Tecnología en Marcha*, 32(1), 193–201. <https://doi.org/10.18845/tm.v32i1.4128>
- Ixtaina, V. (2010). *Caracterización de la semilla y el aceite de chía (Salvia hispánica L.) obtenido mediante distintos procesos. Aplicación en tecnología de alimentos*. [Tesis doctoral. Universidad Nacional de la Plata, Argentina]. Repositorio institucional. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/2679>
- Jiménez, J., Balois, R., Alia, I., Juárez, P., Sumaya, M. y Bello, J. (2016). Caracterización del fruto de guanábana (*Annona muricata* L.) en Tepic, Nayarit, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(14), 1261-1270. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5787297>
- Juhaimi, F. A. (2014). Citrus fruits by-products as sources of bioactive compounds with antioxidant potential. *Pakistan Journal of Botany*, 46(4), 1459-1462. <http://www.pakbs.org/pjbot/PDFs/46%284%29/38.pdf>
- Jurado, D. K. (2021). *Caracterización fisicoquímica de las cáscaras de frutas*. [Tesis de pregrado. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales]. Repositorio institucional.
- Kader, M. A., Islam, M. R., Parveen, M., Haniu, H. y Takai, K. (2013). Pyrolysis decomposition of tamarind seed for alternative fuel. *Bioresource Technology*, 149, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.09.032>
- Kaur, A. y Brar, J. (2017). Use of mango seed kernels for the development of antioxidant rich biscuits. *International Journal of Science and Research*, 6(8), 535-538. <https://www.ijsr.net/archive/v6i8/ART20175939.pdf>

- Khalida, M., Nur, A. A., Ummu, A. y Ahmad, S. (2020) Potential use of fruit seed and plant leaves as coagulation agent in water treatment. *Journal of Enviromental treatment techniques*, 8(3), 971-977. <https://bit.ly/42yc689>
- Khandelwal, S. (14 de noviembre de 2020). Orthodox and recalcitrant seeds. *Biology discution*. <https://bit.ly/3LXK3c6>
- Kim, H., Kim, H., Mosaddik, A., Gyawali, R., Ahn, K. y Kim, S. (2012). Induction of apoptosis by ethanolic extract of mango peel and comparative analysis of the chemical constitutes of mango peel and flesh. *Food Chemistry*, 133(2), 416-422. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.01.053>
- Kittiphoom, S. (2012). Utilization of Mango seed. *International Food Research Journal*, 19(4), 1325-1335. <https://bit.ly/3FLnX95>
- Kiwiatlantico. (21 de febrero de 2019). La clasificación de las frutas. *Kiwiatlantico*. <https://bit.ly/40wcNgi>
- Koushik, O. S., Babu, P. S. y Karthikeyan, R. (2017). Phytochemical screening and evaluation of anti-fungal activity on the seed extracts of *Annonasquamosa* (L.) and *Manilkarazapota* (L.). *CIB Tech Journal of Biotechnology*, 6, 8-11.
- Kowalska, H., Czajkowska, K., Cichowska, J. y Lenart, A. (2017). What's new in biopotential of fruit and vegetable by-products applied in the food processing industry. *Trends in Food Science & Technology*, 67, 150-159. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.06.016>
- Krishnaiah, D., Joseph, C. G., Anisuzzaman, S. M., Daud, W.M. A., Sundang, M. y Leow, Y. C. (2017). Removal of chlorinated phenol from aqueous solution utilizing activated carbon derived from papaya (*Carica Papaya*) seeds. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 34(5), 1377-1384. <https://doi.org/10.1007/s11814-016-0337-6>
- La Patria – Diario. (20 de junio de 2017). *Caldas, a defender las 70 mil hectáreas en café*. [En línea]. <https://bit.ly/42Ge2LW>
- Lagha-Benamrouche, S. y Madani, K. (2013). Phenolic contents and antioxidant activity of orange varieties (*C. sinensis* L. and *C. aurantium* L.) cultivated in Algeria: Peels and leaves. *Industrial Crops and Products*, 50, 723-730. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.07.048>
- Li, B. B., Smith, B. y Hossain, M. M. (2006). Extraction of phenolics from citrus peels I. Solvent extraction method. *Separation and Purification Technology*, 48, 182-188. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2005.07.005>
- Libroderespuestas. (23 de febrero de 2019a). El Fruto: Qué es, cuáles son sus partes y cómo se clasifican. *Biología, Reino vegetal*. <https://bit.ly/40kAzMz>

- Libroderespuestas. (24 de febrero de 2019b). ¿Qué es una semilla, cuáles son sus partes y cómo se clasifican? *Biología, Reino vegetal*. <https://bit.ly/3JIV8v8>
- Lima, R. D. S., Ferreira, S. R. S., Vitali, L. y Block, J. M. (2019). May the superfruit red guava and its processing waste be a potential ingredient in functional foods?. *Food Research International*, 115, 451–459. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.10.053>
- Lokhande, A. R., Patil, V. S. y Wani, K. S. (2013). Study of Diethanolamide from Custard AppleSeed Oil (*Annona Squamosa L*). *International Journal of Engineering Research & Technology*, 2(9), 448-452.
- López, M. I. (2018). *Nombres científicos de frutas y hortalizas*. [Trabajo académico. Universidad Autónoma Chapingo] <https://bit.ly/3LRpkqy>
- Ma, Y. Q., Chen, J. C., Liu, D. H. y Ye, X. Q. (2008). Effect of ultrasonic treatment on the total phenolic and antioxidant activity of extracts from citrus peel. *Journal of Food Science*, 73(8), 115-120.
- Mariscal, J. P. (2014). Estado actual de la generación de residuos sólidos en Colombia, Manizales: Universidad Nacional de Colombia.
- Márquez, L. (2014). *Evaluación nutricional de la cascara de chontaduro (bactris gasipaes) como alternativa en la alimentación animal*. [Tesis de pregrado. Universidad Tecnológica de Pereira] Repositorio institucional. <https://bit.ly/3z7E50I>
- Melo, P. S., Arrivetti, L. D., Alencar, S. M. y Skibsted, L. H. (2016). Antioxidative and prooxidative effects in food lipids and synergism with α -tocopherol of açai seed extracts and grape rachis extracts. *Food Chemistry*, 213, 440-449. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.06.101>.
- Mena, G. (2016). *Análisis de tres índices de madurez del fruto del pan artocarpus altilis para el aprovechamiento de sus semillas en la elaboración de snack*. [Tesis de pregrado. Universidad técnica del Norte, Ibarra, Ecuador]. Repositorio institucional. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/5876>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2006). *Plan Frutícola Nacional - Desarrollo de la fruticultura en Caldas.*, Manizales: Gobernación de Caldas. <https://bit.ly/40fOG5S>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2018). *Balance del sector hortifruticultura en 2017*.
- Mohsen, S. M., Schnitzer, H., Aly, M. H. y Smuda, S. S. (2012). Physical and chemical properties of wastes generated during processing of mango and orange juices. *Journal Food Industries & Nutrition Science*, 2(1), 277-289.

- Morais, D. R., Rotta, E. M., Sargi, S. C., Schmidt, E. M., Bonafe, E. G., Eberlin, M. N. y Visentainer, J. V. (2015). Antioxidant activity, phenolics and UPLC-ESI(-)-MS of extracts from different tropical fruits parts and processed peels. *Food Research International*, 77, 392-399. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.08.036>
- Nazoori, F., Bahramabadi, E., Mirdehghan, S. y Rafie, A. (2020). Extending the shelf life of pomegranate (*Punica granatum* L.) by GABA coating application. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14, 2760-2772. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00521-1>
- Ocampo, J., Arias, J. y Urrea, R. (2015). Colecta e identificación de genotipos élite de granadilla (*pasiflora ligularis* Juss) en Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 9(1), 9-23. <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2015v9i1.3742>
- Ocampo, L., Urrea, R., Salazar, M. y Wyckhuys, K. (2013). Exploración de la viabilidad genética del maracuyá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener) como base para un programa de fitomejoramiento en Colombia. *Acta Agronómica*, 62(2), 352-360. <https://bit.ly/3ZhadfF>
- Ochoa-Velasco, C. E., García-Vidal, V., Luna-Guevara, J. J., Luna-Guevara, M. L., Hernández-Carranza, P. y Guerrero-Beltrán, J. Á. (2012). Características antioxidantes, fisicoquímicas y microbiológicas de jugo fermentado y sin fermentar de tres variedades de pitahaya (*Hylocereus* spp). *Scientia Agropecuaria*, 3, 279-289.
- Olabinjo, O., Ogunlowo, A., Ajayi, O. y Olalusi, A. (2017). Analysis of Physical and Chemical Composition of Sweet Orange (*Citrus sinensis*) Peels. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 2, 2201-2206. <http://dx.doi.org/10.22161/ijeab/2.4.80>
- Oliveira, A., Barros, C., Silva, E., Henriques, M., Paes, de Barros M., Marinho, M. y Fonseca, O. (2009). Total Phenolic content and free radical scavenging activities of methanolic extract powders of tropical fruits residues. *Food Chemistry*, 115, 469-475. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.12.045>
- Oliveira, R. C., De Barros, S. T. D. y Giménez M. L. (2013). The extraction of passion fruit oil with green solvents. *Journal of Food Engineering*, 117(4), 458-463. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.12.004>
- Ordoñez-Gómez, E. S., Reátegui-Díaz, D. y Villanueva-Tiburcio, J. E. (2018). Polifenoles totales y capacidad antioxidante en cáscara y hojas de doce cítricos. *Scientia Agropecuaria*, 9(1), 113-121. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.01.13>
- Orjuela, N., Campos, S., Sánchez, J., Melgarejo, L. y Hernández, M. (2011). Manual de manejo poscosecha de la gulupa (*passiflora edulis* sims). En *Poscosecha de la gulupa*

- (*Passiflora edulis Sims*) (pp. 7-22). Universidad Nacional de Colombia. <https://bit.ly/3zc1ZYV>
- Orrego, C. E., Salgado, N., Ocampo, J. C., Rodríguez, J., Ortiz, D. L., Rodríguez, Y., Manrique, D., Álvarez, C., Ospina, S. y Ríos, D. C. (2017). *Aprovechamiento de residuos agroindustriales de frutales andinos. Instituto de biotecnología y agroindustria*. Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales.
- Ortiz, M. A. (2019). *Evaluación de un bioplástico a partir de almidón de semillas de mango (mangifera indica) con aplicación potencial en envases*. [Tesis de pregrado. Universidad El Bosque]. Repositorio institucional. <https://repositorio.unbosque.edu.co/handle/20.500.12495/2106>
- Ovando-Martínez, M., López-Teros, V., Tortoledo-Ortiz, O., Astiazarán-García, H., Ayala-Zavala, J., Villegas-Ochoa, M. y González-Aguilar, G. (2018). Effect of ripening on physico-chemical properties and bioactive compounds in papaya pulp, skin, and seeds. *Indian Journal of Natural Products and Resources*, 9(1), 47-59. <https://bit.ly/42ClOpX>
- Oyebola, O., Agboola, O., Olabode, A. y Ayoola, O. (2017). Analysis of physical and chemical composition of sweet orange (citrus sinensis) peels. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 2(4), 2201-2206. <http://dx.doi.org/10.22161/ijeab/2.4.80>
- Palacio-Peláez, A. E. (2017). *Lineamientos y estrategias de articulación de Asohofrucol con la agroindustria en pro del desarrollo Hortifrutícola en Colombia*. Asociación Hortifrutícola de Colombia. <https://bit.ly/3LOoXwO>
- Palma, C., Lloret, L., Puen, A., Tobar, M. y Contreras, E. (2016). Production of carbonaceous material from avocado peel for its application as alternative adsorbent for dyes removal. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 24(4), 521-528. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2015.11.029>
- Parawira, W., Read, J. S., Mattiasson, B. y Björnsson, L. (2008). Energy production from agricultural residues: High methane yields in pilot stage anaerobic digestion. *Biomass and Bioenergy*, 32, 44-50. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2007.06.003>
- Parra, M. P. (2010). *Tamizaje fitoquímico y determinación de la actividad laxante de tallos y semillas de pitaya (Hylocereus triangularis)*. [Tesis de pregrado. Escuela Superior de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. Repositorio institucional. <https://bit.ly/3z6L7TA>
- Partesdel. (14 de abril de 2017). Partes de la fruta. *Portal Educativo Partesdel*. https://www.partesdel.com/parte_de_la_fruta.html

- Partesdel. (15 de septiembre de 2019). Partes de la Piña. *Portal Educativo Partesdel*. https://www.partesdel.com/parte_de_la_pina.html
- Pathak, N., Khan, S., Bhargava, A., Raghuram, G., Jain, D., Panwar, H. y PK, M. (2014). Cancer chemopreventive effects of the flavonoid rich fraction isolated from papaya seeds. *Nutrition and Cancer*, 66(5), 857-871. <https://doi.org/10.1080/01635581.2014.904912>.
- Peñaranda, O. I., Perilla, J. E. y Algecira, N. A. (2008). A review of using organic acids to chemically modify starch. *Revista Ingeniería e Investigación*, 28(3), 47-52.
- Pérez, F. (7 de febrero de 2018). Clasificación de las frutas. *Frutas Pérez Alcalde*. <http://www.frutasperzalcalde.com/clasificacion-de-las-frutas/>
- Pérez, I. D. (2019). Aprovechamiento de residuos de la musa paradisiaca (plátano) para la obtención de envases biodegradables. [Tesis de pregrado. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho, Perú]. Repositorio institucional. <https://repositorio.unjpsc.edu.pe/handle/20.500.14067/3503>
- Pinzón, I. M. P., Fischer, G. y Corredor, G. (2007). Determinación de los estados de madurez del fruto de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims). *Agronomía Colombiana*, 25(1), 83-95. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/14408>
- Pozo, P. (21 de junio de 2011). Clasificación de la fruta. *Agrariamente*. <https://bit.ly/3FLvIeX>
- Prakash, J., Sivakumar, V., Thirugnanasambandham, K. y Sridhar, R. (2014). Microwave assisted extraction of pectin from waste *Citrullus lanatus* fruit rinds. *Carbohydrate Polymers*, 101, 786-791. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.09.062>
- Proaño, J., Rivadeneira, E., Moncayo, P. y Mosquera, E. (2020). Aceite de maracuyá (*Passiflora edulis*): Aprovechamiento de las semillas en productos cosméticos. *Revista Enfoque UTE*, 11(1), 119-129. <https://bit.ly/3LPCfjp>
- Rafiq, S., Kaul, R., Sofi, S. A., Bashir, N., Nazir, F. y Nayik, G. (2018). Citrus peel as a source of functional ingredient: A review. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 17(4), 351-358. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.07.006>
- Rahman, M. (2014). Mechanical properties of foods. Food engineering. *Encyclopedia of life support systems*, vol 1. <http://www.eolss.net/sample-chapters/c10/e5-10-01-04.pdf>
- Raj, D. S. y Vennila, J. J. (2014). Antimicrobial activity of different polarity solvent extracts of *Annonasquamosa* leaves and sedes. *International Journal of Microbiological Research*, 1, 385-388.
- Ranisaharivony, B., Ramanandraibe, V., Rasoanaivo, L., Rakotovao, M. y Lemaire, M. (2015). Separation and potential valorization of chemical constituents of soursop

- seeds. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 4(2 Part. C), 161-171. https://www.phytojournal.com/vol4Issue2/Issue_Jul_2015/4-2-22.1.pdf
- Ranjan, R. y Sahai, M. (2009). Coumarinolignans from the seed of *Annonasquamosa* Linn. *E-Journal of Chemistry*, 6, 518-522.
- Rashid, U., Ibrahim, M., Yasin, S., Yunus, R., Taufiq-Yap, Y. H. y Knothe, G. (2013). Biodiesel from *Citrus reticulata* (mandarin orange) seed oil, a potential non-food feedstock. *Industrial Crops and Products*, 45, 355-359. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.12.039>
- Redagricola. (27 de mayo de 2020). Colombia: exportación hortofrutícola creció 10 % en el 2019. *Perspectivas positivas para el futuro*. <https://bit.ly/3LOqz9Q>
- Rivas, B., Aliakbarian, B., Torre, P., Perego, P., Domínguez, J., Zilli, M. y Converti, A. (2009). Vanillin bioproduction from alkaline hydrolyzate of corn cob by *Escherichia coli* JM109/pBB1. *Enzyme and Microbial Technology*, 44(3), 154-158. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2008.10.003>
- Rodríguez, J. G., Morcuende, D., Andrade, J., Kylli P. y Estévez, M. (2011). Avocado (*Persea americana* Mill.) phenolics in vitro antioxidant and antimicrobial activities, and inhibition of lipid and protein oxidation in porcine patties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(10), 5625-5635. <https://doi.org/10.1021/jf1048832>
- Rodsamran, P. y Sothornvit, R. (2019). Preparation and characterization of pectin fraction from pineapple peel as a natural plasticizer and material for biopolymer film. *Food and Bioprocess Processing*, 118, 198-206. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.09.010>
- Rojas, A. F. (2018). *Introducción al aprovechamiento de residuos*. Primera Edición. Editorial Universidad Nacional de Colombia.
- Rojas, A. F. y Flórez, C. (2019). Valorización de residuos de frutas por combustión y pirólisis. *Revista Politécnica*, 15(28), 42-52. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v15n28a4>
- Rojas, A. F., Flórez, C. y López, D. F. (2019). Prospectivas de aprovechamiento de algunos residuos agroindustriales. *Revista Cubana de química*, 31(1), 31-52. <https://bit.ly/3lDpRSc>
- Rojas-Garbanzo, C., Winter, J., Montero, M. L., Zimmermann, B. F. y Schieber, A. (2019). Characterization of phytochemicals in Costa Rican guava (*Psidium friedrichsthalianum* -Nied.) fruit and stability of main compounds during juice processing - (U)HPLC-DAD-ESI/MS. *Journal of Food Composition and Analysis*, 75, 26-42. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2018.09.012>

- Rojas-González, A. F., Flórez-Montes, C. y López-Rodríguez, D. F. (2019). Prospectivas de aprovechamiento de algunos residuos agroindustriales. *Revista Cubana de Química*, 31(1), 31–52. <https://bit.ly/3JLVbq3>
- Ruales, A.V. (2015). *Evaluación del potencial energético y bioactivo de los residuos generados por la producción y transformación de la uva*. [Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales]. Repositorio institucional. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/54210>
- Sacsa. (21 de agosto de 2015). Tipos de semillas. *Grupo Sacsa*. <https://www.gruposacsa.com.mx/tipos-de-semilla/>
- Sánchez, A., Gutiérrez, L., Vargas, S., Martínez, M., Parada, F. y Narváez, C. (2019). Valorisation of mango peel: Proximate composition, supercritical fluid extraction of carotenoids, and application as an antioxidant additive for an edible oil. *The Journal of Supercritical Fluids*, 152. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2019.104574>
- Sánchez, M. J. (16 de abril de 2016). Propiedades de las cáscaras de frutas. *El Nuevo Diario*. <https://www.elnuevodiario.com.ni/suplementos/ellas/413594-propiedades-cascaras-frutas/>.
- Sandoval, M. D. y Romero, B. A. (2017). *Extracción de compuestos fenólicos a partir de cáscaras de frutos cítricos de Nicaragua para la formulación de resina fenólica*. [Tesis de pregrado. Universidad Nacional de Ingeniería, Managua, Nicaragua]. Repositorio institucional. <https://repositoriosiidca.csuca.org/Record/RepoUNI2834>
- Santarrosa, V. (2013). *Evaluación nutricional comparativa de pitahaya (Hylocereus triangularis) deshidratada en deshidratador de bandejas con la liofilizada*. [Tesis de pregrado Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador]. Repositorio institucional. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/1059872>
- Saval, S. (2012). Aprovechamiento de residuos agroindustriales: pasado, presente y futuro. *Revista BioTecnología*, 16(2), 14-46.
- Schroeder, P., Nascimento, B. P., Romeiro, G. A., Figueiredo, M. K. y Veloso, M. C. (2017). Chemical and physical analysis of the liquid fractions from soursop seed cake obtained using slow pyrolysis conditions. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 124, 161-174. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2017.02.010>.
- Serna, L. y Torres, C. (2015). Potencial agroindustrial de cáscaras de mango (*Mangifera indica*) variedades Keitt y Tommy Atkins. *Acta Agronómica*, 64(2), 110-115. <https://doi.org/10.15446/acag.v64n2.43579>
- Serna, L., Mera, J. y Angulo, J. (2013). Guava *Psidium guajava* seed flour and dry *Aspergillus niger mycelium* as nitrogen sources for the production of biomass and

- antimicrobial compounds produced by *Weissella confusa*. *Electronic Journal of Biotechnology* 16(6), 1-9.
- Shahkoomahally, S., Khadivi, A., Brecht, J. y Sarkhosh, A. (2021). Chemical and physical attributes of fruit juice and peel of pomegranate genotypes grown in Florida, USA. *Food Chemistry*, 342. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128302>
- Shofinita, D., Feng, S. y Langrish, T. A. G. (2015). Comparing yields from the extraction of different citrus peels and spray drying of the extracts. *Advanced Powder Technology*, 26(6), 1633-1638. <https://doi.org/10.1016/j.appt.2015.09.007>.
- Siagropes. (8 de noviembre 2018). Semilla o hueso: ¿es lo mismo?. *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera*.
- 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), 25-35. <https://doi.org/10.21929/abavet2017.71.2>
- Singh, S. y Immanuel, G. (2014). Extraction of antioxidants from fruit peels and its utilization in paneer. *Journal of Food Processing and Technology*, 5, 349. <https://bit.ly/40z50OR>
- Sofi, F. R., Raju, C. V., Lakshmisha, I. P. y Singh, R. R. (2016). Antioxidant and antimicrobial properties of grape and papaya seed extracts and their application on the preservation of Indian mackerel (*Rastrelliger kanagartha*) during ice storage. *Journal of Food Science and Technology*, 53(1), 104-117. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1983-0>
- Solís-Fuentes, J. A., Hernández-Medel, M. R. y Durán-de-Bazúa, M. C. (2011). Soursop (*Annona muricata* L.) Seed, Therapeutic, and Possible food Potential. En V. R. Preedy, R. R. Watson y V. B. Patel (Eds.), *Nuts and seeds in health and disease prevention* (pp. 1045–1052). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818553-7.00002-4>
- Suksomtip, M., Ukrisdawithid, S., Bhusawang, P. y Pongsamart, S. (2010). Phenolic compound content, antioxidant and radicalscavenging properties of methanolic extracts from the seed coat of certain thai tamarind cultivars. *Journal of Food Biochemistry*, 34(5), 916-931. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4514.2009.00323.x>
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (2015). *Disposición Final de Residuos Sólidos - Informe Nacional*. Bogotá D.C.
- Suresh, K., Manoharan, S., Panjamurthy, K. y Kavita, K. (2006). Chemo preventive and antilipidperoxidative efficiency of *Annonasquamosa* bark extract. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 9, 2600-2605.

- Tapia, M., Pérez, B., Cavazos, J. y Mayett, Y. (2013). Obtención de aceite de semilla de mango manila (*mangifera indica L.*) como una alternativa para aprovechar subproductos agroindustriales en regiones tropicales. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 32, 258-266. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14125584009>.
- Tejada-Tovar, C., Villabona-Ortiz, Á y Garcés-Jaraba, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Revista Tecnológica*, 18(34), 109-123. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-77992015000100010
- Tejada, L., Tejada, C., Marimón, W. y Villabona, Á. (2014). Estudio de modificación química y física de biomasa (*citrus sinensis* y *musa paradisiaca*) para la adsorción de metales pesados en solución. *Revista Luna Azul*, 39, 124-142.
- Tenorio-Domínguez, N. (2016). Flavonoides extraídos de la cascara de naranja tangelo (*Citrus reticulata* x *Citrus paradisi*) y su aplicación como antioxidante natural en el aceite vegetal sacha inchi (*Plukenetia volubilis*). *Scientia Agropecuaria*, 7(4), 419-431.
- Tsitsagi, M., Ebralidze, K., Chkhaidze, M., Rubashvili, I. y Tsitsishvili V. (2018). Sequential extraction of bioactive compounds from tangerine (*Citrus Unshiu*) peel. *Annals of Agrarian Science*, 16(2), 236–241. <https://doi.org/10.1016/j.aasci.2018.02.007>.
- Tulcán, Y. A. (2021). *Caracterización fisicoquímica de las semillas de frutas*. [tesis de pregrado. Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales].
- Vargas, M. de L., Figueroa, H., Tamayo, J. A., Toledo, V. M. y Moo, V. M. (2019). Aprovechamiento de cáscaras de frutas: análisis nutricional y compuestos bioactivos. *CIENCIA Ergo Sum*, 26(2), 1-11. <https://doi.org/10.30878/ces.v26n2a6>
- Vásquez, N. (01 de julio de 2009). Frutos y semillas. *Monografías*. <https://bit.ly/3K93vRW>
- Velasco, V. (2020). *Valorización agroindustrial de pigmentos carotenoides extraídos de residuos de papaya (*Carica papaya l.*) y guayaba (*Psidium guajava*) como colorante natural en salchichas Frankfur* [tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional UN. <https://bit.ly/3lKmxou>
- Velásquez, J., Mejía, L. A., Carrasquilla, F., López, R. y Garcés, B. (2007). Obtención de carbón activado a partir de cáscara de coco pretratada con vapor. *Revista Investigaciones Aplicadas* 1(1), 1-5. <https://bit.ly/3FQG8di>
- Vilcanqui, F. (2018). *Propiedades funcionales y fisiológicas de dietas con fibra soluble (Goma de Tara) e insoluble (Hojas de Agave) en ratas holtzman*. [tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional. . <https://bit.ly/3TMSUze>

- Villacís, J., Elst, K., Van, J., Vera, E. y Ruales J. (2020). Valorization of byproducts from tropical fruits: Extraction methodologies, applications, environmental, and economic assessment: A review (Part 1: General overview of the byproducts, traditional biorefinery practices, and possible applications). *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 19, 405-447. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12542>
- Yathish, K. V., Omkaresh, B. R. y Suresh, R. (2013). Biodiesel production from custard apple seed (*annona squamosa*) oil and its characteristics study. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)* 2(5), 31-36. <https://bit.ly/40jj7b9>
- Yepes, S. M., Montoya, L. J. y Orozco, F. (2008). Valorización de residuos agroindustriales – frutas Cáscara aspera, lisa– en Medellín y el sur del Valle de Aburrá, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 61(1), 4422-4431. <https://bit.ly/3ZkepbQ>
- Yinrong, L. y Yeap, F. (1997). Constitution of some chemical components of apple seed. *Food Chemistry*, 61(1/2), 29-33. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(97\)00123-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(97)00123-4)
- Zanin, T. (01 de marzo de 2023). Guanábana: qué es, propiedades, beneficios y cómo consumirla. *Tua Saúde* <https://www.tuasaude.com/es/guanabana/>
- Zhang, W., Zeng, G., Pan, Y., Chen, W., Huang, W., Chen, H. y Li, Y. (2017). Properties of soluble dietary fiber-polysaccharide from papaya peel obtained through alkaline or ultrasound-assisted alkaline extraction. *Carbohydrate Polymers*, 172, 102-112. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.05.030>
- Zola, M., Barranzuela, M., Castillo, D., Correa, E. y Rey, J. (2016). *Estudio experimental de la obtención de biocombustible a partir de cáscara de plátano y su uso en cocinas acondicionadas de la industria chiflera en la ciudad de Piura* [tesis de pregrado, Universidad de Piura]. Repositorio Institucional. <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/2830>

Capítulo 2. Caracterización física de las cáscaras y semillas de frutas

Las frutas experimentan cambios físicos, químicos y organolépticos durante su proceso de maduración, que se ven reflejados inicialmente en la cáscara, luego en la pulpa y finalmente en las semillas. En la mayoría de frutas, principalmente las tropicales, estos cambios continúan después de que la fruta se cosecha (frutas climatéricas). Por ello, se debe hablar de una maduración de la fruta para cosechar y una maduración para ser procesada o consumida. Una vez las frutas son procesadas, es decir, después de pasar por un equipo de lavado y posterior despulpado, donde se retiran las cáscaras y semillas para obtener la preciada pulpa que en la mayoría de casos es la que se comercializa. Desde el mismo momento en que los residuos de las frutas se generan, se inicia un proceso de descomposición o proceso oxidativo, el cual provoca un detrimento de las propiedades físicas, químicas y organolépticas.

Es importante realizar la caracterización física de los residuos del cultivo, del procesamiento de las frutas o de cualquier residuo de origen biomásico, con el propósito de establecer el uso potencial de los residuos agroindustriales. La determinación de las propiedades físicas, químicas y organolépticas son el punto de partida para el desarrollo de nuevos productos y para la recuperación de compuestos con alto valor agregado. Además, el conocimiento de las propiedades físicas de los residuos permite establecer el diseño de los equipos de almacenamiento, transporte y procesamiento.

En este capítulo se presenta la caracterización física de las cáscaras y semillas de algunas frutas, a través de ciertas propiedades físicas. También, se detalla la metodología y los resultados obtenidos para determinar el índice de generación de residuos, tamaño, esfericidad y densidad para las semillas. Para las cáscaras de frutas se describe la metodología y los resultados obtenidos para determinar el índice de generación de residuos, espesor, dureza y color. El tamaño de las semillas se calcula a través de las tres principales dimensiones (largo, ancho y espesor) para identificar el diámetro medio geométrico, el diámetro medio aritmético y el diámetro de Feret. La densidad de las semillas se obtiene para las semillas individuales y para las semillas a granel. Para las

cáscaras y las semillas a granel se establece la densidad por medio de la medida del volumen desplazado a partir del método de Arquímedes.

Caracterización por análisis del índice de generación de residuos de las cáscaras y semillas de frutas

El índice de generación de residuos se define como el porcentaje de residuos que resultan al procesar una materia prima determinada (Flórez, 2017). Para el caso de las frutas, el índice de generación de residuos se puede determinar de dos maneras: como índice de generación para cada tipo de residuo (cáscaras, semillas, pedúnculo, corona, raquis, etc.) o como el índice de generación del conjunto de residuos generados por la fruta. Este índice de generación de residuos se calcula con el fin de conocer la cantidad en masa aproximada que se deriva de un residuo y permite establecer su disponibilidad o cantidad con la que se cuenta para su posible aprovechamiento y valorización. Es decir, si se conoce la producción mensual o anual de una finca, una hacienda, una región, un departamento, un Estado o la producción nacional de una fruta específica, al igual que si se conoce el índice fraccional de generación de un determinado residuo, el producto de estos dos parámetros da como resultado la cantidad en masa del residuo de interés, disponible para ser aprovechada o valorizada. El índice de generación de residuos se calcula por medio de la ecuación:

$$IGR = \frac{\text{Peso del residuo (cáscaras o semillas)}}{\text{Peso de la fruta completa}} \times 100\% \quad (2.1)$$

El índice fraccional de generación de residuos es el mismo índice de generación de residuos, pero no está multiplicado por el cien por ciento. Otro parámetro empleado para medir la producción per cápita de un residuo específico, es la llamada tasa de generación, la cual es empleada para establecer la cantidad en masa de los residuos domiciliarios producidos por una persona (Rojas, 2018). En la tabla 2.1 se presentan los valores del índice de generación de residuos de las cáscaras y semillas de algunas frutas reportados en la literatura. En la tabla también se observa que las cáscaras de frutas presentan un mayor índice de generación de residuos que las semillas.

Tabla 2.1. Índice de generación de residuos de cáscaras y semillas de algunas frutas tomados de la literatura

Fruta	Residuo	IGR (%)	Referencia
Aguacate	Cáscara	8.78 - 14.11	(Ramos <i>et al.</i> , 2021)
	Semilla	15.00 - 16.00	(Dávila <i>et al.</i> , 2017)
Banano	Cáscara	33.26 - 37.06	(Vu <i>et al.</i> , 2016)
Coco	Cáscara	30.00 - 33.00	(Burgos y Jaramillo, 2015; Calderón, 2018)
Granadilla	Cáscara	34.69 - 54.82	(Ocampo <i>et al.</i> , 2015)
	Semilla	5.74 - 6.28	(Ocampo <i>et al.</i> , 2015)
Guanábana	Cáscara	21.50	(Jiménez <i>et al.</i> , 2016)
	Semilla	8.50	(Jiménez <i>et al.</i> , 2016)
Guayaba	Semilla	4.75	(Vega <i>et al.</i> , 2017)
Mango	Cáscara	15.00 - 20.00	(Sánchez <i>et al.</i> , 2019)
	Semilla	16.00	(Kittiphom, 2012)
Maracuyá	Cáscara	57.03 - 63.26	(Ocampo <i>et al.</i> , 2013)
	Semilla	3.30 - 4.42	(Ocampo <i>et al.</i> , 2013)
Melón	Cáscara	30.00 - 45.00	(Álava, 2011)
	Semilla	5.00	(Álava, 2011)
Naranja	Cáscara	45.00	(Bechlin <i>et al.</i> , 2020)
Papaya	Cáscara	10.00 - 20.00	(Zhang <i>et al.</i> , 2017)
	Semilla	10.00 - 20.00	(Velasco, 2020)
Piña	Cáscara	30.00 - 42.00	(Rodsamran y Sothornvit, 2019)
Zapote	Cáscara	26.40 - 32.40	(Alegría <i>et al.</i> , 2007)
	Semilla	14.30 - 15.10	(Alegría <i>et al.</i> , 2007)

Fuente: elaboración propia.

Método de análisis del índice de generación de residuos

Dado que el índice de generación de residuos de una fruta es una relación de masas, es decir, es el cociente entre la masa del residuo, ya sea la cáscara o la semilla, y la masa total de la fruta, es necesario conocer el peso de cada una de las partes que componen la fruta y el peso de la fruta total. Para identificar el índice de generación de residuos se realiza el siguiente procedimiento:

- Limpiar la fruta con agua o alcohol al 60 %.
- Pesar la fruta utilizando una balanza de precisión.

- Retirar la cáscara de la fruta y pesarla.
- Retirar la semilla de la fruta y pesarla (en caso de que la fruta tenga semillas).

Después de conocer los pesos de las cáscaras, semillas y de la fruta completa, se utiliza la ecuación 2.1 para estimar el índice de generación de residuos por separado, de las cáscaras y semillas. El índice de generación de residuos se midió para doce cáscaras que provienen de las frutas: aguacate, banano, coco, granadilla, guanábana, mango, maracuyá, melón, naranja, papaya, piña y zapote. Mientras que el índice de generación de residuos de las semillas se determinó para nueve frutas: aguacate, granadilla, guanábana, guayaba, mango, maracuyá, melón, papaya y zapote.

Para calcular el índice de generación de residuos de las cáscaras en esta investigación se utilizaron cinco aguacates, cinco bananos, dos cocos, cinco granadillas, dos guanábanas, cinco mangos, cinco maracuyás, cuatro melones, cinco naranjas, tres papayas, dos piñas y cinco zapotes. Para el índice de generación de residuos de las semillas se emplearon cinco aguacates, cinco granadillas, dos guanábanas, cinco guayabas, cinco mangos, cinco maracuyás, cuatro melones, tres papayas y cinco zapotes.

Además del índice de generación de residuos de las cáscaras y semillas, se determinó el rango del número de semillas presentes en las frutas analizadas, para lo cual se contabilizaron manualmente las semillas en cada fruta.

Características del índice de generación de residuos de las cáscaras y semillas de frutas

Los resultados del índice de generación de residuos (IGR) para las cáscaras y semillas de frutas utilizadas en esta investigación se presentan en la tabla 2.2. Antes de analizar la información de esta tabla, se aclara que las iniciales N.A. indican que la información no aplica para el estudio por diferentes razones. Por ejemplo, para la guayaba el N.A. señala que a pesar de que esta fruta genera cáscaras como residuos, no se tuvieron en cuenta, dado que la mayoría de las agroindustrias de frutas que procesan guayaba utilizan también sus cáscaras. Para los casos del banano, coco y piña el índice de generación de residuos de semillas no aplica, porque estas frutas no tienen semillas. El índice de generación de residuos de semillas de la naranja no se analizó en este estudio, debido a que su cantidad de semillas es tan pequeña que se consideró despreciable. El índice de generación total de residuos para las frutas analizadas, no se reporta para:

- El coco, porque hace falta tener en cuenta el capacho o estopa.
- La guayaba, dado que las cáscaras en algunas aplicaciones de la fruta sí se consideran como un residuo.

- La naranja, debido a que sus semillas sí son un residuo generado en el procesamiento de esta fruta.
- La piña, porque falta considerar la corona.

En términos generales, en la tabla 2.2 se confirmó lo que se encontró en la tabla 2.1 a partir de los resultados de la literatura, donde el índice de generación de residuos de las cáscaras es mayor al índice de generación de residuos de las semillas de frutas. También se observa que el índice de generación de residuos de cáscaras, para las frutas analizadas en esta investigación, varía entre 11.91 % en las cáscaras de aguacate y 55.61 % en las cáscaras de maracuyá. Además, las tres frutas que reportan los mayores índices de generación de residuos de cáscaras son: maracuyá > granadilla > zapote, con valores mayores al 50 %. Mientras que las frutas que tienen los menores índices de generación de residuos de cáscaras son: guanábana < papaya < mango.

El índice de generación de residuos de semillas se encuentra entre 2.08 % en las semillas de melón y 13.96 % en las semillas de aguacate. En la tabla 2.2 se aprecia que las tres frutas que reportan los mayores índices de generación de residuos de semillas son: aguacate > zapote > guayaba, con valores mayores al 8.50 %. Por su parte, las frutas que tienen los menores índices de generación de residuos de semillas son: melón < maracuyá < guanábana.

El índice de generación total de residuos, que representa la suma de los residuos de cáscaras y semillas, varía entre 22.00 % en la papaya y 62.76 % en la granadilla, como se puede ver en la tabla 2.2. En esta tabla se encuentra que las tres frutas de mayor índice de generación total de residuos, entre las frutas analizadas, son: granadilla > zapote > maracuyá, con valores mayores al 60 % de residuos. Lo anterior indica que solo se aprovecha en su procesamiento y consumo directo para la obtención de pulpa cerca del 40 % de estas frutas. Además, se encuentra que las frutas que tienen los menores índices de generación total de residuos son: guanábana < papaya < mango, con valores inferiores al 24.00 %. Al respecto, se puede afirmar que en estas frutas se generan menos residuos que se deben disponer, tratar, aprovechar o valorizar, por lo cual hay un porcentaje mayor de obtención de pulpa para su comercialización.

En la literatura se encuentra poca información respecto al número de semillas en las frutas. El rango del número de semillas encontradas para cada tipo de fruta y los pocos valores del número de semillas reportados en la literatura, se presentan en la tabla 2.3. De acuerdo con la tabla, dentro de las nueve frutas analizadas, la papaya, el melón y la guayaba tienen el mayor número de semillas, con valores desde 300 semillas

en la guayaba, hasta 1084 semillas en la papaya. También, se aprecia que los valores encontrados en este trabajo están dentro del rango o valores reportados en la literatura.

Tabla 2.2. Índice de generación de residuos de cáscaras y semillas de algunas frutas

Residuo	IGR cáscaras (%)	IGR semillas (%)	IGR total (%)
Aguacate	11.91	13.96	25.87
Banano	42.01	N.A.	42.01
Coco	21.99	N.A.	N.A.
Granadilla	55.46	7.30	62.76
Guanábana	13.38	5.79	19.17
Guayaba	N.A.	8.70	N.A.
Mango	17.23	6.58	23.81
Maracuyá	55.61	4.62	60.23
Melón	30.80	2.08	32.88
Naranja	24.66	N.A.	N.A.
Papaya	14.90	7.10	22.00
Piña	20.33	N.A.	N.A.
Zapote	51.87	10.53	62.40

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2.3. Número de semillas en algunas frutas

Semillas de	No. de semillas en esta investigación	No. de semillas en la literatura	Referencias
Aguacate	1	-----	-----
Granadilla	226 - 336	262 - 346	(Arias <i>et al.</i> , 2015)
Guanábana	153 - 285	170	(Gavamukulya <i>et al.</i> , 2017)
Guayaba	299 - 475	213 - 399	(Vega <i>et al.</i> , 2017)
Mango	1	-----	-----
Maracuyá	189 - 381	300	(Arias <i>et al.</i> , 2014)
Melón	439 - 673	-----	-----
Papaya	772 - 1084	-----	-----
Zapote	4 - 6	4	(García <i>et al.</i> , 2008)

Fuente: modificado de Tulcán (2021).

Caracterización por análisis de tamaño y forma de las semillas y espesor de las cáscaras de frutas

La caracterización del tamaño, forma y espesor de las cáscaras y semillas de frutas son parámetros empleados para el diseño de equipos de despulpado, al igual que para el secado, almacenamiento, transporte, disposición y aprovechamiento de los residuos. El tamaño de las semillas se estima por medio de la medición de tres dimensiones o longitudes ortogonales (largo, ancho y grosor o espesor); mientras que el tamaño de las cáscaras se mide a partir de una sola dimensión (grosor o espesor) (Tchobanoglous *et al.*, 1994; Rojas, 2018).

El tamaño de una semilla se cuantifica usando el diámetro, que se puede calcular de diferentes maneras como: diámetro equivalente, diámetro medio aritmético, diámetro medio geométrico, diámetro de Feret y diámetro de Martín. Entre los tipos de diámetros equivalentes están: diámetro equivalente a una esfera con el mismo volumen de la partícula irregular, diámetro de una esfera de volumen equivalente, diámetro de una esfera de superficie equivalente, diámetro equivalente volumen - superficie, diámetro de una esfera de área proyectada equivalente, diámetro de una esfera de perímetro equivalente, diámetro de una esfera de velocidad terminal equivalente y diámetro de tamiz (Rodríguez, 2017).

La forma se puede determinar mediante la cuantificación de la esfericidad, circularidad, convexidad, alargamiento, cubicidad, entre otras (Souza *et al.*, 2009; Rosello *et al.*, 2017). Se ha encontrado que el tamaño y la forma de las semillas, al igual que el espesor de las cáscaras, dependen del contenido de agua, grado de maduración y variedad de la fruta (Doria, 2010).

Se denomina diámetro equivalente al diámetro de una esfera que tiene las mismas propiedades geométricas de la partícula que se analiza (Rodríguez, 2017; Rosello *et al.*, 2017). Mientras que el diámetro medio aritmético se define como el promedio aritmético de las tres dimensiones principales de la partícula, como se muestra en la ecuación 2.2; y el diámetro medio geométrico se obtiene como la raíz cúbica del producto de las tres dimensiones principales de la partícula, como se muestra en la ecuación 2.3 (Rojas, 2010).

$$D_{ma} = \frac{l a e}{3} \quad (2.2)$$

$$D_{mg} = \sqrt[3]{l a e} \quad (2.3)$$

Donde D_{ma} es el diámetro medio aritmético, D_{mg} es diámetro medio geométrico, l es el largo, a el ancho y e es el espesor.

El diámetro de Feret (D_F) se establece como la mayor dimensión registrada en la partícula, que se determina entre dos líneas paralelas trazadas en forma tangente sobre la proyección de la partícula (Castillo, 2010; Rosello *et al.*, 2017). Por su parte, el diámetro de Martín está dado por la longitud de la línea que biseca o divide a la mitad el área proyectada de la partícula (Rosello *et al.*, 2017). En la literatura se han reportado los diámetros medio geométrico y de Feret para las semillas de guanábana ($D_F = 0.94$ cm, $D_{mg} = 1.58$ cm) (Nonalaya y Marcañaupa, 2017), semillas de mango ($D_F = 2.68$ cm, $D_{mg} = 5.50$ cm) (Kittiphoom, 2012) y semillas de melón ($D_F = 0.28$ cm, $D_{mg} = 0.75$ cm) (Mansouri *et al.*, 2017).

La forma de una partícula representa su geometría tridimensional, la cual puede tener, en términos generales, una forma cúbica o esférica. La forma esférica de una partícula se describe por medio de la llamada esfericidad (φ), que indica qué tan cercana o lejana está la forma de una partícula irregular ($\varphi < 1$) de una esfera regular ($\varphi = 1$) (Grace y Ebneyamini, 2021). El conocimiento de la esfericidad permite establecer la facilidad que presentan las semillas para rodar sobre superficies planas, y es empleada para diseñar equipos de almacenamiento, como tolvas, y para la aplicación el lechos empacados (Ixtaina, 2010). La esfericidad es independiente del tamaño de la partícula y es una cantidad adimensional (Souza *et al.*, 2009), y viene dada por las ecuaciones 2.4, 2.5 y 2.6 (Rojas, 2010; Ixtaina, 2010; Rodríguez, 2017), así:

$$\varphi = \frac{\text{área superf. de una esfera con igual vol. que la partícula}}{\text{área superf. de la partícula}} \quad (2.4)$$

$$\varphi = \frac{D_{ma}}{l} \quad (2.5)$$

$$\varphi = \frac{D_{mg}}{l} \quad (2.6)$$

La ecuación 2.4 es la definición general de esfericidad; en la ecuación 2.5 la esfericidad está definida por medio del diámetro medio aritmético; mientras que en la ecuación 2.6 la esfericidad está dada a través del diámetro medio geométrico (Rodríguez, 2017; Rosello *et al.*, 2017). Se han reportado valores de esfericidad de 0.60 para las semillas de guanábana (Nonalaya y Marcañaupa, 2017), 0.43 para las semillas de mango (Ortega *et al.*, 2017) y 0.38 para las semillas de melón (Mansouri *et al.*, 2017).

El grosor o espesor de una partícula u objeto, como las cáscaras de frutas, se define como la propiedad física constituida por una sola dimensión, dada por la longitud más pequeña en un cuerpo tridimensional (Tirira y Castro, 2014). El espesor de las cáscaras de frutas depende del estado de maduración (a mayor maduración menor espesor de la cáscara de la fruta), de las condiciones ambientales y del manejo agronómico que se dé al cultivo (Pinzón *et al.*, 2007).

Método de análisis de tamaño, espesor y forma de las cáscaras y semillas

En esta investigación se determinó el tamaño de nueve semillas, que provienen de las frutas: aguacate, granadilla, guanábana, guayaba, mango, maracuyá, melón, papaya y zapote. Para establecer el tamaño de las semillas se realizó el cálculo del diámetro medio aritmético, diámetro medio geométrico y diámetro de Feret. Los dos primeros están en función del largo (l), el ancho (a) y el espesor (e), como se indica en las ecuaciones 2.2 y 2.3. Estas dimensiones se miden empleando un calibrador pie de rey marca Discover de 150 mm de longitud. El diámetro de Feret se establece como la mayor longitud encontrada en las semillas, lo cual equivale al largo (l) de la semillas. Las dimensiones se estimaron para cinco semillas, tomadas al azar, de cada una de las frutas estudiadas. La esfericidad de las semillas se calculó por medio de las ecuaciones 2.5 y 2.6, a partir de la información obtenida al medir con el calibrador el tamaño de cinco semillas al azar para cada fruta.

El espesor de las cáscaras de frutas se midió para doce frutas diferentes. Las frutas empleadas en esta investigación para determinar su espesor son: aguacate, banano, coco, granadilla, guanábana, mango, maracuyá, melón, naranja, papaya, piña y zapote. Para la medición del espesor de las cáscaras se utilizó el mismo calibrador pie de rey empleado en la medición de las dimensiones de las semillas de frutas. Es importante precisar, que aquí se consideró como cáscara la suma del flavedo y el albedo, que es el residuo que se obtiene en el procesamiento de las frutas.

Características de tamaño, espesor y forma de las cáscaras y semillas de frutas

Las tres dimensiones principales (largo, ancho y espesor) de las semillas de las nueve frutas utilizadas en esta investigación, al igual que la cuantificación del tamaño de las semillas por medio del diámetro medio aritmético, diámetro medio geométrico y diámetro de Feret, se presentan en la tabla 2.4. En la tabla se registra que las semillas de mango tienen la mayor longitud y ancho de las semillas analizadas; mientras que el mayor espesor lo reportan las semillas de aguacate. Las semillas de guayaba son las

más pequeñas de las nueve semillas analizadas. En cuanto al tamaño de las semillas respecto a los diámetros equivalentes (medio aritmético, medio geométrico y Feret), la tabla muestra que las semillas de mango cuentan con los mayores valores de diámetro medio aritmético, diámetro medio geométrico y diámetro de Feret, seguidas por las semillas de aguacate y zapote.

Tabla 2.4. Dimensiones y tamaño de las semillas de algunas frutas

Semilla de	Largo l (cm)	Ancho a (cm)	Espesor e (cm)	D_{ma} (cm)	D_{mg} (cm)	D_F (cm)
Aguacate	3.38	2.98	2.84	3.07	3.06	3.38
Granadilla	0.69	0.42	0.20	0.44	0.39	0.69
Guanábana	1.80	1.19	0.61	1.20	1.09	1.80
Guayaba	0.45	0.34	0.19	0.33	0.31	0.45
Mango	8.55	4.45	1.97	4.99	4.21	8.55
Maracuyá	0.60	0.47	0.20	0.42	0.38	0.60
Melón	0.97	0.41	0.18	0.52	0.41	0.97
Papaya	0.69	0.49	0.49	0.56	0.55	0.69
Zapote	4.56	2.13	1.82	2.84	2.60	4.56

Fuente: modificada de Tulcán (2021)

Tabla 2.5. Esfericidad de las semillas de algunas frutas

Semilla de	Esfericidad Ec. (2.5)	Esfericidad Ec. (2.6)
Aguacate	0.91	0.91
Granadilla	0.63	0.56
Guanábana	0.67	0.61
Guayaba	0.72	0.68
Mango	0.58	0.49
Maracuyá	0.70	0.63
Melón	0.53	0.42
Papaya	0.81	0.80
Zapote	0.62	0.57

Fuente: elaboración propia.

La tabla 2.5 detalla los resultados de la esfericidad de las nueve semillas de frutas, que fueron calculadas en función del diámetro medio aritmético y el diámetro medio geométrico, con las ecuaciones 2.5 y 2.6, respectivamente. Aquí se encuentra que

las semillas con geometría cercana a una esfera regular son las semillas de aguacate y las semillas de papaya, mientras que las semillas con menor esfericidad son las semillas de melón y mango. Al comparar la esfericidad de las semillas, calculada por medio de dichas ecuaciones, se encontró que, en términos generales, los valores de esfericidad obtenidos son similares, excepto para las semillas de melón, mango, granadilla y maracuyá.

Respecto al espesor de las cáscaras, en la tabla 2.6 se presentan los resultados de la medida del espesor de doce cáscaras de frutas y su valor reportado en la literatura. La tabla permite ver que las cáscaras de frutas de mayor espesor son: cáscaras de zapote > cáscaras de granadilla > cáscaras de melón; mientras que las cáscaras con menor espesor son: cáscaras de papaya < cáscaras de mango < cáscaras de guayaba.

Tabla 2.6. Espesor de las cáscaras de algunas frutas

Cáscara de	Espesor medido (cm)	Espesor literatura (cm)	Referencias
Aguacate	0.11 - 0.13	0.08 - 0.30	(Robayo, 2016)
Banano	0.16 - 0.22	0.25	(Martínez y Bermúdez, 2016)
Coco	0.32 - 0.54	0.50	(Toj, 2008)
Granadilla	0.69 - 0.75	0.64	(Aular <i>et al.</i> , 2004)
Guanábana	0.10 - 0.18	0.20 - 0.22	(Nolasco <i>et al.</i> , 2019)
Mango	0.07 - 0.09	0.20 - 0.30	(González <i>et al.</i> , 2016)
Maracuyá	0.43 - 0.67	0.80 - 1.10	(González <i>et al.</i> , 2016)
Melón	0.56 - 1.04	1.60 - 1.80	(Espinosa y Vallejo, 2020)
Naranja	0.33 - 0.41	0.60 - 0.80	(González <i>et al.</i> , 2016)
Papaya	0.06 - 0.10	0.20 - 0.30	(Hazwani <i>et al.</i> , 2017)
Piña	0.25 - 0.39	0.50 - 0.90	(González <i>et al.</i> , 2016)
Zapote	0.72 - 0.82	0.10 - 0.28	(Gaona <i>et al.</i> , 2008)

Fuente: modificada de Jurado (2021).

Al comparar los resultados de espesor de las cáscaras de este trabajo con los reportados en la literatura, se encontró que los espesores medidos en las cáscaras de aguacate y las cáscaras de coco están entre el rango de valores registrados en la literatura; mientras que el espesor de las cáscaras de granadilla y zapote se ubican por encima de sus rangos reportados en la literatura para estas frutas. El resto de las cáscaras de frutas, registran valores inferiores a los reportados en la literatura. Las diferencias quizás se

deben a las distintas condiciones de madurez de las frutas, técnicas de cultivo y tipos de fertilizantes utilizados.

Caracterización por análisis de dureza de las cáscaras de frutas

La dureza, también conocida como firmeza, es la fuerza necesaria para lograr una determinada deformación (perforación, penetración o rompimiento) en la cáscara de la fruta. La magnitud de esta fuerza depende de factores como la fuerza de enlace de las moléculas que constituyen la cáscara, la humedad, el contenido de fibra cruda y el contenido de pectina (Rodríguez, 2017; Torres *et al.*, 2015). La dureza también depende del tamaño celular y la configuración de la pared celular de las cáscaras (Verónica, 2011). Esta propiedad física es empleada para identificar la madurez de la fruta y estimar los índices de recolección del fruto, es decir, la dureza indica la frescura o calidad de la fruta. Además, el conocimiento de la dureza permite realizar el diseño óptimo de los equipos de almacenamiento, transporte (como bandas transportadoras) y transformación (máquinas de despulpado). Algunos ejemplos del valor de dureza en unidades kg/cm^2 , para la cosecha de algunas frutas son: la fresa se cosecha cuando tiene una dureza entre 0.55 y 0.68 kg/cm^2 , la uva entre 0.20 a 1.30 kg/cm^2 , la ciruela entre 3.40 a 4.20 kg/cm^2 y el durazno entre 10.00 a 13.50 kg/cm^2 .

En la literatura no es común hallar valores de dureza de cáscaras de frutas; sin embargo, se encontraron los valores de dureza de algunas cáscaras de frutas en unidades de newton (N). Por ejemplo, la dureza de la cáscara de papaya se encuentra entre 10.00 y 20.00 N (Umaña *et al.*, 2011), para la cáscara de banano está entre 40.00 a 55.00 N (Bugaud *et al.*, 2014), para la cáscara de naranja varía entre 77.00 y 92.00 N (Manjarres *et al.*, 2013), para la cáscara de maracuyá tiene un valor promedio de 97.19 N (Pinzón *et al.*, 2007) y para la cáscara de coco está entre 204.27 y 369.45 N (Terdwongworakul *et al.*, 2010).

Los equipos empleados para determinar la firmeza de una fruta son los llamados esclerómetros, durómetros o penetrómetros. El durómetro o esclerómetro es empleado para medir la firmeza de las frutas y hortalizas a través de la percepción táctil, mientras que el penetrómetro es un instrumento destructivo de la fruta al medir la firmeza perforando la superficie (Valdés, 2019).

Método de análisis de dureza de las cáscaras

La caracterización por análisis de dureza se realizó a las cáscaras de doce frutas. Las frutas aquí utilizadas para medir su dureza fueron: aguacate, banano, coco, granadilla, guanábana, mango, maracuyá, melón, naranja, papaya, piña y zapote. La propiedad de dureza se midió empleando un durómetro o esclerómetro para frutas modelo GY-3, con dos cabezales, uno de 8 mm y el otro de 11 mm. Este equipo tiene dos escalas de medición: una de las escalas mide la dureza en el rango de 0.50 a 12.00 kg/cm², mientras que la otra mide la dureza entre 1.00 y 24.00 kg/cm². El uso de una u otra escala depende del cabezal empleado, es decir, para mediciones de dureza inferiores a 12.00 kg/cm², se utiliza el cabezal con diámetro de 11 mm, y para mediciones entre 12.00 y 24 kg/cm², se usa el cabezal de diámetro de 8 mm.

La caracterización por análisis de dureza se realizó en las cáscaras de doce frutas. Las frutas aquí utilizadas para medir su dureza fueron: aguacate, banano, coco, granadilla, guanábana, mango, maracuyá, melón, naranja, papaya, piña y zapote. La propiedad de dureza se midió empleando un durómetro o esclerómetro para frutas modelo GY-3, con dos cabezales, uno de 8 mm y el otro de 11 mm. Este equipo tiene dos escalas de medición: una de las escalas mide la dureza en el rango de 0.50 a 12.00 kg/cm², mientras que la otra mide la dureza entre 1.00 y 24.00 kg/cm². El uso de una u otra escala depende del cabezal empleado, es decir, para mediciones de dureza inferiores a 12.00 kg/cm², se utiliza el cabezal con diámetro de 11 mm, y para mediciones entre 12.00 y 24 kg/cm², se emplea el cabezal de diámetro de 8 mm.

El proceso de medición de la dureza en las cáscaras de frutas consiste en: ubicar el cabezal de 8 mm en el durómetro y calibrar el equipo manualmente. Después se toma una muestra de la cáscara a analizar entre 2.00 y 7.00 cm y se mide la dureza fijando la cáscara en una almohadilla, con el fin de no afectar la lectura por la superficie de la mesa donde se hará la medición. Si la lectura es mayor a 12.00 kg/cm² se toma el valor como dureza de la fruta, pero si la lectura es menor a 12.00 kg/cm² se cambia de cabezal por el de 11 mm de diámetro, se calibra el instrumento y se mide nuevamente la dureza. En el estudio se determinó la dureza por triplicada para cada una de las cáscaras de las doce frutas.

La lectura en el durómetro se obtiene en unidades de kg/cm²; sin embargo, para comparar con algunos resultados encontrados en la literatura, estas unidades se convierten a Newtons (N). La conversión consiste en multiplicar la medida en kg/cm² por el área del cabezal en cm² y por la gravedad (9.81 m/s²). El área para el cabezal de 8 mm es 0.5027 cm² y para el cabezal de 11 mm es de 0.9503 cm².

Características de dureza de las cáscaras de frutas

Los resultados de la medida de la dureza en las cáscaras de las doce frutas, en unidades de N y kg/cm², se presentan en la tabla 2.7. En esta tabla se observa que no fue posible determinar el valor de la dureza de las cáscaras de coco, cáscaras de mango, cáscaras de maracuyá, cáscaras de melón y cáscaras de naranja, debido a que sobrepasaron la escala del durómetro utilizado, lo cual indica que estas cáscaras tienen una dureza mayor a 24.00 kg/cm² o 118.35 N. Respecto a las otras cáscaras, se observa que las cáscaras de menor dureza son las cáscaras de papaya < cáscaras de banano < cáscaras de aguacate < cáscaras de guanábana, con valores inferiores a 7.95 kg/cm² (74.11 N). Las cáscaras de granadilla, piña y zapote tienen valores similares de dureza, que son cercanos a 20.00 kg/cm² (98.63 N).

Tabla 2.7. Dureza de las cáscaras de algunas frutas

Cáscara de fruta	Dureza medida (kg/cm ²)	Dureza medida (N)
Aguacate	7.53	70.23
Banano	7.50	69.92
Coco	> 24.00	> 118.35
Granadilla	19.63	96.81
Guanábana	7.93	73.96
Mango	> 24.00	> 118.35
Maracuyá	> 24.00	> 118.35
Melón	> 24.00	> 118.35
Naranja	> 24.00	> 118.35
Papaya	5.70	53.14
Piña	20.20	99.61
Zapote	19.27	95.00

Fuente: modificado de Jurado (2021).

Al comparar estos resultados con algunos datos reportados en la literatura, la tabla indica que la cáscara de banano tiene un valor de dureza de 69.92 N, lo que representa una cifra mayor a la reportada en la literatura, que está entre 40.00 y 55.00 N (Bugaud *et al.*, 2014). Respecto a la dureza de las cáscaras de coco, se encontró que es mayor a 118.35 N, lo que concuerda con lo registrado en la literatura, cuyos valores de dureza se ubican entre 204.27 y 369.45 N (Terdwongworakul *et al.*, 2010). Sin embargo, los valores de dureza reportados en la literatura para las cáscaras de naranja (77.00 y 92.00 N) (Manjarres *et al.*, 2013) y las cáscaras de maracuyá con dureza de (97.19 N) (Pinzón

et al., 2007), son inferiores a los valores de dureza encontrados en esta investigación, donde se hallaron valores superiores a 118.35 N. Es probable que la diferencia en los datos se deba a la variedad de las especies de la fruta, el estado de maduración, la técnica de cultivo y al instrumento empleado para la medición (Jurado, 2021).

Caracterización por análisis de color de las cáscaras de frutas

Entre los principales parámetros de calidad de las frutas se encuentran el color de las cáscaras, la dureza, el pH, el peso seco, los sólidos solubles y la acidez titulable (Torres *et al.*, 2013). El color se define como el resultado de la percepción del ojo humano que experimenta estímulos en sus mecanismos nerviosos, debido a la energía luminosa de diferentes longitudes de onda que constituyen el espectro de luz blanca, la cual está conformada por los colores del espectro entre el rojo hasta el violeta. Las ondas luminosas son en sí incoloras, por lo que se considera que el color no existe y que no es una característica del objeto (Stivala *et al.*, 2014). El color o índice de color y su uniformidad en toda la cáscara de la fruta son parámetros empleados para determinar la calidad de las frutas y son usados como indicador de palatabilidad, frescura y valor nutricional (García *et al.*, 2011). El índice de color determina la coloración de la cáscara de la fruta, lo cual permite hacer seguimiento de la evolución de los diferentes estados de desarrollo de la maduración de las frutas (Vignoni *et al.*, 2006; García *et al.*, 2011).

La medición del color se realiza manualmente por personas expertas; sin embargo, el procedimiento está expuesto al error humano. El experto establece el color de la cáscara de la fruta utilizando mínimo cuatro puntos aleatorios alrededor de su región ecuatorial. Aun así, esta metodología muchas veces genera resultados equivocados, debido a que la cuantificación del color no se realiza en el área total de la cáscara. Para eliminar el error humano y aumentar los puntos de medición del color alrededor de toda la fruta, comercialmente se cuenta con equipos llamados colorímetros digitales que permiten definir el color y el estadio de maduración de las frutas (Oliveira *et al.*, 2016).

La coloración de la superficie de la fruta se debe a sustancias fitoquímicas como los carotenoides, que son un conjunto de sustancias responsables de los colores amarillo, naranja, rojo, verde, morado, amarillo verdoso y naranja amarillo, sobre el exocarpo de las frutas. Estas sustancias se producen gracias a los cambios metabólicos o a los mecanismos de respiración de las frutas durante su desarrollo en la planta y, para las frutas climatéricas, durante la etapa de postcosecha (Trimble, 2019).

Método de análisis de color de las cáscaras

El color y el estado de maduración de las frutas se establece a través de tablas reportadas en la literatura para cada fruta. En esta investigación, el análisis se realizó a partir de las cáscaras de doce frutas: aguacate, banano, coco, granadilla, guanábana, mango, maracuyá, melón, naranja, papaya, piña y zapote. El procedimiento para determinar el color y maduración de estas frutas se efectuó de forma visual, a través de la toma de fotos de las cáscaras, para luego compararlas con tablas de color y madurez. Para ello las cáscaras se limpiaron con una toalla de papel impregnada con un poco de alcohol al 60 %, con el fin de retirar la suciedad y grasa externa que pudieran tener adheridas.

Las fotografías fueron tomadas procurando la calidad de la imagen, dado que puede verse afectada por la iluminación del lugar, el color del fondo donde se ubica la cáscara o la fruta (el objeto), el tipo y resolución de la cámara, el ángulo del lente de la cámara respecto al objeto y la distancia entre el lente de la cámara y el objeto. Para esta investigación la fruta se ubicó en una superficie blanca opaca, a una distancia entre 15 y 20 cm del lente de la cámara, la posición aproximada del lente fue perpendicular al objeto, la resolución de la cámara fue la máxima y se aprovechó la intensidad de la luz del lugar.

Para establecer el color y madurez de las frutas se utilizaron las siguientes tablas: para el aguacate hass se reportan cinco etapas de maduración (Solagro, 2020; Hort Innovation, 2018), banano, ocho etapas (Escalante *et al.*, 2013); coco, tres etapas (Siddesha y Niranjana, 2019); granadilla, tres etapas (Dolores *et al.*, 2020); guanábana, tres etapas (Espinosa *et al.*, 2013); mango, cinco etapas (Báez *et al.*, 201); maracuyá, seis etapas (Rivadeneira, 2009; Pereira *et al.*, 2015); melón, cuatro etapas (Peñuela, 2004); naranja, tres etapas (Sirisathitkul *et al.*, 2006); papaya, seis etapas (Basulto *et al.*, 2009); piña, cinco etapas (González, 2019); y zapote, tres etapas (Alegría *et al.*, 2007).

Características de color de las cáscaras de frutas

Los resultados de color o coloración de las cáscaras de las doce frutas analizadas y su estado de maduración en el que se encontraban las frutas al momento de ser procesadas, se presentan en la tabla 2.8. En la tabla se observa que las frutas al momento de ser procesadas se encontraban entre la penúltima y última etapa de maduración, es decir, las frutas estaban maduras y con una calidad óptima para su consumo. Lo anterior indica que las frutas se consumieron en el momento adecuado antes de comenzar su deterioro, donde ocurre la liberación de la enzima polifenol oxidasa, que genera la oxidación y polimerización de fenoles y la descomposición de vitaminas, proteínas y carbohidratos en la cáscara y la fruta en general (Jiménez *et al.*, 2017). En la literatura

se encontró que estas frutas son climatéricas, es decir, que continúan su desarrollo de maduración después de ser cosechadas (Quintero *et al.*, 2013).

Tabla 2.8. Color y estado de maduración de las cáscaras de algunas frutas

Cáscara de	Coloración de la cáscara	Estado de maduración
Aguacate	Verde oscuro	Etapas 4
Banano	Amarillo con segmentos cafés	Etapas 5
Coco	Marrón	Etapas 3
Granadilla	Amarillo - naranja	Etapas 3
Guanábana	Verde - amarillo	Etapas 3
Mango	Rojizo	Etapas 5
Maracuyá	Amarillo	Etapas 5
Melón	Verde - amarillo	Etapas 3
Naranja	Amarillo - verde	Etapas 3
Papaya	Amarillo - naranja	Etapas 6
Piña	Amarillo - naranja	Etapas 4
Zapote	Verde - amarillo	Etapas 3

Fuente: modificado de Jurado (2021).

Caracterización por análisis de densidad de las cáscaras y semillas de frutas

La densidad es una propiedad física de la materia, mediante la cual se mide la cantidad de masa presente en un determinado volumen de una sustancia, material (residuo) u objeto. La caracterización de un material, como los residuos de frutas (semillas y cáscaras), por análisis de densidad, consiste en la cuantificación de diferentes parámetros como: la masa de las semillas individuales o masa de partícula, masa a granel de las semillas, masa de las cáscaras, volumen de las semillas individuales o volumen de partícula, volumen a granel, densidad de partícula, densidad a granel y densidad de las cáscaras.

El conocimiento de las masas de las semillas, la masa de partícula, la masa a granel y la masa de las cáscaras de frutas, es de gran importancia para el diseño y selección de equipos y contenedores de almacenamiento, transporte, disposición, tratamiento, aprovechamiento y valorización (Ixtaina, 2010; Cerón *et al.*, 2015). Con el conocimiento de la masa y el volumen, se pueden establecer el índice de generación de residuos y el valor de la densidad, que son parámetros que van a permitir establecer la disponibi-

lidad de recursos con los que se cuenta para el aprovechamiento y la capacidad de los equipos que se requieren.

En la literatura se han encontrado valores de peso de semillas individuales de algunas frutas como la semilla del mango, con valores entre 10.90 y 24.86 g (Ortega *et al.*, 2017); la semilla de guanábana, con un peso aproximado a 0.34 g (Nonalaya y Marcañaupa, 2017); la semilla de papaya, que pesa alrededor de 0.19 g; y las semillas de melón, granadilla y maracuyá con valores de 0.05 g (Mansouri *et al.*, 2017), 0.03 g (Arias *et al.*, 2015) y 0.02 g (Arias *et al.*, 2014), respectivamente.

Respecto al volumen equivalente de las partículas individuales de las semillas (V_p), de acuerdo con Ixtaina (2010), se ha encontrado que se puede calcular a partir del diámetro medio geométrico (D_{mg}), a través de la ecuación del cálculo del volumen de una esfera, así:

$$V_p = \frac{\pi D_{mg}^3}{6} \quad (2.7)$$

Conociendo la masa de las semillas individuales, la masa a granel de las semillas, la masa de las cáscaras, el volumen de las semillas individuales, el volumen a granel de las semillas y el volumen de las cáscaras, se pueden calcular la densidad de partícula, la densidad a granel de las semillas y la densidad de las cáscaras de frutas (Rojas, 2010). Ixtaina (2010) señala que la densidad de partícula (ρ_p) se obtiene por la relación entre la masa de partícula de cada semilla (V_p) y el volumen de partícula de cada semilla, (m_p) obtenido por medio de la ecuación 2.8, así:

$$\rho_p = \frac{m_p}{V_p} \quad (2.8)$$

La densidad a granel de las semillas (ρ_{gr}), que también se conoce como densidad volumétrica, se calcula por medio de la relación entre la masa de un conjunto de semillas (masa a granel - m_{gr}) y su volumen ocupado (volumen a granel - V_{gr}) (Ordoñez *et al.*, 2012). La ecuación 2.9 da cuenta de esto:

$$\rho_{gr} = \frac{m_{gr}}{V_{gr}} \quad (2.9)$$

La densidad de las cáscaras de frutas (ρ_c) depende de su textura, debido a que durante el proceso de maduración (frutas climatéricas) las cáscaras experimentan ablandamiento, pierden humedad y reducen su firmeza. Jurado (2021) indica que este

parámetro se calcula mediante la relación entre la masa de las cáscaras de una fruta (m_c) y su volumen (volumen de las cáscaras - V_c), tal y como aparece en la ecuación 2.10:

$$\rho_c = \frac{m_c}{V_c} \quad (2.10)$$

En la literatura se han reportado valores de densidad de las cáscaras de algunas frutas. Por ejemplo, la densidad de las cáscaras de mango está en el rango de 1.95 a 2.20 g/cm³ (González *et al.*, 2016) y la densidad de las cáscaras de maracuyá entre 1.09 y 1.18 g/cm³ (González *et al.*, 2016). También se ha encontrado que las densidades de las cáscaras de banano (Dormond *et al.*, 2011) y coco (Singh *et al.*, 2021) son iguales, con valores de densidad de 1.13 g/cm³; mientras que para las cáscaras de zapote tienen un valor de densidad de 1.12 g/cm³ (Athmaselvi *et al.*, 2013), al igual que las cáscaras de papaya (Athmaselvi *et al.*, 2013); las cáscaras de aguacate tienen una densidad de 1.04 g/cm³ (Clark *et al.*, 2007); en tanto que, las cáscaras de naranja y las cáscaras de piña cuentan con densidades inferiores a 1.00 g/cm³, con valores de 0.77 a 0.89 g/cm³ (Chafer *et al.*, 2001; Pathak *et al.*, 2017) y 0.70 a 0.72 g/cm³ (González *et al.*, 2016), respectivamente.

Método de análisis de densidad de las cáscaras y semillas

El análisis de densidad de las semillas se realizó en nueve frutas diferentes: aguacate, guanábana, granadilla, guayaba, mango, maracuyá, melón, papaya y zapote. El análisis de densidad se dividió en dos: para semillas individuales y para las semillas a granel. En el análisis de densidad de las semillas individuales se tomaron cinco semillas al azar de cada fruta, que posteriormente se pesaron en una balanza analítica KERN modelo 200-4C, cuya capacidad máxima de pesado es de 220 g y tiene una resolución de 0.1 mg. El volumen de cada una de las semilla se determinó por medio de la ecuación 2.7 y la densidad de partícula se calculó empleando la ecuación 2.8.

Para el análisis de densidad a granel de las semillas de cada fruta (ρ_{gr}), se procedió a retirar y pesar las semillas en la balanza analítica (m_{gr}). Posteriormente, se determinó el volumen de las semillas (V_d), por medio del método de volumen desplazado de Arquímedes (Melo *et al.*, 2016). Este método consiste en llenar una probeta de 250 mL con 50 mL de agua destilada, después se introducen las semillas que previamente se habían pesado y se registra el volumen de agua desplazada. Este procedimiento se realizó con cinco unidades de cada una de las nueve frutas analizadas. La densidad a granel se determina empleando la siguiente ecuación 2.11:

$$\rho_{gr} = \frac{m_{gr}}{V_d} \quad (2.11)$$

El análisis de densidad de las cáscaras se realizó en doce frutas diferentes: aguacate, banano, coco, granadilla, guanábana, mango, maracuyá, melón, naranja, papaya, piña y zapote. El procedimiento para determinar la densidad de las cáscaras (ρ_c) consiste en: retirar inicialmente toda la cáscara de la fruta, después se pesó toda la cáscara en la balanza analítica (m_c) y se calcula el volumen de la cáscara, por medio del método de volumen desplazado de Arquímedes que se explicó anteriormente (Melo *et al.*, 2016). El procedimiento se realizó con las cáscaras de cinco unidades de cada una de las doce frutas analizadas. Con la masa (m_c) y el volumen desplazado por las cáscaras V_{dc} , se determinó la densidad de la cáscara (ρ_c) por medio de la ecuación 2.12:

$$\rho_c = \frac{m_c}{V_{dc}} \quad (2.12)$$

Características de densidad de las cáscaras y semillas de frutas

Los resultados de masa, volumen y densidad de partícula de las semillas individuales de nueve frutas se presentan en la tabla 2.9. En la tabla se observa que las semillas con mayor peso y volumen fueron: las semillas de mango > semillas de aguacate > semillas de zapote; por otro lado, las semillas de menor peso fueron: semillas de guayaba < semillas de maracuyá < semillas de melón. Respecto al volumen, las semillas de guayaba registraron el menor volumen de las semillas analizadas, seguidas por las semillas de granadilla, maracuyá y melón que reportaron aproximadamente el mismo volumen. En cuanto a la densidad de partícula, las semillas de granadilla registraron el mayor valor de este parámetro, seguidas por las semillas de zapote y las semillas de papaya; mientras que los valores más bajos de densidad de partícula se encontraron en las semillas de mango, guayaba y maracuyá.

Al comparar los datos de masa de las semillas individuales encontrados en este trabajo, con los reportados en la literatura, se identificó que la masa individual de las semillas de granadilla, semillas de guanábana, semillas de mango y semillas maracuyá medidas en esta investigación son mayores a las cifras reportadas en la literatura para estas semillas (Arias *et al.*, 2014, 2015; Nonalaya y Marcañaupa, 2017; Ortega *et al.*, 2017). Por su parte, las masas individuales medidas para las semillas de melón y las

semillas de papaya muestran valores inferiores a los reportados en la literatura (Mansouri *et al.*, 2017).

Tabla 2.9. Masa, volumen y densidad de partícula para las semillas de algunas frutas

Semilla	Peso de semilla individual (g)	Volumen de partícula (cm ³)	Densidad de partícula (g/cm ³)
Aguacate	17.03 - 27.80	6.04 - 30.11	0.92 - 1.16
Granadilla	0.04 - 0.05	0.03 - 0.04	1.26 - 1.51
Guanábana	0.62 - 0.73	0.61 - 0.72	0.97 - 1.05
Guayaba	0.01 - 0.02	0.01 - 0.02	0.85 - 1.33
Mango	30.14 - 36.23	34.16 - 48.99	0.70 - 0.89
Maracuyá	0.02 - 0.03	0.03 - 0.04	0.86 - 1.05
Melón	0.03 - 0.04	0.03 - 0.04	0.90 - 1.13
Papaya	0.08 - 0.12	0.05 - 0.12	0.93 - 1.27
Zapote	9.38 - 10.43	7.89 - 1.74	0.96 - 1.32

Fuente: modificado de Tulcán (2021).

Tabla 2.10. Masa, volumen y densidad a granel para las semillas de algunas frutas

Semilla	Peso a granel de las semillas (g)	Volumen a granel (cm ³)	Densidad a granel (g/cm ³)
Aguacate	7.03 - 27.80	9.00 - 35.00	0.86 - 1.21
Granadilla	9.08 - 14.20	9.00 - 15.00	0.98 - 1.16
Guanábana	97.17 - 163.50	88.00 - 152.00	1.08 - 1.23
Guayaba	6.45 - 17.00	8.00 - 14.00	0.65 - 1.42
Mango	30.14 - 36.26	30.00 - 40.00	0.86 - 1.09
Maracuyá	4.12 - 20.57	3.00 - 8.00	1.14 - 1.37
Melón	16.05 - 21.43	18.00 - 21.00	0.89 - 1.02
Papaya	48.60 - 60.02	43.00 - 62.00	0.93 - 1.13
Zapote	38.62 - 59.49	36.00 - 58.00	1.03 - 1.20

Fuente: modificado de Tulcán (2021).

En la tabla 2.10 se reportan los resultados de masa, volumen y densidad a granel para las semillas de las nueve frutas analizadas. De esta tabla se observa que las frutas con mayor masa a granel de semillas contenidas por fruta son: guanábana > papaya > zapote > mango, con valores superiores a 30.00 g. Estas frutas reportaron el mismo orden en cuanto al volumen a granel de las semillas. Respecto de la densidad a granel,

se aprecia que las semillas de maracuyá cuentan con el valor más alto de este parámetro. Por su parte, las semillas de granadilla, mango, melón, papaya, guanábana y zapote tienen rangos similares de densidad a granel.

Respecto a las cáscaras, en la tabla 2.11 se muestran los resultados de masa, volumen y densidad de las cáscaras de doce frutas. Aquí se observa que las frutas con mayor masa de las cáscaras fueron: zapote > melón > guayaba > coco > naranja > piña, mientras que las frutas con menor masa de cáscaras correspondieron a: aguacate < banano < mango < granadilla. Finalmente, las cáscaras con mayor densidad fueron las de coco, piña y guanábana.

Tabla 2.11. Masa, volumen y densidad de cáscaras de algunas frutas

Cáscara	Masa de las cáscaras (g)	Volumen de las cáscaras (cm ³)	Densidad de las cáscaras (g/cm ³)
Aguacate	2.81 - 3.99	2.00 - 4.00	0.75 - 1.30
Banano	5.79 - 5.57	6.00 - 8.00	0.90 - 1.06
Coco	11.46 - 14.65	10.00 - 12.00	1.16 - 1.23
Granadilla	7.18 - 10.71	6.00 - 12.00	0.88 - 1.22
Guanábana	12.01 - 20.51	12.00 - 20.00	0.94 - 1.33
Mango	4.34 - 14.01	4.00 - 12.00	0.98 - 1.15
Maracuyá	5.55 - 18.39	8.00 - 18.00	0.93 - 1.16
Melón	12.74 - 18.19	14.00 - 19.00	0.92 - 0.97
Naranja	11.57 - 14.92	12.00 - 14.00	0.99 - 1.09
Papaya	5.20 - 11.98	6.00 - 12.00	0.91 - 1.04
Piña	10.79 - 16.69	10.00 - 16.00	1.03 - 1.08
Zapote	24.98 - 29.91	26.00 - 30.00	0.97 - 1.01

Fuente: elaboración propia.

Después de comparar los resultados con los registrados en la literatura, se encontró que la información sobre la densidad de las cáscaras de aguacate y maracuyá, encontrada en esta investigación, tiene de densidad dentro del rango de valores presentados en la literatura, dado que para la cáscara de aguacate se reportó un valor de densidad de 1.04 g/cm³ (Clark *et al.*, 2007) y para la cáscara de maracuyá un rango de densidad entre 1.09 y 1.18 g/cm³ (González *et al.*, 2016). La literatura registró valores de densidad mayores a los obtenidos en este trabajo en las cáscaras de banano, 1.13 g/cm³ (Dormond *et al.*, 2011); mango, entre 1.95 a 2.20 g/cm³ (González *et al.*, 2016); papaya, 1.12 g/cm³ (Athmaselvi *et al.*, 2013); y zapote, 1.12 g/cm³ (Athmaselvi *et al.*, 2013). Por otro lado,

la literatura también presentó valores inferiores a los reportados en la tabla 2.11 en los casos de las cáscaras de coco, 1.13 g/cm^3 (Singh *et al.*, 2021); naranja, entre 0.77 y 0.89 g/cm^3 (Pathak *et al.*, 2017); y piña, entre 0.70 a 0.72 g/cm^3 (González *et al.*, 2016). Como ya se ha mencionado, estas diferencias posiblemente se deben a la forma de cultivo, al estado de maduración de la fruta, al tiempo de cosecha y al tipo de fertilizante empleado.

Finalmente, al comparar los resultados de las densidades de las cáscaras y semillas reportados en las tablas 2.10 y 2.11, se observó que, en términos generales, las cáscaras de frutas presentan en promedio valores de densidad mayores, respecto a los valores promedio de la densidad a granel de las semillas de frutas, para los residuos de frutas analizados en la presente investigación.

Conclusiones

Se encontró que el índice de generación de residuos de cáscaras para las frutas analizadas en este trabajo, varía entre 11.91% en las cáscaras de aguacate y 55.61% en las cáscaras de maracuyá; mientras que, para las semillas, este índice se encuentra entre 2.08% en las semillas de melón y 13.96% en las semillas de aguacate. Lo anterior, indica que las cáscaras de frutas tienen un índice de generación de residuos mayor que el de las semillas, el cual puede alcanzar valores hasta tres veces superiores.

Respecto al tamaño y forma de las semillas, y espesor de las cáscaras de frutas, se encontró que las semillas de mayor tamaño son las procedentes del mango, aguacate y zapote. Además, se halló que las semillas con mayor esfericidad son las semillas de aguacate y papaya, con esfericidades de 0.91 y 0.81 , respectivamente. Por otro lado, sobre el espesor de las cáscaras de frutas, se identificó que aquellas con mayor espesor son las cáscaras de zapote, granadilla y melón, con valores de espesor superiores a 0.60 cm .

Las cáscaras que registraron mayor dureza son las cáscaras provenientes de las frutas: coco, mango, maracuyá, melón y naranja. La dureza de estas cáscaras sobrepasó el límite superior de medida del durómetro utilizado y reportaron una dureza mayor a 24.00 kg/cm^2 o 118.35 N . Mientras que las cáscaras de menor dureza son las cáscaras de papaya, banano, aguacate y guanábana, con valores inferiores a 7.95 kg/cm^2 (74.11 N).

Del análisis de color de las cáscaras de las frutas se encontró que todas, las cáscaras de las frutas en el momento de ser evaluadas estaban entre la penúltima y última etapa de maduración. Por tanto, las frutas fueron consumidas en el momento adecuado y con una calidad óptima para su procesamiento, antes de iniciar su deterioro.

Los mayores valores de densidad de partícula de las semillas individuales se encontraron en las semillas de granadilla, zapote y papaya. Entretanto que los valores más bajos de densidad de partícula de las semillas individuales se observaron en las semillas de mango, guayaba y maracuyá. Por su parte, las cáscaras con mayor densidad fueron las de coco, piña y guanábana. Además, se encontró que las densidades de las cáscaras de frutas son mayores a las densidades a granel de las semillas.

Bibliografía

- Álava, L. (2011). *Elaboración de fruta confitada del epicarpio del melón (casabe) mediante la elaboración de confituras* [tesis de pregrado, Universidad Tecnológica Equinoccial]. Repositorio Institucional. http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/19073/1/5636_1.pdf
- Alegría, J. J., Hoyos, O. L. y Prado, J. A. (2007). Características fisicoquímicas de dos variedades del fruto del zapote (*Matisia cordata*) comercializadas en el departamento del cauca. *Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 5(2), 32-38. <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/670>
- Arias, J., Ocampo, J. y Urrea, R. (2014). La polinización natural en el maracuyá (*Passiflora edulis f. flaviscarpa Degener*) como un servicio reproductivo y ecosistémico. *Agronomía Mesoamericana*, 25(1), 73-83. <https://doi.org/10.15517/am.v25i1.14200>
- Arias, J., Ocampo, L. y Urrea, R. (2015). Colecta e identificación de genotipos élite de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) en Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 9(1), 9-23. <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2015v9i1.3742>
- Athmaselvi, K., Jenney, P., Pavithra, C. y Roy, I. (2013). Physical and biochemical properties of selected tropical fruits. *International Agrophysics*, 28, 383-388, <https://doi.org/10.2478/intag-2014-0028>
- Aular, Y., Rodríguez, Y., Roa, S., Iade, P. y Antolínez, M. (2004). Características del fruto de cuatro pasifloras de la zona andina venezolana. *Revista Bioagro*, 16(2), 137-142. <https://bit.ly/3lLR5Gr>
- Báez, M., Crisosto, G., Contreras, R., Wilkins, K. y Crisosto, C. (2018). *Entendiendo el rol de la madurez fisiológica y las condiciones de envío en la calidad de llegada del Mango*. 1-24. <https://bit.ly/3LS8KGU>
- Basulto, F., Duch, E., Gil, F., Plaza, R., Saavedra, A. y Santamaría, J. (2009). Índices de maduración y vencimiento postcosecha de maradol papaya. *Interciencia*, 34, 583-588. <https://bit.ly/3nnlBXC>

- Bechlin, T., Granella, S., Christ, D., Coelho, S. y Paz, C. (2020). Effects of ozone application and hot-air drying on orange peel: moisture diffusion, oil yield, and antioxidant activity. *Food and Bioproducts Processing*, 123, 80-89. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.06.012>
- Bugaud, C., Ocrisse, G., Salmon, F. y Rinaldo, D. (2014). Bruise susceptibility of banana peel in relation to genotype and post-climacteric storage conditions. *Postharvest Biology and Technology*, 87, 113-119. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.08.009>
- Burgos, G. y Jaramillo, J. (2015). *Aprovechamiento de los residuos de cacao y coco para la obtención de carbón activado, en el Cantón Milagro, Provincia del Guayas*, [tesis de pregrado, Universidad de Guayaquil].
- Calderón, D. (2018). *Análisis técnico-económico del uso de la biomasa generada por la palma de coco (Cocos nucifera) para la reducción del consumo de leña en el municipio de Patulul, Suchitepequez*. [tesis de Maestría, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio Institucional. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/12114/>
- Castillo, C. (2010). *Evaluación del proceso de micronizado en la preparación de concentrados (polvos cosméticos) en la industria cosmética* [tesis de pregrado, Universidad de los Andes]. Repositorio Institucional <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/14604>
- Cerón, A., Latorre, L., Bucheli, M., Osorio, O., Mejía, D. y Garcés, L. (2015). Determinación de constantes de velocidad de rehidratación y cambios sobre algunas propiedades físicas en semillas de arveja (*Pisum sativum* L.). *Revista Lasallista de Investigación*, 12(1), 21-32. <http://www.scielo.org.co/pdf/rlsi/v12n1/v12n1a03.pdf>
- Chafer, M., Gonzalez, M., Ortolá, M., Chiralt, A. y Fito, P. (2001). Kinetics of osmotic dehydration in orange and mandarin peels. *Journal of Food Process Engineering*, 24(4) <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2001.tb00544.x>
- Clark, C., White, A., Jordan, R. y Woolf, A. (2007). Challenges associated with segregation of avocados of differing maturity using density sorting at harvest. *Postharvest Biology and Technology*, 46, 119-127. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.05.010>
- Dávila, J., Rosenberg, M., Castro, E. y Cardona, C. (2017). A model biorefinery for avocado (*Persea americana* mill.) processing. *Bioresource Technology*, 243, 17-29. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.063>
- Dolores, O., Layme, J. y Huaynate, L. (2020). Nonhost status of commercial sweet granadilla (*Passiflora ligularis*) in Peru to *ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) and *anastrepha fraterculus*. *Journal of Economic Entomology*, 20(20), 1-18. <https://doi.org/10.1093/jee/toaa026>

- Doria, J. (2010). Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales*, 31(1). <https://bit.ly/2CH0O9u>
- Dormond, H., Rojas, A., Boschini, C., Mora, G. y Sibaja, G. (2011). Evaluación preliminar de la cáscara de banano maduro como material de ensilaje, en combinación con pasto King Grass (*Pennisetum purpureum*). *Revista de las Sedes Regionales*, 7(23), 17-31. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/intersedes/article/view/974>
- Escalante, P., Ibarra, V., Puente, J., Chávez, A., Ornelas, J., Pérez, J. y Orozco, M. (2013). Optimización de la extracción enzimática de jugo de banano a partir de los cultivares enano gigante, FHIA-17 y FHIA-23. *Revista Universidad y Ciencia*, 29(1), 1-9. <https://doi.org/10.19136/era.a29n1.37>
- Espinosa, I., Ortiz, R., Tovar, B., Mata, M. y Montalvo, E. (2013). Physiological and physicochemical behavior of soursop fruits refrigerated with 1-methylcyclopropene. *Journal of Food Quality*, 36, 10-20. <https://doi.org/10.1111/jfq.12011>
- Espinosa, J. y Vallejo, F. (2020). Variabilidad genética de familias de medios hermanos de melón criollo ecuatoriano *Cucumis melo* var. *dudaim* (L.) Naudin. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 23(2), 1-9. <http://doi.org/10.31910/rudca.v23.n2.2020.1762>
- Flórez, C. (2017). *Caracterización Estructural de Algunos Residuos de la Agroindustria Caldense* [tesis de pregrado, Universidad Nacional de Colombia sede Manizales].. Repositorio Institucional.
- Gaona, A., Tejacal, A., López, A., Andrade, M., Colinas, M. y Villegas, O. (2008). Caracterización de frutos de zapote mamey (*pouteria sapota*) en el suroeste del estado de morelos. *Chapingo Serie Horticultura*, 14(1), 41-47. <https://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=60914105>
- García, Y., García, A., Hernández, A. y Pérez, J. (2011). Estudio de la variación del índice de color durante la conservación de la piña variedad Cayena Lisa a temperatura ambiente. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(4), 12-16. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93222252002>
- Gavamukulya, Y., Wamunyokoli, F. y Shemy, H. (2017). *Annona muricata*: Is the natural therapy to most disease conditions including cancer growing in our backyard? A systematic review of its research history and future prospects. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 10(9), 835-848. <https://doi.org/10.1016/j.apjtm.2017.08.009>
- González, J. (01 de enero de 2019). *El cultivo de la piña*. Agrotendencia. Agrotendencia <https://agrotendencia.tv/agropedia/cultivo-de-la-pina/>

- González, K., Daza, D., Caballero, P. y Martínez, C. (2016). Evaluación de las propiedades físicas y químicas de residuos sólidos orgánicos a emplearse en la elaboración de papel. *Revista Luna Azul*, 43, 499-517. <https://doi.org/10.17151/luaz.2016.43.21>
- Grace, J. y Ebneyamini, A. (2021). Connecting particle sphericity and circularity. *Particology*, 54, 1-4. <https://doi.org/10.1016/j.partic.2020.09.006>
- Hazwani, F., Tajidin, N., Haja, S., Muda, M. y Abdul, N. (2017). Ripening characteristics of vapour heat treated 'Frangi' papaya (*Carica papaya* L. cv. Frangi) as affected by maturity stages and ethylene treatment. *Post Harvest Technology*, 77(2), 372-384. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.105>
- Hort Innovation Avocados Australia Limited. (2018). *Etapas de madurez del aguacate*. <https://bit.ly/3TVLo5l>
- Ixtaina, V. (2010). *Caracterización de la semilla y el aceite de chía (Salvia hispánica L.) obtenido mediante distintos procesos. Aplicación en Tecnología de Alimentos* [tesis doctoral. Universidad Nacional de la Plata, Argentina]. Repositorio Institucional. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/2679>
- Jiménez, J., Balois, R., Alia, I., Juárez, P., Sumaya, M. y Bello, J. (2016). Caracterización del fruto de guanábana (*Annona muricata* L.) en Tepic, Nayarit, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(14), 1261-1270. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263148193003>
- Jiménez, J., Balois, R., Alia, I., Juárez, P., Jiménez, E., Sumaya, M. y Bello, J. (2017). Tópicos del manejo postcosecha del fruto de guanábana (*Annona muricata* L.). *Revista Mexicana de Ciencias agrícolas*, 8(5), 1155-1167. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i5.115>
- Jurado, D. K. (2021). *Caracterización fisicoquímica de las cáscaras de frutas* [tesis de pregrado, Universidad Nacional de Colombia sede Manizales].
- Kittiphoom, S. (2012). Utilization of mango seeds. *International Food Research Journal*, 19(4), 1325-1335. [https://bit.ly/3KaCcH4http://ifrj.upm.edu.my/19%20\(04\)%202012/5%20IFRJ%2019%20\(04\)%202012%20Kittiporn%20\(375\).pdf](https://bit.ly/3KaCcH4http://ifrj.upm.edu.my/19%20(04)%202012/5%20IFRJ%2019%20(04)%202012%20Kittiporn%20(375).pdf)
- Manjarres, K., Cortes, M. y Rodríguez, E. (2013). Effect of drying conditions on the physical properties of impregnate orange peel. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 30(3), 667-676. <https://bit.ly/40DaIzd>
- Mansouri, A., Hossein, A. y Ráufi, A. (2017). Physical properties and mathematical modeling of melon (*Cucumis melo* L.) seeds and kernels. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16(3), 218-226. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2015.07.001>

- Martínez, C. y Bermúdez, T. (2016). Caracterización de algunas propiedades físico- mecánicas y químicas en el banano (*Musa spp.*). *Revista Centro Agrícola*, 43(3), 46-55. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852016000300006
- Melo, L., Sánchez, R., Cañada, F. y Martínez, G. (2016). Dificultades del Aprendizaje sobre el principio de Arquímedes en el contexto de la Flotación. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 38(4), 1-19. <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2016-0077>
- Nolasco, Y., Hernández, L. y Montalvo, E. (2019). Morphological and physicochemical characterization of selected soursop accessions fruits in Nayarit. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 23, 223-237. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i23.2023>
- Nonalaya, K. y Marcañaupa, J. (2017). *Extracción y caracterización fisicoquímica del aceite de semilla de chirimoya (Annona cherimola) y Guanabana (Annona muricata)* [tesis de pregrado, Universidad Nacional del centro del Perú]. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/4375>
- Ocampo, J., Arias, J. y Urrea, R. (2015). Colecta e identificación de genotipos élite de granadilla (*pasiflora ligularis* Juss) en Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 9(1), 9-23. <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2015v9i1.3742>
- Ocampo, L., Urrea, R., Salazar, M. y Wyckhuys, K. (2013). Exploración de la viabilidad genética del maracuyá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener) como base para un programa de fitomejoramiento en Colombia. *Acta Agronómica*, 62(2), 352-360. <https://bit.ly/3ZheAVn>
- Oliveira, T., Sandoval, S. y Jacomino, A. (2016). Measuring color hue in ‘sunrise solo’ papaya using a flatbed scanner. *Revista Bras. Frutic*, 39(2), 1-11. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-29452017911>
- Ordoñez, M., Gely, M. y Pagano, A. (2012). Estudio de las propiedades físicas y de la cinética de secado de granos de maíz colorado duro. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 3(3), 153-171. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4052717>
- Ortega, G., Castro, C., Manobanda, M., Ayón, F. y López P. (2017). Descripción morfológica y organoléptica de frutos de mango (*Mangifera indica* L.) cultivados en el cantón Jipijapa en Ecuador. *J. Selva Andina Research Society*, 8(2), 145-154. <https://bit.ly/3KaNqLD>
- Pathak, P., Mandavgane, S. y Kulkarni, B. (2017). Fruit peel waste: characterization and its potential uses. *Current Science*, 113(3), 444-454. <http://repository.ias.ac.in/111175/1/0444.pdf>
- Peñuela, A. (2004). Melón Variedad Cantaloupe (*Cucumis melo* L.). *Repositorio Digital del Centro Nacional de Investigaciones de Café*. <https://bit.ly/3nlQkUN>

- Pereira, M., Rocha, G., Caliar, M., Sousa, B., Marins, R., Cagnin, C., Lima, M., Moraes, R. y Francisco, R. (2015). Physical and chemical characteristics and instrumental color parameters of passion fruit (*Passiflora edulis* Sims). *African Journal of Agricultural Research*, 10(10), 1119-1126. 10.5897/AJAR2014.9179
- Pinzón, I. M. P., Fischer, G., Corredor, G. (2007). Determinación de los estados de madurez del fruto de la gulupa (*Passiflora Edulis* Sims.). *Agronomía Colombiana*, 25(1), 83-95. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/28507>
- Quintero, V., Giraldo, G., Lucas, J. y Vasco, J. (2013). Caracterización fisicoquímica del mango común (mangifera indica l.) durante su proceso de maduración. *Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(1), 10-18. <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/287>
- Ramos, A., Ornelas, J., Tapia, L., Gardea, A., Ornelas, J., Ruiz, S. y Rios, C. (2021). Effect of cultivar on the content of selected phytochemicals in avocado peels. *Food Research International*, 140, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.110024>
- Rivadeneira, M. (2009). *Extracción de pectina líquida a partir de la cáscara de maracuyá (pasiflora edulis) y su aplicación de un producto de humedad intermedia* [tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Litoral]. Repositorio Institucional. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/11411>
- Robayo, A. (2016). *Caracterización fisicoquímica de diferentes variedades de aguacate, Persea americana Mill (Lauraceae) e implementación de un método de extracción del aceite de aguacate como alternativa de industrialización* [tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/59452>
- Rodríguez, J. (2017). *Características de las partículas sólidas*. Universidad Industrial de Santander. <https://bit.ly/40lgvcN>
- Rodsamran, P. y Sothornvit, P. (2019). Preparation and characterization of pectin fraction from pineapple peel as a natural plasticizer and material for biopolymer film. *Food and Bioproducts Processing*, 118, 198-206. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.09.010>
- Rojas, A. (2010). *Caracterización físico-mecánica de la semilla de vitabosa (Mucuna deeringiana)* [tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín]. Repositorio Institucional UN. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3367>
- Rojas, A. F. (2018). *Introducción al aprovechamiento de residuos*. Editorial Universidad Nacional de Colombia.
- Rosello, R., Pérez, I. y Recarey, C. (2017). Caracterización y evaluación sistemática de empaquetamiento de partículas como conjuntos iniciales para simulaciones con

- elementos discretos. *Revista Cubana de Ingeniería*, 2, 35-46. <https://rci.cujae.edu.cu/index.php/rci/article/view/637/pdf>
- Sánchez, A., Gutiérrez, L., Vargas, S., Martínez, H., Parada, F. y Narváez, C. (2019). Valorisation of mango peel: Proximate composition, supercritical fluid extraction of carotenoids, and application as an antioxidant additive for an edible oil. *The Journal of Supercritical Fluids*, 152, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2019.104574>
- Siddesha, S. y Niranjana, S. (2019). Color and texture in classification of coconut. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8(8), 1745-1750. <https://www.ijitee.org/wp-content/uploads/papers/v8i8/H6837068819.pdf>
- Singh, S., Kaur, P. y Park, J. (2021). From coconut shell biomass to oxygen reduction reaction catalyst: Tuning porosity and nitrogen doping. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 147, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111173>
- Sirisathitkul, Y., Thumpen, N. y Puangtong, W. (2006). Automated chokun orange maturity sorting by color grading. *Walailak Journal Science & Technology*, 3(2), 195-205. <https://wjst.wu.ac.th/index.php/wjst/article/view/137/120>
- Solagro, (2020). *Ficha comercial aguacate Hass*. <https://bit.ly/3TXTafl>
- Souza, T., Lima, O. y Leal, L. (2009). Sphericity of apatite particles determined by gas permeability through packed beds. *Minerals & Metallurgical Processing*, 26(2), 105-108. <https://doi.org/10.1007/BF03403426>
- Stivala, A., Pezzucchi, J. y Anguio, M.B. (2014). *Nociones elementales del color. Propiedades, desaturación y uso simbólico* [sesión de conferencia]. Lenguaje visual anguio 2014 Universidad Nacional de La Plata <https://cosechador.siu.edu.ar/bdu/Record/I19-R120-10915-77857>
- Tchobanoglous, G., Theisen, H. y Vigil, S. (1994). *Gestión integral de residuos sólidos*. McGraw-Hill México.
- Terdwongworakul, A., Jarimopas, B., Chaiyapong, S., Singh, S. y Singh, J. (2010). Determination of Physical, Acoustical, Mechanical, and Chemical Properties of Fresh Young Coconut Fruit for Maturity Separation. *Journal of Testing and Evaluation*, 38(1), 1-8. <http://dx.doi.org/10.1520/JTE102276>
- Tirira, L. y Castro, D. (2014). *Diseño y construcción de una máquina despulpadora de frutas*, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo [tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica De Chimborazo] <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3715>
- To, J. O. (2008). *Caracterización física, mecánica y química de fibras de desecho del fruto del coco, para utilización en matrices fibro-reforzadas* [tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. http://biblioteca.usac.edu.gt/EPS/08/08_8571.pdf

- Torres, J. D., González, K. J. y Acevedo, D. (2015). Análisis del perfil de textura en frutas, productos cárnicos y quesos. *Revista ReCiTeIA*, 14(2), 63-75. <https://revistareciteia.es.tl/v.-14-n.-2.htm>
- Torres, R., Montes, E. J., Pérez, O. A. y Andrade, R. D. (2013). Relación del color y del estado de madurez con las propiedades fisicoquímicas de frutas tropicales. *Revista Información Tecnológica*, 24(3), 51-56. 10.4067/s0718-07642013000300007
- Trimble, S. (2019). Fruit growth & ripening metrics: color, firmness, dry matter, sugars & more. *Felix Instruments Applied Food Science*. <https://bit.ly/3zeBUIY>
- Tulcán, Y. A. (2021). *Caracterización fisicoquímica de las semillas de frutas* [tesis de pregrado, Universidad Nacional de Colombia sede Manizales].
- Umaña, G., Loría, C. y Gómez, J. (2011). Efecto del grado de madurez y las condiciones de almacenamiento sobre las características fisicoquímicas de la papaya híbrido Pococí. *Agronomía Costarricense*, 35(2), 61-73. <http://dx.doi.org/10.15517/rac.v35i2.6679>
- Valdés, Y. E. (2019). *Medición de firmeza en arándanos: validación de instrumentos medidores de firmeza de bajo costo y de la percepción táctil* [tesis de pregrado, Universidad de Talca]. Repositorio Institucional. <http://dspace.otalca.cl/handle/1950/12102>
- Vega, M., Valenzuela, R., Reyes, A., Ibarra, E. y Ruíz, L. (2017). Evaluación de semilla de guayaba (*Psidium guaiava* L.) como alternativa en la nutrición ruminal. *Revista Abanico Veterinario*, 7(1), 26-35. <https://doi.org/10.21929/abavet2017.71.2>
- Velasco, V. A. (2020). *Valorización agroindustrial de pigmentos carotenoides extraídos de residuos de papaya (*Carica papaya* L.) y guayaba (*Psidium guajava*) como colorante natural en salchichas Frankfurt* [tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/78311>
- Verónica, J. (2011). *Determinación de los índices de madurez para la comercialización de durazno (*Prunus Persicae*) variedad conservero amarillo en dos tipos de ambientes para mercados de la zona central del país* [tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/2342/1/Tesis-28agr.pdf>
- Vignoni, L. A., Césari, R. M., Forte, M. y Mirábile, M. L. (2006). Determinación de índice de color en ajo picado. *Información Tecnológica*, 17(6), 63-67. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642006000600011>
- Vu, H. T., Scarlett, C. J. y Vuong, Q. V. (2016). Optimization of ultrasound-assisted extraction conditions for recovery of phenolic compounds and antioxidant capacity

from banana (*Musa cavendish*) peel. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(5), <https://doi.org/10.1111/jfpp.13148>

Zhang, W., Zeng, G., Pan, Y., Chen, W., Huang, W., Chen, H. y Li, Y. (2017). Properties of soluble dietary fiber-polysaccharide from papaya peel obtained through alkaline or ultrasound-assisted alkaline extraction. *Carbohydrate Polymers*, 172, 102-112. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.05.030>

Capítulo 3. Caracterización química de las cáscaras y semillas de frutas – Parte 1

El aprovechamiento y valorización de los residuos de frutas representa un interés especial en la agroindustria de un país como Colombia, debido a la gran cantidad de biomasa que se genera en el cultivo y en los procesos agroindustriales de fabricación de productos como frutas enlatadas, frutas deshidratadas, néctares, jugos, entre otros. El creciente interés por los residuos biomásicos se debe a que generan impactos ambientales negativos, causan gastos de disposición final y provocan enfermedades debido a insectos y roedores que son atraídos por ellos. Para reducir los impactos negativos se requiere investigar y desarrollar alternativas que conduzcan al aprovechamiento y valorización de los residuos de frutas, principalmente las cáscaras y semillas.

La estructuración de nuevas posibilidades de aprovechamiento y valorización de los residuos, requieren la caracterización de la biomasa residual, no solamente a través del análisis y determinación de las propiedades físicas, como se vio en el capítulo anterior, sino también en el cálculo de las propiedades químicas.

La caracterización química de cáscaras y semillas de algunas frutas se presentará en dos capítulos diferentes. El primero, que se desarrollará a continuación, se enfoca en los análisis próximo, elemental y de poder calorífico; mientras que el siguiente (capítulo 4), muestra la caracterización de cáscaras y semillas de algunas frutas, a partir de los análisis de composición estructural, de compuestos bioactivos, de capacidad antioxidante y bromatológico.

A continuación, se explica cómo se desarrolló la caracterización química de cáscaras y semillas de algunas frutas, a través del soporte conceptual, la metodología, los resultados y los análisis de resultados de la caracterización por análisis próximo, análisis elemental y análisis de poder calorífico superior. Con los resultados del análisis próximo se evalúa el índice de combustibilidad, mientras que con el análisis elemental se determinan las relaciones atómicas H/C y O/C. También, se analiza el efecto del contenido de ceniza, materia volátil, carbono fijo, oxígeno elemental, hidrógeno elemental y carbono elemental sobre el índice de combustibilidad y el poder calorífico superior.

De igual manera, se determinan las diferencias en las propiedades químicas entre las cáscaras y las semillas de algunas frutas.

Caracterización por análisis próximo

El análisis próximo o inmediato establece la composición de los residuos en términos del contenido de carbono fijo, materia volátil, cenizas y humedad. Este análisis es más sencillo y económico en comparación con el análisis elemental o último, debido a que no requiere equipos muy especializados, pues solo se necesita de crisoles de porcelana, una mufla, un desecar y una balanza analítica (Rojas, 2018). Los resultados del análisis próximo a menudo son utilizados para obtener correlaciones matemáticas, con el fin de cuantificar el poder calorífico superior (Nhuchhen y Abdul, 2012), el análisis elemental (Shen *et al.*, 2010), el índice de combustibilidad (Wang *et al.*, 2009; Prieto y Chaves, 1998; Urhán, 2000) y las relaciones atómicas del diagrama de Van-Krevelen (Basu, 2010a), de determinados tipos de muestras, ya sea para carbón mineral, polímeros, madera o biomasa en general. A continuación, se realiza una descripción resumida de cada componente del análisis próximo y del índice de combustibilidad.

Humedad, HM.

La humedad es el contenido en porcentaje en peso de agua presente en un residuo. La humedad presente en un residuo se puede encontrar en dos formas: libre o externa y ligada o en equilibrio. La humedad libre se localiza en las paredes celulares de los residuos biomásicos o entre los poros, y entre granos en residuos no biomásicos. Por su parte, la humedad ligada se localiza en el interior de las células o hace parte de la estructura molecular de los residuos. Cabe destacar, que la humedad libre se encuentra en mayor proporción que la ligada y corresponde al agua que se extrae con mayor facilidad en los procesos de secado (Geankoplis, 1998).

Los resultados de los análisis de caracterización inmediata generalmente se reportan con base en la humedad, empleando algunas de estas cuatro bases: como se recibió, seco al aire, libre de humedad y libre de humedad y cenizas. La base como se recibió indica que el residuo no se ha tratado previamente; en base seco al aire el residuo se seca directamente en contacto con el aire, eliminando la humedad libre; mientras que la humedad ligada queda retenida. Además, en la base libre de humedad la composición del residuo se expresa sobre una base totalmente libre de humedad total (libre y ligada); mientras que la base libre de humedad y ceniza indica qué parte del residuo es

realmente combustible y se expresa sobre una base totalmente libre de humedad total y de cenizas (Ruales, 2015).

El aumento del contenido de humedad en un residuo afecta negativamente el poder calorífico, de tal manera que es necesario incrementar el consumo de energía que proviene del residuo para evaporar el agua que se encuentra presente en el residuo (Pérez, 2009). Cuantitativamente, se requieren 2.44 MJ de energía para evaporar un kilogramo de agua. Esta es la energía que se pierde al no utilizar residuos secos, que tienen contenidos energéticos entre 18 y 19 MJ/kg. Se ha encontrado que valores de humedad superiores al 55 % impiden sostener la llama en el interior del quemador sin el apoyo de un combustible auxiliar (Pérez, 2009). Esto quiere decir que, el contenido energético por masa húmeda de residuo se reduce considerablemente en proporción al aumento de la humedad presente en el material. Ante este panorama, se recomienda implementar un sistema de secado de los residuos previo a su aprovechamiento energético (Basu, 2010a). Por tanto, en un proceso de combustión, el aumento en el contenido de humedad tiende a disminuir la energía que puede entregar el residuo. En un sistema de gasificación se alcanzan buenos rendimientos con materias primas de bajo contenido de humedad, ya que aumenta la temperatura alcanzada en la zona de oxidación del gasificador (Basu, 2010b).

Materia Volátil, mv.

Es el contenido en porcentaje en peso del vapor condensable y no condensable (exceptuando la humedad), que se libera cuando un residuo es calentado, en ausencia de aire, a temperaturas superiores a los 200 °C. La materia volátil está constituida por una fracción combustible (C_xH_y gaseoso, CO y H_2) y una fracción no combustible (CO_2 , SO_2 , NO_x , H_2O y SO_3). El porcentaje de materia volátil liberado depende de la velocidad y de la temperatura de calentamiento a las que son sometidos los residuos. Así pues, el análisis se debe realizar a condiciones controladas de temperatura y velocidad de calentamiento (Basu, 2010c).

El porcentaje de materia volátil está directamente relacionado con la temperatura de ignición del residuo. Un alto contenido de materia volátil indica que la ignición del residuo se puede iniciar a temperaturas relativamente bajas (<300 °C), lo que implica una alta reactividad en la combustión. La temperatura de ignición es una propiedad importante para cualquier combustible, dado que la reacción de combustión se hace autosustentable únicamente por encima de esta (García *et al.*, 2012). Los residuos biomásicos se caracterizan por presentar contenidos de materia volátil mayores al 85 % (Basu, 2010a).

Cenizas, CZ.

Es el contenido en porcentaje en peso de la fracción inorgánica sólida, que resulta de la oxidación de la materia mineral al quemar completamente el residuo. La ceniza (CZ) contiene principalmente sílice, aluminio, hierro, calcio y en pequeñas cantidades se puede encontrar magnesio, titanio, sodio y potasio (Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD, 2013). El contenido de cenizas no representa estrictamente la masa de materia mineral inorgánica original del residuo, debido a que la mayoría de sus componentes sufren oxidación durante la combustión. Los residuos con altos contenidos de cenizas no se recomiendan como combustible, debido a que afectan negativamente el poder calorífico y ayudan a la formación de escoria e incrustaciones (cenizas básicas), lo que ocasiona resistencias térmicas al paso del calor o problemas de corrosión (cenizas ácidas) (Demirbas, 2010; Basu, 2010a; Ruales, 2015). Esto conlleva a la necesidad de realizar, con mayor frecuencia, el mantenimiento de los equipos de combustión (Demirbas, 2004).

Carbono fijo, CF.

El carbono fijo representa el contenido en porcentaje en peso de la fracción carbonosa sólida del residuo que hace parte del material sólido poroso (*char* o carbonizado), obtenido después del secado y liberación de la materia volátil. Dado que el carbono fijo (CF) depende de la determinación de la materia volátil (MV), la cual depende de la velocidad de calentamiento, no se determina directamente, sino que se obtiene por diferencia entre 100 % y la suma de la materia volátil, la humedad y las cenizas (Basu, 2010a).

Se ha encontrado que, a mayor proporción de carbono fijo, la liberación de materia volátil tiende a ser más lenta, lo que disminuye la capacidad de uso de los residuos en procesos termoquímicos. En procesos de gasificación, la conversión del carbono fijo en gases determina la tasa de gasificación y su rendimiento, que son parámetros claves para el diseño de los equipos de gasificación. Valores bajos de carbono fijo en procesos de combustión permiten que el encendido o ignición de los residuos se realice a baja temperatura; mientras que valores altos de carbono fijo generan que la combustión del residuo sea más prolongada, además, el residuo va a entregar más energía porque su poder calorífico es mayor (Basu, 2010b). Los residuos biomásicos se caracterizan por presentar contenidos de carbono fijo inferiores al 50 % (Basu, 2010c).

Índice de combustibilidad, IC.

Este índice se define como la relación entre el contenido de materia volátil (MV) y el contenido del carbono fijo (CF) en porcentaje en peso en base seca de un material. Para materiales biomásicos, en general este índice es mayor a 4.0 ($IC > 4.0$) y para el carbón mineral el índice de combustibilidad se encuentra por debajo de 1.0 ($IC < 1.0$). Las diferencias en los valores del índice de combustibilidad indican que la reacción de oxidación de la biomasa se lleva a cabo predominantemente en la fase gaseosa, debido a la oxidación de las especies volátiles. Mientras que la reacción de oxidación del carbón mineral ocurre principalmente en la fase sólida, causada por la oxidación del carbono fijo (Wang *et al.*, 2009). Este índice está dado por:

$$IC = \frac{MV}{CF} \quad (3.1)$$

A través de este parámetro es posible comparar el potencial energético de diferentes materiales, de tal manera que, a mayor índice de combustibilidad, mejor será la combustión. Esto se evidencia en mayor estabilidad de la llama y en bajas temperaturas de ignición del material que se está quemando. Las bajas temperaturas de ignición se deben a que el material tiene mayor contenido de materia volátil, mientras que las altas temperaturas de ignición se presentan por el alto contenido de carbono fijo en la muestra. Además, entre mayor sea este índice la muestra analizada será más reactiva en procesos de combustión (Prieto y Chaves, 1998; Urhán, 2000).

En las tabla 3.1 y 3.2 se presentan el análisis próximo encontrado en la literatura y el índice de combustibilidad de cáscaras y semillas de algunas frutas, respectivamente. El valor del índice de combustibilidad para las cáscaras y semillas de frutas se calculó a partir del análisis próximo reportado en la literatura.

Tabla 3.1. Análisis próximo e índice de combustibilidad en base seca de cáscaras de algunas frutas reportadas en la literatura

Cáscaras de	HM (%)	CZ (%)	MV (%)	CF (%)	IC	Referencias
Aguacate	9.87	3.10	82.00	14.90	5.50	(García <i>et al.</i> , 2012)
Banano	8.53	4.52	73.02	22.47	3.25	(Hussain <i>et al.</i> , 2019)
Coco	9.58	3.45	82.00	14.55	5.64	(Siddiqi <i>et al.</i> , 2020)
	7.82	0.23	87.73	12.04	7.29	(Sarkar y Wang, 2020)
Guayaba	9.80	4.15	85.84	10.01	8.56	(Armas, 2017)

Granada	8.92	3.17	62.54	25.37	2.47	(Siddiqui <i>et al.</i> , 2019)
	8.38	2.51	83.85	13.64	6.15	(Pehlivan y Özbay, 2018)
Limón	6.10	5.40	93.26	1.34	69.60	(Pathak <i>et al.</i> , 2017)
Limón dulce	7.58	4.32	94.12	1.56	60.33	(Pathak <i>et al.</i> , 2017)
Lima	7.58	4.67	93.64	1.69	55.41	(Adeniyi <i>et al.</i> , 2019)
Mandarina	70.19*	2.45	81.45	16.10	5.06	(Gómez y Parra, 2013)
Naranja	9.09	1.75	92.30	5.95	15.51	(Hernández <i>et al.</i> , 2009)
Piña	74.06*	3.18	88.09	8.72	10.10	(Solano y Mendoza, 2014)
	72.11*	3.76	85.98	10.25	8.39	(Sánchez <i>et al.</i> , 2016)
Sandía	14.00	12.00	52.00	36.00	1.44	(Shiung <i>et al.</i> , 2016)
Tamarindo	8.60	2.90	66.80	21.70	3.08	(Kuprianov y Arromdee, 2013)

* Humedad en base como se recibió, los demás valores de humedad están en base seca al aire.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3.2. Análisis próximo e índice de combustibilidad en base seca de semillas de algunas frutas reportadas en la literatura

Semilla de	Ht (%)*	CZ (%)	MV (%)	CF (%)	IC	Referencia
Aguacate	16.70	2.00	72.00	26.00	2.77	(García <i>et al.</i> , 2012)
Árbol del pan	74.82	4.16	80.33	15.50	5.18	(Rojas <i>et al.</i> , 2019)
Durazno	25.63	0.50	75.60	26.90	2.81	(García <i>et al.</i> , 2014)
Granada	78.91	1.93	83.19	14.88	5.59	(Uçar <i>et al.</i> , 2019)
Limón	70.12	2.91	90.98	6.11	14.89	(Hernández <i>et al.</i> , 2009)
Naranja	69.84	3.21	92.83	3.96	23.44	(Hernández <i>et al.</i> , 2009)
Tamarindo	74.02	7.60	78.59	13.81	5.69	(Kumar y Bhattacharya, 2008)

* Humedad total en base como se recibió.

Fuente: elaboración propia.

Método de análisis próximo

Para la determinación de los porcentajes de humedad, materia volátil, cenizas y carbón fijo se utiliza un Analizador Termogravimétrico marca Leco TGA 601, el cual mide la pérdida de peso como función de la temperatura en un ambiente controlado. Este equipo consta de un horno y un chasis electrónico que controla el horno y procesa los datos. El TGA 601 trabaja en un intervalo de temperatura entre los 20 y 1000 °C, con una velocidad de calentamiento de 5 a 40 °C/min y permite analizar hasta diecinueve muestras simultáneamente, con pesos entre 1 y 5 g. El procedimiento de análisis empleado se realizó de acuerdo con la norma ASTM E871; sin embargo, este análisis se puede realizar empleando tan solo crisoles de porcelana, una mufla, un desecar y una balanza analítica (Rojas, 2018), como se muestra en la tabla 3.3. La tabla presenta el tipo de análisis, las condiciones de masa, temperatura, velocidad de calentamiento y tiempo a las que se deben someter las muestras, y las normas ASTM para realizar los análisis próximos, de poder calorífico y elemental. Los procedimientos de análisis se encuentran en las normas ASTM dadas en la tabla. El libro de Rojas (2018) presenta un resumen de estos procedimientos. El lector debe recordar que, para tener una mejor cuantificación del error, los análisis se deben realizar mínimo por triplicado.

Tabla 3.3. Condiciones de operación del análisis próximo, elemental y de poder calorífico

Tipo de análisis	Análisis	Condiciones de operación	Norma
Próximo o inmediato	Humedad	<ul style="list-style-type: none"> Presecado entre 40 y 50 °C, hasta peso constante de 1 g de muestra (alrededor de 72 h). Secado a 105 °C por 24 h de 1 g de muestra. 	ASTM E871
	Materia volátil	<ul style="list-style-type: none"> Un gramo de muestra en un crisol de platino con tapa se calienta a 950 °C por 7 min. 	ASTM E872 ASTM E897
	Ceniza	<ul style="list-style-type: none"> Método sin rampas: 600 °C por 2 horas de 1 g de muestra. Método con rampa: quemado de 1 g de muestra programando la mufla así: <ul style="list-style-type: none"> - Se calienta desde temperatura ambiente hasta 105 °C a 10 °C/min. Se mantiene por 12 min. - Se calienta desde 105 °C hasta 250 °C a 10 °C/min. Se mantiene 30 min. - Se calienta desde 250 °C hasta 575 °C a 10 °C/min. Se mantiene 180 min. - Se enfría desde 575 °C hasta 30 °C a 10 °C/min. 	ASTM E830
	Carbono fijo	Se obtiene por diferencia mediante la Ec. (3.2).	
Poder Calorífico	Poder calorífico superior	Uso de 1 g de muestra con 15 psig de presión de oxígeno.	ASTM D2015-00

Elemental o último	CHN	Uso de 0.1 g de muestra.	ASTM D5373-08
	S	Uso de 0.35 g de muestra.	ASTM D4239
	O	Se obtiene por diferencia de la Ec. (3.10).	

Fuente: elaboración propia.

La determinación del carbono fijo se lleva a cabo mediante la diferencia de cien por ciento y los valores obtenidos experimentalmente de los otros parámetros (HM , MV y CZ). Considerando que para todos los análisis las muestras están húmedas (seca al aire), el contenido de carbono fijo se obtiene mediante la siguiente ecuación (Rojas, 2018):

$$CF = 100\% - HM - MV - CZ \quad (3.2)$$

Donde CF es el porcentaje del carbón fijo, HM porcentaje de humedad, MV porcentaje de materia volátil y CZ es el porcentaje de ceniza.

Tabla 3.4. Ecuaciones empleadas en la determinación del análisis próximo

Ecuación	Ecuación Número	Referencias
$\%MS_{40 \text{ o } 105} = \frac{P_{R \text{ seco}}}{P_R} * 100$	3.3	(Sluiter <i>et al.</i> , 2008)
$\%MS_{40 \text{ o } 105} = \frac{P_{R \text{ seco}}}{P_R} * 100$	3.4	(Rodríguez <i>et al.</i> , 2013)
$\%MS_{Total} = \frac{MS_{40} * MS_{105}}{100}$	3.5	(Rodríguez <i>et al.</i> , 2013)
$\%HM_{Total} = 100 - MS_T$	3.6	(Sluiter <i>et al.</i> , 2008)
$\%CZ = \frac{P_{CZ}}{P_R * \%MS} * 100$	3.7	(Sluiter <i>et al.</i> , 2005)
$\%MV = \frac{(P_R - P_{DV}) - \left(\frac{\%HM_{105} * P_R}{100}\right)}{P_R} * 100$	3.8	(Rodríguez <i>et al.</i> , 2013)
$\%MV = \frac{P_R - P_{DV}}{P_R} * 100$	3.9	(Rodríguez <i>et al.</i> , 2013)

$MS_{40 \text{ o } 105}$: Materia seca a 40 °C o 105 °C, $P_{R \text{ seco}}$: peso del residuo seco, P_R : peso del residuo, HM_{105} : humedad a 105 °C, MS_{total} : materia seca total, HM_{total} : humedad total, CZ : cenizas, P_{CZ} : peso de cenizas, MV : materia volátil, P_{DV} : peso de residuo desvolatilizado, CF : carbono fijo.

Fuente: modificado de Rojas (2017).

Si el análisis próximo se realiza empleando crisoles, horno, desecador y balanza analítica, de acuerdo con el procedimiento mostrado en la tabla 3.3, se deben emplear las ecuaciones que se presentan en la tabla 3.4.

Características inmediatas de las cáscaras y semillas de frutas

En este trabajo se caracterizaron por análisis próximo o inmediato veintiséis cáscaras de frutas. Las cáscaras analizadas fueron de las siguientes frutas: árbol del pan, arazá, auyama, banano, chontaduro, coco, curuba, durazno, granadilla, guanábana, limón, lulo, madroño, mamoncillo, mandarina, mango, mangostino, maracuyá, melón, naranja, papaya, piña, sandía, tomate de árbol, uva y zapote. El análisis próximo en base seca de estas cáscaras de frutas se presenta en la tabla 3.5. En esta tabla se observa que el componente principal de los residuos, sin que experimenten algún pretratamiento, es el contenido de humedad total (Ht). Los residuos también se caracterizan porque tienen un bajo contenido de ceniza (cz), menor al 10 % (exceptuando las cáscaras de banano, sandía y melón), alto contenido de materia volátil (mv), con valores mayores al 70 % y bajos contenidos de carbono fijo, menores al 28 %.

En estos residuos de cáscaras de frutas la humedad total varía entre 54.25 % para la cáscara de coco y 95.57 % para la cáscara de melón. Lo anterior, indica que, si se tiene como objetivo aprovechar estos residuos en la generación de energía por combustión directa, es necesario implementar un equipo de secado para reducir el contenido de humedad por debajo de 10 %. Reducir el contenido de humedad tiene el fin de concentrar la energía presente en los residuos de frutas, sostener la llama en el interior del quemador y evitar el uso de un combustible auxiliar para mantener la combustión (Pérez, 2009). Sin embargo, si el propósito es emplear estos residuos en compostaje o en biodigestores para la producción de biogás, el alto contenido de humedad favorece la degradación de los residuos por la acción de los microorganismos.

En cuanto al contenido de ceniza (CZ), este parámetro varía en base seca (bs) entre 0.65 % en la cáscara de coco y 17.88 % en la cáscara de melón. Para emplear estos residuos en combustión, se recomienda que el contenido de ceniza (en base seca) se encuentre por debajo de 5 %, porque afecta el poder calorífico del material a quemar y puede generar problemas de incrustaciones o de corrosión dentro del equipo de quemado (Demirbas, 2010; Ruales, 2015). De acuerdo con lo anterior, y según la tabla 3.5, las cáscaras de frutas que se pueden emplear para la generación de energía por incineración directa, ordenándolas de menor a mayor contenido de ceniza hasta un

valor máximo de 5, son las cáscaras de: coco, chontaduro, mangostino, arazá, limón, uva, mango, mandarina, curuba, naranja, durazno, madroño, piña y granadilla.

Tabla 3.5. Análisis próximo en base seca e índice de combustibilidad para cáscaras de algunas frutas

Residuo de Fruta	Ht (%)	CZ (%)	MV (%)	CF (%)	IC
Cáscaras del árbol del pan	85.63	8.69	77.55	13.76	5.64
Cáscaras de arazá	92.76	2.23	77.35	20.42	3.79
Cáscaras de auyama	88.05	6.22	84.65	9.13	9.27
Cáscaras de banano	88.87	10.68	75.77	13.55	5.59
Cáscaras de chontaduro	63.24	1.54	93.14	5.32	17.51
Cáscaras de coco	54.25	0.65	77.44	21.91	3.53
Cáscaras de curuba	83.74	4.00	73.85	22.15	3.33
Cáscaras de durazno	87.64	4.23	79.00	16.77	4.71
Cáscaras de granadilla	76.02	4.83	85.20	9.97	8.55
Cáscaras de guanábana	78.12	6.22	73.07	20.71	3.53
Cáscaras de limón	79.34	3.14	83.02	13.84	6.00
Cáscaras de lulo	84.66	6.06	85.63	8.31	10.30
Cáscaras de madroño	83.32	4.75	79.91	15.34	5.21
Cáscaras de mamoncillo	66.99	5.23	77.12	17.65	4.37
Cáscaras de mandarina	74.24	3.62	77.10	19.28	4.00
Cáscaras de mango	73.85	3.29	82.50	14.22	5.80
Cáscaras de mangostino	63.80	1.60	71.39	27.01	2.64
Cáscaras de maracuyá	88.99	8.03	78.25	13.72	5.70
Cáscaras de melón	95.57	17.88	76.11	6.01	12.66
Cáscaras de naranja	71.27	4.06	71.08	24.86	2.86
Cáscaras de papaya	91.34	7.44	80.59	11.97	6.73
Cáscaras de piña	88.57	4.81	81.16	14.03	5.78
Cáscaras de sandía	92.45	15.13	73.28	11.59	6.32
Cáscaras de tomate de árbol	80.41	8.67	78.82	12.51	6.30
Cáscaras de uva	79.19	3.23	84.14	12.64	6.66
Cáscaras de zapote	87.15	9.16	76.48	14.36	5.33

Fuente: elaboración propia.

Respecto al contenido de materia volátil (MV), se encontró que está entre 71.08 % bs en la cáscara de naranja y 93.14 % bs en la cáscara de chontaduro. Como se sabe, un

contenido alto de materia volátil (mayor al 80 %) favorece la ignición del residuo a una temperatura inferior a 300 °C, dándole la característica de ser un material con una alta reactividad durante el proceso de combustión. Como se puede ver en la tabla 3.5, las cáscaras de las frutas con valores de MV superiores a 80 %, en orden ascendente, son: papaya, piña, mango, limón, uva, auyama, granadilla, lulo y chontaduro.

Finalmente, para el carbono fijo (CF), los valores reportados están entre 5.32 % bs en la cáscara de chontaduro y 27.01 % bs en la cáscara de mangostino. Para el uso de residuos en combustión, valores altos de carbono fijo permiten que la combustión sea más prolongada, es decir, no se va a requerir alimentar con más frecuencia residuos para mantener la combustión. Además, valores altos de carbono fijo también indican que los residuos tienen un mayor poder calorífico y van a entregar más energía al quemarlos (Basu, 2010a). Infortunadamente, esto es válido si el contenido de carbono fijo es mayor al 50 %, caso que no se cumple para las cáscaras de frutas aquí analizadas. Sin embargo, para estos residuos biomásicos, las cinco cáscaras de frutas con mayores los valores de carbono fijo aparecen en el siguiente orden de mayor a menor: cáscaras de mangostino > cáscaras de naranja > cáscaras de curuba > cáscaras de coco > cáscaras de guanábana. Considerando los análisis próximos reportados en la literatura para algunos de estos residuos (tabla 3.1) y teniendo en cuenta los resultados de este trabajo en la tabla 3.5, es posible señalar que el análisis próximo de las veintiséis cáscaras de frutas del presente estudio se encuentra dentro de los rangos reportados en la literatura (Rincón y Silva, 2015; Vargas y Pérez, 2018).

Después de analizar el índice de combustibilidad de las cáscaras de frutas, se observó que seis de ellas (cáscaras de las frutas: arazá, coco, curuba, guanábana, mangostino y naranja) de las veintiséis cáscaras analizadas, presentan valores por debajo de 4.0, pero por encima de 2.5, de tal manera que los resultados corresponden a lo reportado por Wang y colaboradores (2009). Las veinte cáscaras de frutas restantes tienen un índice de combustibilidad mayor a 4.0, con un valor máximo de 17.51 % para las cáscaras de chontaduro, seguido por las cáscaras de melón (12.66 %), lulo (10.30 %), auyama (9.27 %) y granadilla (8.55 %). Estos resultados indican que la reacción de oxidación en el proceso de combustión de las veinte cáscaras de frutas ocurre principalmente en la fase gaseosa, debido a la combustión de las especies volátiles presentes en estos residuos. Mientras que para las seis cáscaras de frutas con valores del índice de combustibilidad entre 2.5 y 4.0, las reacciones de oxidación por combustión se llevan a cabo tanto en la fase sólida como en la fase gaseosa (Wang et al., 2009).

En la tabla 3.6 se presentan los resultados del análisis próximo en base seca y el índice de combustibilidad de algunas semillas de frutas. En esta investigación se realizó el análisis próximo a veinticuatro semillas de frutas. Las semillas se obtuvieron de las frutas: arazá, árbol del pan, auyama, chontaduro, curuba, durazno, granadilla, guanábana, guayaba, limón, lulo, madroño, mamoncillo, mandarina, mango, mangostino, maracuyá, melón, naranja, papaya, tomate de árbol, sandía, uva y zapote. En esta tabla se observa que las semillas se caracterizan porque su principal componente, en base seca, es la materia volátil, seguido del carbono fijo. También, se aprecia que la humedad total de las veinticuatro semillas de frutas analizadas varía entre 30.60 %, para las semillas de uva, y 88.07 %, en las semillas de papaya. Los altos porcentajes de humedad de las semillas no permiten que los residuos sean aprovechados para la generación de energía por combustión directa. Sin embargo, si se desean quemar las semillas, estas se deben someter a un proceso de presecado.

Respecto al contenido de cenizas, en la tabla 3.6 se muestra que la ceniza está entre 1.02 % en las semillas de curuba y 7.48 % en las semillas de papaya. Esto indica que no se recomienda utilizar las semillas de papaya en un proceso de combustión por su alto contenido de ceniza, el cual puede generar problemas en el sistema de combustión (Demirbas, 2010; Ruales, 2015). En cuanto al contenido de materia volátil en base seca, se encontró que este parámetro varía entre 76.13 %, para las semillas de curuba, y 92.45 % para las semillas de naranja. Por tanto, si las semillas son presecadas, estas serían una adecuada materia prima para producir energía, dado que su alto contenido de materia volátil permite que este material se encienda fácilmente, pero se recomienda que las semillas se quemen junto con carbón mineral para mejorar el proceso de generación de energía en centrales carboeléctricas (Urhán, 2000). Para el contenido de carbono fijo, se observa en la tabla que, para las veinticuatro semillas analizadas, varía entre 4.29 % en las semillas de naranja y 22.85 % en las semillas de curuba.

Finalmente, se calculó el índice de combustibilidad (IC) por medio de la ecuación 3.1, y se encontró que varía entre 3.33 %, para las semillas de curuba, y 21.55 %, para las semillas de naranja. Estos resultados del índice de combustibilidad concuerdan con lo reportado en la literatura, donde se establece que, en general, el valor del índice de combustibilidad para la biomasa residual es mayor a 4.0 (Wang *et al.*, 2009). Para las semillas solo se presentó un valor por debajo de 4.0, pero cercano a este valor, lo cual indica que, durante el proceso de quemado de las semillas, la reacción de combustión ocurre principalmente en la fase gaseosa debido a que la materia volátil y parte del carbono fijo se evaporan para reaccionar con el oxígeno.

Tabla 3.6. Análisis próximo en base seca e índice de combustibilidad para semillas de algunas frutas

Residuo de Fruta	Ht (%)	CZ(%)	MV (%)	CF (%)	IC
Semillas de arazá	55.22	1.74	81.64	16.62	4.91
Semillas del árbol del pan	31.55	3.89	83.97	12.14	6.92
Semillas de auyama	45.08	3.73	88.52	7.75	11.42
Semillas de chontaduro	40.85	1.37	84.95	13.68	6.21
Semillas de curuba	62.94	1.02	76.13	22.85	3.33
Semillas de durazno	57.59	1.27	83.03	15.70	5.29
Semillas de granadilla	38.23	2.78	80.22	17.00	4.72
Semillas de guanábana	62.48	1.58	88.28	10.14	8.71
Semillas de guayaba	69.72	1.38	84.38	14.24	5.93
Semillas de limón	64.50	2.07	91.41	6.52	14.02
Semillas de lulo	71.28	2.30	89.28	8.42	10.60
Semillas de madroño	60.19	1.36	85.33	13.31	6.41
Semillas de mamoncillo	59.54	1.33	83.54	15.13	5.52
Semillas de mandarina	67.01	1.92	86.45	11.63	7.43
Semillas de mango	54.36	1.36	83.77	14.87	5.63
Semillas de mangostino	68.50	4.01	84.77	11.22	7.56
Semillas de maracuyá	80.46	1.36	80.98	17.66	4.59
Semillas de melón	55.88	3.47	86.50	10.03	8.62
Semillas de naranja	63.70	3.26	92.45	4.29	21.55
Semillas de papaya	88.07	7.48	84.07	8.45	9.95
Semillas de tomate de árbol	78.50	4.03	81.60	14.37	5.68
Semillas de sandía	36.46	2.59	88.61	8.80	10.07
Semillas de uva	30.60	3.25	77.83	18.92	4.11
Semillas de zapote	58.53	2.48	86.78	10.74	8.08

Fuente: elaboración propia.

En conclusión, el amplio rango de los resultados presentados en la tabla 3.6, indica que el análisis próximo de las semillas depende del tipo de fruta de donde provienen las semillas, lo que a su vez puede depender del tipo de suelo donde fue cultivada, el fertilizante utilizado y las condiciones ambientales de cultivo.

Al comparar los resultados de las tablas 3.5 y 3.6, se encontró que, en general, las cáscaras de frutas presentan mayor contenido de humedad total y cenizas que las semillas, mientras que las semillas reportan mayores valores de materia volátil, carbono fijo e índice de combustibilidad que las cáscaras de frutas.

Caracterización por análisis elemental

El análisis elemental o también llamado análisis último, es una técnica que permite determinar el contenido de elementos no metálicos presentes en los residuos como: carbono (C), hidrógeno (H), nitrógeno (N), azufre (S), oxígeno (O) y, en algunas oportunidades, cloro (Cl), potasio (K) y fósforo (P) (Tchobanoglous, 1994; Collazos y Duque, 1998). De estos elementos, el oxígeno se determina por diferencia de 100 % y la suma del contenido de los elementos (C, H, N, S, Cl, K y P), la humedad (HM) y las cenizas (CZ) (Basu, 2010a). Este análisis se puede reportar en una base libre de cenizas y humedad.

Se ha encontrado que residuos con mayor contenido de C y menor contenido de O entregan más energía en procesos de combustión, la llama es más estable y tiene temperaturas de ignición altas. Los residuos con un contenido alto en H y contenidos bajos de C son aprovechados en pirólisis para obtener mayor cantidad de un combustible gaseoso, y en combustión son empleados por su baja temperatura de ignición para encender más fácilmente los residuos o cuando son mezclados con carbón mineral (Basu, 2013). Los residuos con altos contenidos de N y S no son recomendados para procesos de combustión, dado que producen elevadas emisiones contaminantes constituidas principalmente por sustancias del tipo NO_x y SO_x (Vargas-Moreno *et al.*, 2012).

El análisis elemental es empleado para determinar las relaciones atómicas H/C y O/C, las cuales se utilizan para establecer el tipo de aprovechamiento o valorización de los residuos en procesos como la combustión y la pirólisis. Este análisis de valorización se realiza a través de la construcción del Diagrama de Van Krevelen (Basu, 2013), el cual utiliza las relaciones atómicas H/C (en el eje de las ordenadas) y O/C (en el eje de las abscisas). Las relaciones también son empleadas para analizar el incremento del poder calorífico y el potencial de valorización energética que puede tener un residuo o material en general (Basu, 2010b).

De acuerdo con el Diagrama de Van Krevelen, valores altos de las relaciones H/C y O/C favorecen la producción de compuestos combustibles volátiles y compuestos combustibles líquidos durante el proceso de pirólisis; pero cuando se presentan valores bajos en estas relaciones se favorece la obtención de compuestos combustibles

sólidos durante la pirólisis. En el proceso de combustión se desea que la relación O/C tenga valores bajos y la relación atómica H/C valores altos, lo cual indica que el residuo tiene un alto poder calorífico que va a beneficiar la obtención de energía (Basu, 2013). La relación atómica H/C también se emplea como indicador de la presencia de hidrocarburos (por ejemplo, alifáticos o aromáticos) en un residuo. Mientras que la relación atómica O/C es utilizada para determinar la naturaleza hidrofílica superficial del residuo (Shiung *et al.*, 2016).

Conocer las concentraciones porcentuales de los elementos C, H y O, al igual que el contenido de cenizas, ayuda a determinar, mediante correlaciones, el poder calorífico superior y el análisis próximo de los residuos (Basu, 2010a; Vargas-Moreno *et al.*, 2012). Además, el contenido de N, S y Cl en los residuos proporciona información acerca de la generación de gases contaminantes, como los NO_x, SO_x y el ácido clorhídrico, cuando el residuo es sometido a un proceso de combustión (Vargas-Moreno *et al.*, 2012).

Tabla 3.7. Análisis elemental en base seca libre de ceniza de cáscaras de algunas frutas reportadas en la literatura

Cáscara de	C (%)	H (%)	N + S (%)	O (%)	H/C	O/C	Referencias
Banano	51.34	6.73	0.58	41.35	1.57	0.60	(Hussain <i>et al.</i> , 2019)
Coco	48.30	5.62	0.60	46.48	1.40	0.72	(Siddiqi <i>et al.</i> , 2020)
Granada	48.80	5.36	1.75	44.09	1.32	0.68	(Pehlivan y Özbay, 2018)
Limón	42.95	6.56	1.51	48.98	1.83	0.86	(García <i>et al.</i> , 2012)
Mandarina	47.97	5.76	1.41	44.86	1.44	0.70	(Gómez y Parra, 2013)
	52.50	6.50	2.10	38.90	1.49	0.56	(Kim <i>et al.</i> , 2011)
Naranja	43.32	6.23	0.66	49.79	1.73	0.86	(Hernández <i>et al.</i> , 2009)
Sandía	34.00	5.10	2.90	58.00	1.80	1.28	(Shiung <i>et al.</i> , 2016)
Tamarindo	53.90	5.92	0.63	39.55	1.32	0.55	(Kuprianov y Arromdee, 2013)

Fuente: elaboración propia.

En las tablas 3.7 y 3.8 se muestra el análisis elemental en base seca libre y los índices de ceniza de cáscaras y semillas de algunas frutas reportados en la literatura, respectivamente. En la tabla 3.7 se aprecia que las cáscaras de frutas documentadas en la

literatura presentan valores de carbono entre 34.00 % y 53.90 %, de hidrógeno entre 5.10 % y 6.73 %, de nitrógeno y azufre entre 0.58 % y 2.90 %, de oxígeno entre 38.90 % y 58.00 %, de la relación atómica H/C entre 1.32 % a 1.83 % y de la relación atómica O/C entre 0.55 % y 1.28 %.

Tabla 3.8. Análisis elemental en base seca libre de ceniza de semillas de algunas frutas reportadas en la literatura

Semilla	C (%)	H (%)	N + S (%)	O (%)	H/C	O/C	Referencia
Aguacate	49.44	5.87	0.12	42.56	1.42	0.65	(García <i>et al.</i> , 2012)
Durazno	40.72	6.96	4.24	48.07	2.05	0.89	(García <i>et al.</i> , 2014)
Granada	47.53	5.89	0.62	44.03	1.49	0.69	(Uçar <i>et al.</i> , 2009)
Limón	62.22	9.37	4.54	23.87	1.81	0.29	(Hernández <i>et al.</i> , 2009)
Naranja	63.31	9.33	2.73	24.63	1.77	0.29	(Hernández <i>et al.</i> , 2009)
Tamarindo	44.20	5.61	8.82	41.38	1.52	0.70	(Kumar y Bhattacharya, 2008)

Fuente: elaboración propia.

Método de análisis elemental

En la determinación del análisis elemental se utilizó un equipo marca Leco, modelo CHN2000, en el que se puede programar el análisis de treinta muestras, con un tiempo aproximado de 7 minutos para cada una. Además, emplea infrarrojo para cuantificar el contenido de C y H, y utiliza la conductividad térmica para determinar el contenido de N. El procedimiento de análisis se realizó de acuerdo con la norma ASTM D5373-09. El contenido de azufre total se obtuvo utilizando un Sulfurómetro de marca LECO SC 32. Este equipo trabaja en un intervalo de 0.005 a 99.99 % de azufre, con una precisión de ± 1 % del contenido de azufre. El método de análisis se basó en la técnica de absorción en infrarrojo, con un tamaño de muestra de 0.35 g de muestra. La norma utilizada para hacer este análisis fue la ASTM D4239. La cuantificación del contenido de oxígeno se realizó por diferencia de cien por ciento y los valores obtenidos experimentalmente de los otros parámetros (C, H, N, S, CZ y HM). Considerando que las muestras para todos los análisis estaban húmedas (base seca al aire) el contenido de oxígeno se obtuvo por medio de la ecuación (3.10) (Rojas, 2018):

$$C + H + O + N + S + CZ + HM = 100\% \quad (3.10)$$

Donde C es el porcentaje de carbono, H el porcentaje de hidrógeno, N el porcentaje de nitrógeno, S el porcentaje de azufre, CZ porcentaje de ceniza y HM el porcentaje de humedad (humedad presente en la muestra después de haberla secado al aire). Dado que este análisis es costoso, en ocasiones se obtiene por correlaciones, donde el contenido de cada elemento está en función del análisis próximo, como se muestra en la tabla 3.9.

Tabla 3.9. Correlaciones para determinar el análisis último de biomasa en base seca

Componente	Ecuación	Ecuación Número
%C	$\%C = 0.635 CF + 0.460 MV - 0.095 CZ$	3.11
%H	$\%H = 0.059 CF + 0.060 MV + 0.010 CZ$	3.12
%O	$\%C = 0.340 CF + 0.469 MV - 0.023 CZ$	3.13
%(N+S)	$\%(N + S) = 100 - \%CZ - \%C - \%H - \%O$	3.14

Correlaciones obtenidas por los rangos de $9.2\% < CF < 32.79\%$, $57.2\% < MV < 90,6\%$ y $0.1\% < CZ < 24.6\%$.

Fuente: modificado de Shen *et al.* (2010).

Las relaciones atómicas de H/C y O/C para la construcción del Diagrama de Van Krevelen se obtienen por medio de las siguientes ecuaciones (Rojas y Flórez, 2019):

$$\frac{H}{C} = \frac{\%H / M_H}{\%C / M_C} \quad (3.15)$$

$$\frac{O}{C} = \frac{\%O / M_O}{\%C / M_C} \quad (3.16)$$

Donde %H, %C y %O son los valores del análisis elemental en porcentaje en base seca libre de ceniza para los elementos H, C y O, respectivamente. Mientras que M_H , M_C y M_O son las masas atómicas de los elementos H, C y O, respectivamente.

Características últimas de las cáscaras y semillas de frutas

En este trabajo se caracterizaron por análisis elemental o último veintiséis cáscaras de frutas. Las cáscaras analizadas fueron de las siguientes frutas: árbol del pan, arazá, auyama, banano, chontaduro, coco, curuba, durazno, granadilla, guanábana, limón, lulo, madroño, mamoncillo, mandarina, mango, mangostino, maracuyá, melón, naranja,

papaya, piña, sandía, tomate de árbol, uva y zapote. El análisis elemental en base seca libre de cenizas, junto con las relaciones atómicas H/C y O/C, y las fórmulas empíricas de cada una de las cáscaras de frutas, se presentan en la tabla 3.10. En la tabla se observa que el contenido de carbono de las veintiséis cáscaras analizadas varía entre 43.59 %, para las cáscaras del árbol del pan, y 55.10 %, para las cáscaras de uva. El contenido de hidrógeno se encuentra entre 5.55 % para las cáscaras del árbol del pan y 8.41 % para las cáscaras de uva.

El contenido de N + S presenta valores entre 0.04 % para la cáscara de mangostino y 3.13 % para las cáscaras de melón. Mientras que el contenido de oxígeno varía entre 34.64 % para las cáscaras de uva y 46.46 % para las cáscaras de chontaduro. Lo anterior, indica que existen diferencias apreciables en el contenido de los elementos químicos carbono, hidrógeno, nitrógeno, azufre y oxígeno presentes en las cáscaras de frutas. Conocer el contenido de N y S en residuos empleados como combustible, permite establecer la producción de emisiones del tipo NO_x y SO_x, que causan problemas ambientales. Por tanto, de la tabla 3.10 se puede decir que al quemar las cáscaras de melón (3.13 %) y cáscaras de sandía (2.42 %), se presentarán emisiones considerables de NO_x y SO_x; pero, al quemar residuos como las cáscaras de mangostino (0.04%), cáscaras de coco (0.17%) y cáscaras de naranja (0.41%), no se esperan emisiones considerables de dichos gases contaminantes (Vargas y Pérez, 2018).

En cuanto a las relaciones atómicas, la relación H/C varía entre 1.42 en las cáscaras de mangostino y 1.85 en las cáscaras de uva; mientras que en la relación O/C se presentan valores entre 0.47 en las cáscaras de uva y 0.75 en las de melón. Esto indica que las cáscaras de las frutas, aquí analizadas, pueden contener presencia de hidrocarburos tanto alifáticos como alcanos y alquenos en su estructura, presentes en la materia volátil. Adicionalmente a ello, estos residuos muestran una relación O/C cercana a la unidad, indicando la presencia de compuestos que tienen un átomo de carbono unido a un átomo de oxígeno con enlaces C-O (por ejemplo, alcohol y fenol). Por lo tanto, se puede inferir que, si el alcohol y el fenol están presentes en su composición, las cáscaras de frutas podrían tener características hidrófilas y que ha iniciado su proceso de descomposición por fermentación de los azúcares (Shiung *et al.*, 2016). Además, considerando que en el proceso de combustión se buscó que los residuos a quemar contengan mayor energía para entregar, lo cual se infiere con valores bajos de la relación atómica O/C y valores altos en la relación atómica H/C (Basu, 2013). Así pues, se recomienda quemar las cáscaras de uva, cáscaras de zapote, cáscaras de maracuyá, cáscaras de piña, cáscaras de limón y cáscaras de mango, dado que de ellas se va a obtener mayor energía.

Tabla 3.10. Análisis último en base seca libre de cenizas de cáscaras de algunas frutas

Residuo de Fruta	C (%)	H (%)	O (%)	N+S (%)	H/C	O/C	Fórmula empírica
Cáscara del árbol del pan	43.59	5.55	40.85	1.32	1.53	0.70	$C_{20}H_{30,3}O_{14,1}N_{0,39}S_{0,03}$
Cáscara de arazá	49.44	6.00	44.15	0.40	1.46	0.67	$C_{20}H_{28,9}O_{13,4}N_{0,10}S_{0,02}$
Cáscara de auyama	47.07	6.06	45.49	1.38	1.54	0.72	$C_{20}H_{30,6}O_{14,5}N_{0,42}S_{0,04}$
Cáscara de banano	47.52	6.10	44.67	1.71	1.54	0.71	$C_{20}H_{30,5}O_{14,1}N_{0,49}S_{0,06}$
Cáscara de chontaduro	46.79	6.01	46.16	1.04	1.54	0.74	$C_{20}H_{30,5}O_{14,8}N_{0,33}S_{0,02}$
Cáscara de coco	49.80	5.98	44.05	0.17	1.44	0.66	$C_{20}H_{28,6}O_{13,5}N_{0,03}S_{0,02}$
Cáscara de curuba	49.64	6.02	43.82	0.52	1.46	0.66	$C_{20}H_{28,8}O_{13,3}N_{0,15}S_{0,01}$
Cáscara de durazno	48.64	6.02	44.53	0.80	1.49	0.69	$C_{20}H_{29,4}O_{13,7}N_{0,25}S_{0,02}$
Cáscara de granadilla	47.35	6.04	45.43	1.18	1.53	0.72	$C_{20}H_{30,3}O_{14,4}N_{0,30}S_{0,05}$
Cáscara de guanábana	49.23	6.04	43.90	0.83	1.47	0.67	$C_{20}H_{29,2}O_{13,4}N_{0,17}S_{0,05}$
Cáscara de limón	48.20	6.02	44.98	0.79	1.50	0.70	$C_{20}H_{29,7}O_{14,0}N_{0,21}S_{0,03}$
Cáscara de lulo	46.93	6.06	45.61	1.40	1.55	0.73	$C_{20}H_{30,7}O_{14,6}N_{0,33}S_{0,08}$
Cáscara de madroño	48.35	6.03	44.71	0.91	1.50	0.69	$C_{20}H_{29,7}O_{13,9}N_{0,16}S_{0,07}$
Cáscara de mamoncillo	48.73	6.04	44.37	0.87	1.49	0.68	$C_{20}H_{29,5}O_{13,7}N_{0,20}S_{0,04}$
Cáscara de mandarina	49.14	6.02	44.23	0.61	1.47	0.68	$C_{20}H_{29,1}O_{13,5}N_{0,13}S_{0,04}$
Cáscara de mango	48.25	6.02	44.93	0.80	1.50	0.70	$C_{20}H_{29,7}O_{14,0}N_{0,13}S_{0,07}$
Cáscara de mangostino	50.65	5.99	43.32	0.04	1.42	0.64	$C_{20}H_{28,1}O_{12,8}N_{0,01}S_{0,01}$

Cáscara de maracuyá	47.78	6.07	44.77	1.38	1.52	0.70	$C_{20}H_{30,2}O_{14,1}N_{0,33}S_{0,07}$
Cáscara de melón	45.21	6.21	45.45	3.13	1.65	0.75	$C_{20}H_{32,7}O_{15,1}N_{1,10}S_{0,04}$
Cáscara de naranja	50.13	6.01	43.45	0.41	1.44	0.65	$C_{20}H_{28,5}O_{13,0}N_{0,09}S_{0,02}$
Cáscara de papaya	47.50	6.07	45.05	1.37	1.53	0.71	$C_{20}H_{30,4}O_{14,2}N_{0,39}S_{0,04}$
Cáscara de piña	48.10	6.04	44.88	0.98	1.51	0.70	$C_{20}H_{29,9}O_{14,0}N_{0,23}S_{0,05}$
Cáscara de sandía	46.69	6.16	44.73	2.42	1.58	0.72	$C_{20}H_{31,4}O_{14,4}N_{0,75}S_{0,06}$
Cáscara de tomate de árbol	47.50	6.08	44.91	1.51	1.54	0.71	$C_{20}H_{30,4}O_{14,2}N_{0,44}S_{0,04}$
Cáscara de uva	55.10	8.41	34.64	1.85	1.83	0.47	$C_{20}H_{36,3}O_{9,4}N_{0,53}S_{0,02}$
Cáscara de zapote	47.80	6.09	44.63	1.49	1.53	0.70	$C_{20}H_{30,3}O_{14,0}N_{0,34}S_{0,08}$

Fuente: elaboración propia.

Respecto a las fórmulas empíricas de cada cáscara de fruta, considerando que estas se someten a un proceso de combustión bajo condiciones de combustión completa, se encontró que las mayores emisiones de NO_3 y SO_3 , por cada mol de residuo, se generan al quemar las cáscaras de melón (1.10 mol de NO_3 y 0.04 mol de SO_3), las cáscaras de sandía (0.75 mol de NO_3 y 0.06 mol de SO_3) y las cáscaras de uva (0.53 mol de NO_3 y 0.02 mol de SO_3). Sin embargo, las menores emisiones de NO_3 y SO_3 , por cada mol de residuo, se presentan al quemar las cáscaras de mangostino (0.01 mol de NO_3 y 0.01 mol de SO_3), las cáscaras de coco (0.03 mol de NO_3 y 0.02 mol de SO_3), las cáscaras de naranja (0.09 mol de NO_3 y 0.02 mol de SO_3) y las cáscaras de arazá (0.10 mol de NO_3 y 0.02 mol de SO_3).

Al igual que para el análisis próximo, el análisis elemental también se realizó para las semillas de veinticuatro frutas: arazá, árbol del pan, auyama, chontaduro, curuba, durazno, granadilla, guanábana, guayaba, limón, lulo, madroño, mamoncillo, mandarina, mango, mangostino, maracuyá, melón, naranja, papaya, tomate de árbol, sandía, uva y zapote. El análisis elemental, en base seca libre de cenizas, de las relaciones atómicas H/C y O/C y las fórmulas de algunas semillas de frutas se presenta en la tabla 3.11. Al

evaluar cada componente del análisis elemental de las semillas que se muestra en esta tabla, se aprecia que las semillas se caracterizan por tener un alto contenido de carbono (entre 45.96 % y 57.57 %), seguido por el contenido de oxígeno (entre 31.50 % y 46.25 %), después por el contenido de hidrógeno (entre 5.79 % y 8.07 %), y finalmente por un bajo contenido de nitrógeno y azufre (entre 0.44 % y 2.86 %). Este mismo resultado se encontró en el análisis elemental de las cáscaras de algunas frutas, como se presenta en la tabla 3.10.

Tabla 3.11. Análisis último en base seca libre de cenizas de semillas de algunas frutas

Residuo de Fruta	C (%)	H (%)	O (%)	N+S (%)	H/C	O/C	Fórmula empírica
Semillas del árbol del pan	45.96	5.79	43.42	0.93	1.51	0.71	$C_{20}H_{30,0}O_{14,2}N_{0,26}S_{0,04}$
Semillas de arazá	48.80	6.00	44.68	0.52	1.48	0.69	$C_{20}H_{29,2}O_{13,7}N_{0,14}S_{0,02}$
Semillas de auyama	47.04	6.03	45.77	1.16	1.54	0.73	$C_{20}H_{30,5}O_{14,6}N_{0,37}S_{0,02}$
Semillas de chontaduro	48.28	6.00	45.08	0.64	1.49	0.70	$C_{20}H_{29,6}O_{14,0}N_{0,16}S_{0,03}$
Semillas de curuba	49.94	5.99	43.90	0.17	1.44	0.66	$C_{20}H_{28,5}O_{13,2}N_{0,04}S_{0,01}$
Semillas de durazno	48.66	6.00	44.82	0.53	1.48	0.69	$C_{20}H_{29,3}O_{13,8}N_{0,13}S_{0,02}$
Semillas de granadilla	48.79	6.01	44.58	0.62	1.48	0.69	$C_{20}H_{29,3}O_{13,7}N_{0,16}S_{0,02}$
Semillas de guanábana	47.65	6.01	45.53	0.81	1.51	0.72	$C_{20}H_{30,0}O_{14,3}N_{0,16}S_{0,06}$
Semillas de guayaba	48.39	6.00	45.00	0.61	1.49	0.70	$C_{20}H_{29,5}O_{14,0}N_{0,15}S_{0,03}$
Semillas de limón	46.96	6.01	45.99	1.03	1.54	0.73	$C_{20}H_{30,4}O_{14,7}N_{0,29}S_{0,04}$
Semillas de lulo	47.28	6.01	45.73	0.98	1.53	0.73	$C_{20}H_{30,2}O_{14,5}N_{0,19}S_{0,07}$
Semillas de madroño	48.50	6.00	44.93	0.57	1.48	0.69	$C_{20}H_{29,4}O_{13,8}N_{0,14}S_{0,03}$

Semillas de mamoncillo	48.55	6.00	44.89	0.57	1.48	0.69	$C_{20}H_{29,4}O_{13,9}N_{0,14}S_{0,03}$
Semillas de mandarina	47.88	6.01	45.32	0.80	1.51	0.71	$C_{20}H_{29,9}O_{14,2}N_{0,18}S_{0,05}$
Semillas de mango	48.50	6.00	44.93	0.57	1.48	0.69	$C_{20}H_{29,4}O_{13,9}N_{0,13}S_{0,03}$
Semillas de mangostino	47.64	6.03	45.30	1.03	1.52	0.71	$C_{20}H_{30,1}O_{14,3}N_{0,23}S_{0,06}$
Semillas de maracuyá	49.00	6.00	44.56	0.44	1.47	0.68	$C_{20}H_{29,1}O_{13,7}N_{0,09}S_{0,03}$
Semillas de melón	47.48	6.03	45.48	1.01	1.52	0.72	$C_{20}H_{30,2}O_{14,4}N_{0,29}S_{0,03}$
Semillas de naranja	46.45	6.03	46.25	1.27	1.56	0.75	$C_{20}H_{30,9}O_{14,9}N_{0,33}S_{0,06}$
Semillas de papaya	46.83	6.07	45.54	1.56	1.56	0.73	$C_{20}H_{30,8}O_{14,6}N_{0,45}S_{0,05}$
Semillas de sandía	47.33	6.02	45.67	0.99	1.53	0.72	$C_{20}H_{30,2}O_{14,5}N_{0,25}S_{0,05}$
Semillas de tomate de árbol	48.22	6.03	44.87	0.88	1.50	0.70	$C_{20}H_{29,7}O_{14,0}N_{0,20}S_{0,05}$
Semillas de uva	57.57	8.07	31.50	2.86	1.68	0.41	$C_{20}H_{33,3}O_{8,2}N_{0,80}S_{0,02}$
Semillas de zapote	47.68	6.02	45.42	0.88	1.51	0.71	$C_{20}H_{30,0}O_{14,3}N_{0,24}S_{0,03}$

Fuente: elaboración propia.

Según la tabla anterior, el mayor contenido de los elementos carbono (57.57%), hidrógeno (8.07%), nitrógeno y azufre (2.86%) lo reportan las semillas de uva; el mayor contenido de oxígeno (46.25%) lo tienen las semillas de naranja. Mientras que las semillas del árbol del pan presentan los valores más bajos de carbono (45.96%) e hidrógeno (5.79%); las semillas de uva tienen los menores valores de oxígeno (31.50%) y las semillas de curuba poseen el valor más bajo de nitrógeno y azufre (0.17%). El contenido de nitrógeno y azufre es de gran interés en los procesos de combustión, porque a través de este se pueden cuantificar emisiones de NO_x y SO_x, que causan problemas ambientales durante el proceso de combustión. Por lo tanto, al conocer el porcentaje de N + S presente en las semillas que se analizaron en esta investigación, se espera

que si se someten a combustión las semillas de uva (%N + % S = 2.86%), semillas de papaya (1.56%), semillas de naranja (1.27%) y semillas de auyama (1.16%), se emitan al ambiente cantidades considerables de gases NO_x y SO_x. Por el contrario, al quemar semillas de curuba (0.17%), semillas de maracuyá (0.44%), semillas de arazá (0.52%) y semillas de durazno (0.53%), las emisiones de los gases NO_x y SO_x serán bajas (Vargas y Pérez, 2018). Respecto a las relaciones atómicas, la relación H/C varía entre 1.44 en las semillas de curuba y 1.68 en las semillas de uva; mientras que la relación O/C varía entre 0.41 en las semillas de uva y 0.75 en las semilla de naranja.

Finalmente, al analizar las fórmulas empíricas de cada una de las semillas, según la tabla 3.11, y considerando que se van a quemar bajo condiciones de combustión completa, se espera que las mayores emisiones de NO₃ y SO₃, por cada mol de semilla incinerada, se pueden presentar en las semillas de uva (0.80 mol de NO₃ y 0.02 mol de SO₃) > semillas de papaya (0.45 mol de NO₃ y 0.05 mol de SO₃) > semillas de auyama (0.37 mol de NO₃ y 0.02 mol de SO₃) > semillas de naranja (0.33 mol de NO₃ y 0.06 mol de SO₃). Por su parte, las emisiones más bajas de NO₃ y SO₃, por cada mol de semilla incinerada, se pueden presentar en las semillas de curuba (0.04 mol de NO₃ y 0.01 mol de SO₃) < semillas de maracuyá (0.09 mol de NO₃ y 0.03 mol de SO₃) < semillas de durazno (0.13 mol de NO₃ y 0.02 mol de SO₃).

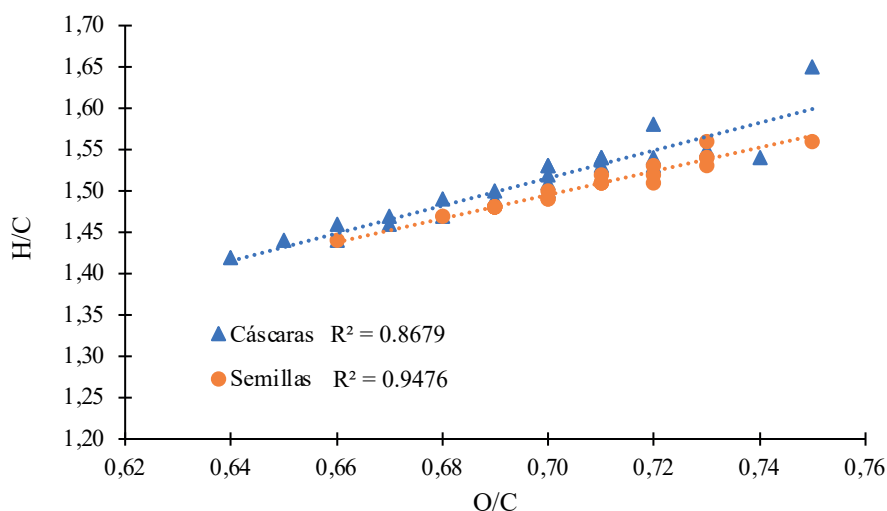


Figura 3.1. Diagrama de Van Krevelen para cáscaras y semillas de algunas frutas

Fuente: elaboración propia.

Para comparar las relaciones atómicas de las cáscaras y las semillas de frutas se construyó el Diagrama de Van Krevelen que se muestra en la figura 3.1. En la figura

se observa que el coeficiente de correlación para ambos residuos es mayor a 0.86, lo que indica que la relación atómica H/C se puede expresar como una función lineal de la relación atómica O/C, de acuerdo con lo reportado en la literatura (Jones *et al.*, 2004). En la figura también se puede apreciar que la relación H/C de las cáscaras es mayor a la de las semillas, debido a que las cáscaras tienen un alto contenido de hidrógeno.

La regresión lineal realizada a las cáscaras de frutas, con un coeficiente de correlación de aproximadamente 0.87, arroja la siguiente ecuación:

$$\frac{H}{C} = 1.6714 \frac{O}{C} + 0.3459 \quad (3.17)$$

Mientras que la regresión lineal para las semillas de frutas, con un coeficiente de correlación de aproximadamente 0.95, está dada por medio de la ecuación:

$$\frac{H}{C} = 1.4249 \frac{O}{C} + 0.4981 \quad (3.18)$$

Después de comparar las dos ecuaciones, se observó que los coeficientes numéricos difieren entre ellas, lo que puede indicar que cada tipo de biomasa tiene su propia correlación característica. La situación posiblemente se debe a que las cáscaras y las semillas tienen diferentes contenidos orgánicos estructurales (celulosa, hemicelulosa y lignina), donde las cáscaras poseen un alto contenido de celulosa y hemicelulosa, y las semillas tienen mayor contenido de lignina, como se verá en el siguiente capítulo (Vassilev *et al.*, 2012). En la literatura también se reporta una relación lineal entre las relaciones atómicas H/C y O/C para un rango amplio de biomásas, la cual está dada por la siguiente ecuación:

$$\frac{H}{C} = 1.4125 \frac{O}{C} + 0.5004 \quad (3.19)$$

Al contrastar las ecuaciones de las regresiones lineales de las cáscaras y de las semillas, con la ecuación reportada en la literatura, se concluyó que la correlación obtenida en esta investigación para las semillas de frutas (ecuación 3.18) se ajusta más a la correlación para la biomasa en general dada en la literatura (Jones *et al.*, 2004).

A continuación, se presenta una serie de figuras donde se evalúa la relación que podría existir entre el análisis próximo y el análisis elemental, con el índice de combustibilidad (IC) y las relaciones atómicas H/C y O/C. En la figura 3.2 se muestra la variación de la materia volátil (MV) con el contenido del elemento carbono presente

en cáscaras y semillas de algunas frutas. En la figura se encuentra que el contenido de materia volátil en semillas y cáscaras disminuye con el incremento en el contenido de carbono, debido a que el elemento carbono en la biomasa hace parte principalmente del carbono fijo. También, se puede observar que la mayoría de las semillas de frutas tienen un mayor contenido de materia volátil, comparado con las cáscaras de frutas, debido a que la mayoría de las semillas cuentan con menor contenido del elemento carbono (Rojas y Flórez, 2019).

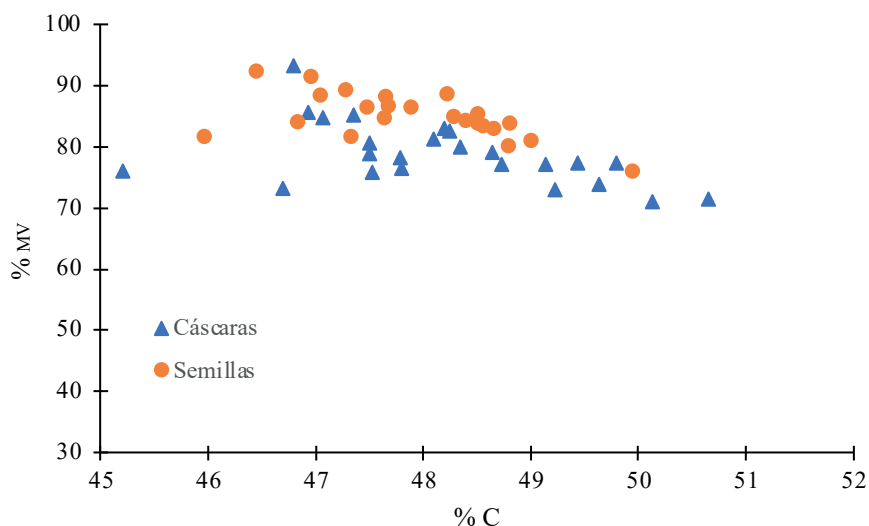


Figura 3.2. Variación de la materia volátil con el contenido del elemento carbono en cáscaras y semillas de algunas frutas

Fuente: elaboración propia.

El cambio o variación del porcentaje de materia volátil con el contenido del elemento químico hidrógeno, para cáscaras y semillas de algunas frutas, se presenta en la figura 3.3. De acuerdo con lo observado en esta figura, se encuentra que los residuos de cáscaras y semillas de algunas frutas tienen un contenido de hidrógeno casi constante, que varía entre el 6.0 y el 6.2 %, en base seca libre de cenizas. A pesar de la poca variación, se detecta que las cáscaras de frutas poseen un mayor porcentaje de hidrógeno que las semillas de frutas. La figura 3.3 confirma que la mayoría de las semillas de frutas muestran un mayor contenido de materia volátil, respecto a las cáscaras de frutas.

La figura 3.4 muestra la variación de la materia volátil con el contenido de oxígeno presente en cáscaras y semillas de algunas frutas. Se aprecia que el porcentaje de materia volátil aumenta con el incremento del contenido de oxígeno, lo que indica que el oxígeno hace parte fundamental de la estructura química de los compuestos

que constituyen la materia volátil. Además, la figura registra que las cáscaras tienen menor contenido de oxígeno en su estructura que las semillas de frutas (Rojas y Flórez, 2019).

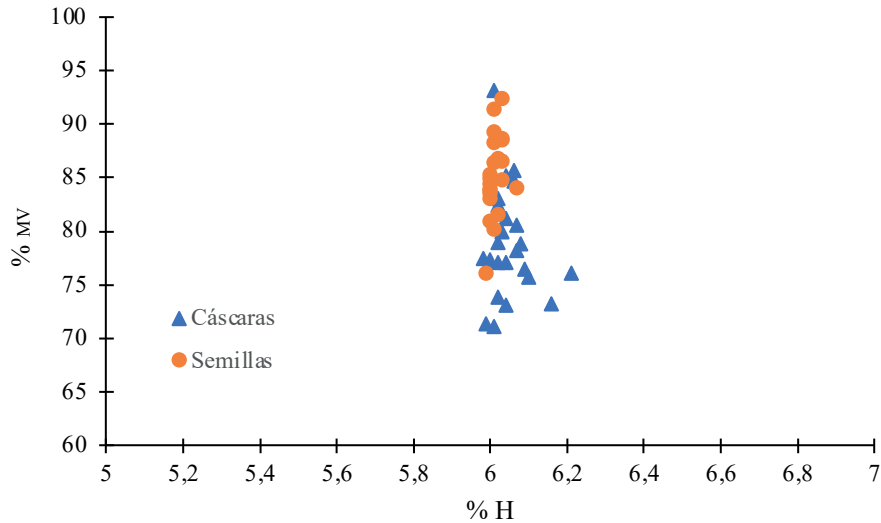


Figura 3.3. Variación de la materia volátil con el contenido del elemento hidrógeno en cáscaras y semillas de algunas frutas

Fuente: elaboración propia.

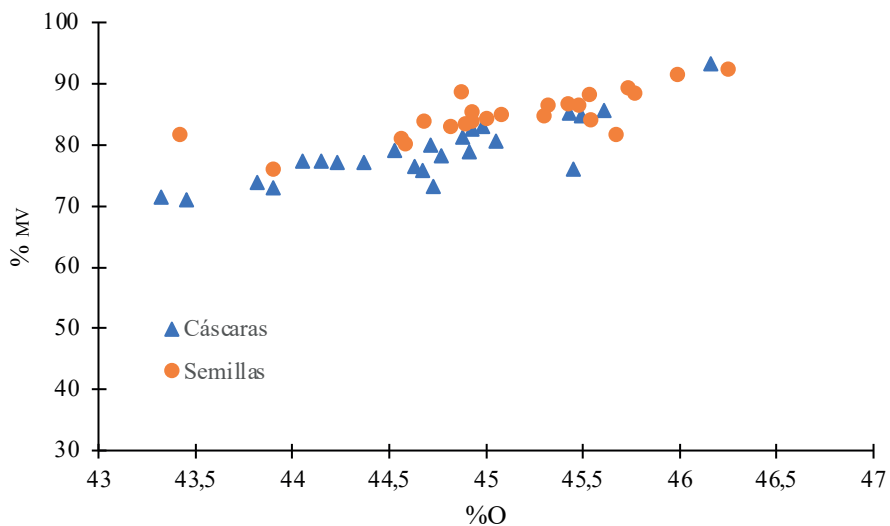


Figura 3.4. Variación de la materia volátil con el contenido del elemento oxígeno en cáscaras y semillas de algunas frutas

Fuente: elaboración propia.

La evaluación del efecto que tiene la relación atómica H/C y el contenido de carbono (% C) sobre el índice de combustibilidad en cáscaras y semillas de algunas frutas se

muestra en la figura 3.5. La figura permite identificar que el índice de combustibilidad (IC) se incrementa al aumentar la relación atómica H/C y disminuye con el aumento en el contenido del elemento carbono, tanto para las semillas como para las cáscaras de algunas frutas. De lo anterior es posible reconocer que los residuos más reactivos en el proceso de combustión se caracterizan por tener un mayor contenido de materia volátil e hidrógeno, pero bajo contenido de carbono (García *et al.*, 2014). También se aprecia en la figura que las semillas tienen un mayor índice de combustibilidad que las cáscaras de frutas (Rojas y Flórez, 2019). Por lo tanto, las semillas de frutas son más reactivas en la combustión, encienden fácilmente y su combustión es menos prolongada, comparadas con la combustión de las cáscaras de frutas (Vargas *et al.*, 2012).

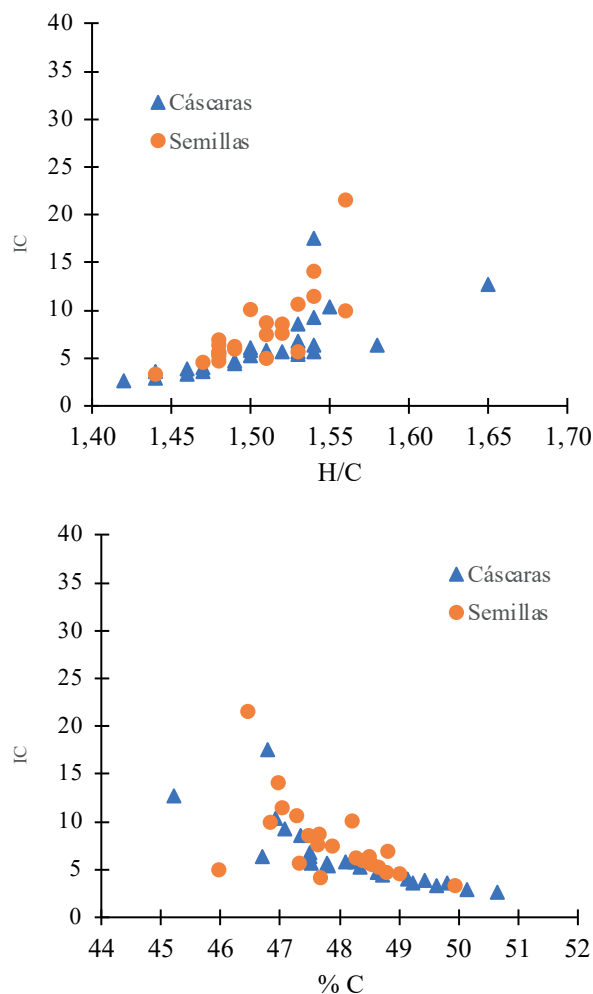


Figura 3.5. Variación del índice de combustibilidad con la relación atómica H/C y el porcentaje de carbono presente en cáscaras y semillas de algunas frutas

Fuente: elaboración propia.

También, se analizó la variación del índice de combustibilidad con la relación atómica O/C y el contenido del elemento oxígeno en las cáscaras y semillas de algunas frutas, como se registra en la figura 3.6.

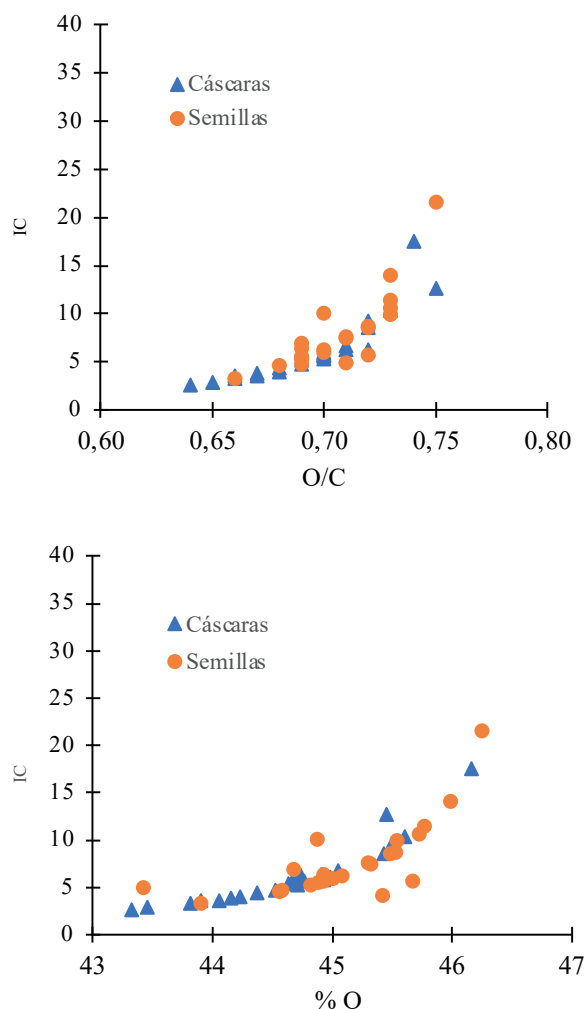


Figura 3.6. Variación del índice de combustibilidad con la relación atómica O/C y el porcentaje de oxígeno presente en cáscaras y semillas de algunas frutas

Fuente: elaboración propia.

Según lo registrado en la figura 3.6, se llega a las siguientes conclusiones: a mayor relación atómica O/C, mayor es el índice de combustibilidad; se confirma el hecho de que las semillas tienen mayor índice de combustibilidad que las cáscaras; el oxígeno presente en los residuos de frutas hace parte de las sustancias que constituyen la materia volátil; la presencia de oxígeno en los residuos les permite tener un punto de ignición bajo; el oxígeno favorece la reactividad en el proceso de combustión; el oxígeno afecta

negativamente la combustión prolongada de los residuos de frutas, por tanto, la caldera se debe alimentar con más frecuencia con el material a quemar (Rojas *et al.*, 2019; Rojas y Flórez, 2019).

Caracterización por contenido energético

El poder calorífico o energía contenida en un residuo representa el calor liberado en la combustión completa del carbono e hidrógeno de la materia orgánica, y del azufre pirítico y en parte del azufre orgánico, en presencia de oxígeno. Este parámetro térmico es empleado para cálculos de diseño o para realizar simulaciones numéricas de sistemas de conversión térmica de biomasa (Sheng y Azevedo, 2004). El poder calorífico puede ser reportado como superior (HHV por sus siglas en inglés - *High Heating Value*) o inferior (LHV, por sus siglas en inglés - *Low Heating Value*), dependiendo de la fase líquida o la fase vapor en la que se encuentre el agua que se forma por oxidación del hidrógeno presente en el residuo, al completarse la combustión. El HHV se obtiene cuando toda el agua generada durante la combustión aparece como agua condensada al final del proceso. Mientras que el poder calorífico inferior (LHV) se mide cuando toda el agua generada en la combustión del residuo se obtiene en fase vapor al final del proceso. Lo anterior indica que el LHV es menor que el HHV, en una cantidad igual al calor latente de vaporización del agua (Jenkins *et al.*, 2011; Brown y Stevens, 2011; Elneel *et al.*, 2013).

La concentración del elemento carbono y de las cenizas también se puede correlacionar con el poder calorífico, de tal manera que un incremento del 1 % en el contenido del elemento carbono eleva el poder calorífico alrededor de 0.39 MJ/kg; pero, con el mismo incremento en las cenizas, el poder calorífico se reduce aproximadamente en 0.20 MJ/kg (Jenkins, 1989; Brown y Stevens, 2011). Sin embargo, se encontró que, aunque las cenizas no contribuyen en la cantidad del calor liberado por la combustión, algunos de sus componentes pueden actuar como catalizadores en la descomposición térmica de los residuos (Jenkins *et al.*, 2011). También se reporta que con un grado alto de oxidación en un residuo (alto contenido de oxígeno en su estructura), el poder calorífico es menor (Jenkins *et al.*, 2011).

Algunos valores del poder calorífico superior en cáscaras de fruta encontrados en la literatura son: cáscaras de coco 16.80 MJ/kg (Siddiqi *et al.*, 2020), cáscaras de banano 18.87 MJ/kg (Hussain *et al.*, 2019), cáscaras de mandarina 15.53 MJ/kg (García *et al.*, 2012), cáscaras de naranja 17.28 MJ/kg (Hernández *et al.*, 2009), cáscaras de limón

17.18 MJ/kg (García *et al.*, 2012) y cáscaras de zapote 17.40 MJ/kg (Alegría *et al.*, 2007). De igual manera, en la literatura se reportan valores de HHV de semillas de algunas frutas como: semillas de aguacate 15.18 MJ/kg (García *et al.*, 2012), semillas de durazno 19.59 MJ/kg (García *et al.*, 2014), semillas de granada 18.96 MJ/kg (Uçar *et al.*, 2009), semillas de naranja 21.03 MJ/kg (Hernández *et al.*, 2009), semillas de sandía 20.88 MJ/kg (García *et al.*, 2014), semillas de tamarindo 19.01 MJ/kg (Kumar y Bhattacharya, 2008) y semillas de zapote 20.05 MJ/kg (Alegría *et al.*, 2007).

La determinación del poder calorífico superior (HHV) se puede obtener mediante correlaciones que se plantearon con datos experimentales de diferentes biomásas (Qian *et al.*, 2020). Algunas de las correlaciones reportadas en la literatura se presentan en la tabla 3.12. En esta tabla donde se puede ver que se han desarrollado correlaciones para determinar el poder calorífico superior, a partir de datos experimentales de los análisis: próximo o inmediato, elemental o último, de una combinación entre próximo y elemental, y químico o estructural.

Tabla 3.12. Correlaciones empleadas en la determinación del poder calorífico

Correlación	Ecuación Número	Referencia
<i>Análisis próximo</i>		
$HHV = -10.81408 + 0.3133(MV + CF)$	3.20	(Jiménez y González, 1991)
$HHV = 0.3543 CF + 0.1708 MV$	3.21	(Vargas <i>et al.</i> , 2012)
$HHV = 19.914 - 0.2324 CZ$	3.22	(Sheng y Azevedo, 2004)
$HHV = 0.196 CF + 14.119$	3.23	(Demirbas, 1997)
$HHV = -3.0368 + 0.2218 MV + 0.2601 CF$	3.24	(Sheng y Azevedo, 2004)
$HHV = 20.7999 - 0.3214 \frac{MV}{CF} + 0.0051 \left(\frac{MV}{CF}\right)^2 - 11.2277 \frac{CZ}{MV} + 4.4953 \left(\frac{CZ}{MV}\right)^2 - 0.7223 \left(\frac{CZ}{MV}\right)^3 + 0.0383 \left(\frac{CZ}{MV}\right)^4 + 0.0076 \frac{CF}{CZ}$	3.25	(Nhuchhen, 2012)
<i>Análisis elemental</i>		
$HHV = 0.4373 C - 1.6701$	3.26	(Tillman, 1978)
$HHV = -3.393 + 0.507 C - 0.341 H + 0.067 N$	3.27	(Vargas <i>et al.</i> , 2012)
$HHV = 0.3516 C + 1.16225 H - 0.1109 O + 0.0628 N + 0.10465 S$	3.28	(Sheng y Azevedo, 2004)

$HHV = 0.335 C + 1.423 H - 0.154 O - 0.145 N$	3.29	(Demirbas, 1997)
$HHV = -1.3675 + 0.3137 C + 0.7009 H + 0.0318 O$	3.30	(Sheng y Azevedo, 2004)
<i>Análisis próximo y elemental</i>		
$HHV = -0.465 - 0.0342 CZ - 0.019 MV + 0.0483 C - 0.388 H + 0.124 N$	3.31	(Vargas <i>et al.</i> , 2012)
<i>Análisis químico</i>		
$HHV = 0.1739 Ce + 0.2663 (1 - Ce')$	3.32	(Saidur <i>et al.</i> , 2011)
$HHV = 0.0889 L + 16.8218$	3.33	(Saidur <i>et al.</i> , 2011)

HHV: Poder calorífico superior, MV: Materia volátil, CF: Carbono fijo, CZ: Cenizas, C: Carbono, H: Hidrógeno, O: Oxígeno, S: Azufre, N: Nitrógeno, Ce: Celulosa no libre de extractivos, Ce': Celulosa libre de extractivos, L: Lignina.

Fuente: tomado de Rojas (2017).

Método de análisis del poder calorífico

El poder calorífico superior se determina empleando una bomba calorimétrica marca Leco, AC 350. El procedimiento para llevar a cabo el análisis inicia cuando se tiene una muestra pretratada. El pretratamiento consiste en reducir de tamaño el residuo mediante un molino de cuchillas, obteniendo partículas de aproximadamente 1 cm. Estas partículas se pesan y se llevan a una mufla donde se realiza un presecado a 45 y 50 °C durante 72 h, o hasta peso constante: Posteriormente, las muestras presecadas se pulverizan hasta un tamaño de partícula pasante malla 60.

Se pesa un gramo de la muestra pulverizada, se ubica en un recipiente de acero (bomba calorimétrica) y se pone en contacto con un alambre delgado de cobre que hace las veces de iniciador de la combustión. Se cierra el recipiente y se carga con oxígeno hasta una presión de 3 atm. La bomba se sumerge en agua y se inicia el proceso de combustión. La temperatura del baño que rodea la bomba se monitorea con un termómetro digital. Este calorímetro puede determinar el poder calorífico entre 6,000 a 15,000 BTU/Lb. Cabe destacar, que el procedimiento de análisis para identificar el poder calorífico superior sigue la norma ASTM D2015-00.

Características de poder calorífico de las cáscaras y semillas de frutas

Para obtener el poder calorífico superior (HHV) de residuos de frutas, se caracterizaron las mismas veintiséis cáscaras de frutas que se utilizaron en los análisis próximo y elemental. El poder calorífico superior de los veintiséis residuos de frutas se presenta en la tabla 3.13.

Tabla 3.13. Poder calorífico superior de cáscaras de algunas frutas

Residuo de Fruta	HHV (MJ/kg)
Cáscaras del árbol del pan	17.96
Cáscaras de arazá	19.41
Cáscaras de auyama	17.47
Cáscaras de banano	17.68
Cáscaras de chontaduro	16.58
Cáscaras de coco	19.89
Cáscaras de curuba	19.23
Cáscaras de durazno	18.84
Cáscaras de granadilla	17.82
Cáscaras de guanábana	18.83
Cáscaras de limón	18.67
Cáscaras de lulo	17.27
Cáscaras de madroño	18.64
Cáscaras de mamoncillo	18.78
Cáscaras de mandarina	19.12
Cáscaras de mango	18.70
Cáscaras de mangostino	19.86
Cáscaras de maracuyá	18.04
Cáscaras de melón	15.15
Cáscaras de naranja	19.34
Cáscaras de papaya	17.88
Cáscaras de piña	18.48
Cáscaras de sandía	16.84
Cáscaras de tomate de árbol	17.81
Cáscaras de uva	20.59
Cáscaras de zapote	17.96

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con los resultados del análisis, registrados en la tabla, se encontró que el HHV de las cáscaras de frutas analizadas varía entre 15.15 MJ/kg, en las cáscaras de melón y 20.59 MJ/kg, en las cáscaras de uva. Si se considera el contenido de ceniza para los residuos de la tabla 3.5, correspondientes a las cáscaras de melón (17.88 %) y para la cáscara de uva (3.23 %), se ratifica que, a mayor contenido de ceniza, menor

es el poder calorífico superior de un material, y viceversa (Urhán, 2000). En la tabla 3.13 también se encuentra que las cinco cáscaras de mayor poder calorífico superior ($\text{HHV} > 19.30 \text{ MJ/kg}$) corresponden a: cáscaras de uva > cáscaras de coco > cáscaras de mangostino > cáscaras de arazá > cáscaras de naranja; mientras que las cinco cáscaras con menor poder calorífico superior ($\text{HHV} < 17.50 \text{ MJ/kg}$) son: cáscara de melón < cáscaras de chontaduro < cáscaras de sandía < cáscaras de lulo < cáscaras de auyama. El valor promedio del HHV de las veintiséis cáscaras de frutas es de 18.34 MJ/kg , con un 57.70 % de las cáscaras que poseen un HHV mayor a 18.00 MJ/kg . Es de resaltar, que los datos de HHV, reportados en la tabla 3.13 para las cáscaras de algunas frutas, son congruentes con los datos de HHV reportados en la literatura (Nunes *et al.*, 2016; Arteaga-Pérez *et al.*, 2015).

Al relacionar los resultados del análisis elemental de las cáscaras de frutas con mayor HHV (cáscara de uva) y las cáscaras de menor HHV (cáscara de melón), se encontró que las cáscaras de uva, con un contenido elemental de carbono del 55.10 % y un contenido elemental de oxígeno de 34.64 %, ambos en base seca libre de ceniza, tienen un HHV de 20.59 MJ/kg . Mientras que las cáscaras de melón, con un contenido elemental de carbono de 45.21 % y un contenido elemental de oxígeno de 45.45 %, presentan un HHV de 15.15 MJ/kg . Los resultados confirman lo encontrado en la literatura, donde se establece que, en general, a mayor contenido elemental de carbono y menor contenido elemental de oxígeno, el material analizado tiene mayor HHV (Jenkins *et al.*, 2011; Brown y Stevens, 2011).

El poder calorífico superior también se determinó en las semillas de algunas frutas. Las semillas analizadas en esta investigación proceden de las frutas: arazá, árbol del pan, auyama, chontaduro, curuba, durazno, granadilla, guanábana, guayaba, limón, lulo, madroño, mamoncillo, mandarina, mango, mangostino, maracuyá, melón, naranja, papaya, tomate de árbol, sandía, uva y zapote. Los resultados del análisis de veinticuatro semillas de frutas se presentan en la tabla 3.14.

En la tabla 3.14 se observa que el HHV de las veinticuatro semillas de frutas analizadas varía entre 15.86 MJ/kg , en las semillas de melón, y 21.53 MJ/kg para las semillas de uva. Además, se encuentra que las cinco semillas con mayor poder calorífico superior son: semillas de uva > semillas de curuba > semillas de maracuyá > semillas de arazá > semillas de durazno, con valores de HHV superiores a 19.17 MJ/kg . Mientras que las cinco semillas con menor HHV son: semillas de naranja < semillas de limón < semillas de papaya < semillas de auyama < semillas de lulo, con valores de poder calorífico superior inferiores a 17.70 MJ/kg . Además, se encontró que aproximadamente el 70 %

de las semillas analizadas en esta investigación, poseen un poder calorífico superior (HHV) mayor a 18.00 MJ/kg. Al comparar el poder calorífico superior de las cáscaras con el poder calorífico superior de las semillas, en términos generales, se encontró que las semillas tienen un mayor HHV que las cáscaras de frutas, lo cual confirma lo reportado en la literatura (Rojas *et al.*, 2019).

Tabla 3.14. Poder calorífico superior de semillas de algunas frutas

Residuo de Fruta	HHV (MJ/kg)
Semillas de arazá	19.18
Semillas del árbol del pan	18.52
Semillas de auyama	17.35
Semillas de chontaduro	18.90
Semillas de curuba	19.81
Semillas de durazno	19.17
Semillas de granadilla	19.06
Semillas de guanábana	18.24
Semillas de guayaba	18.97
Semillas de limón	17.07
Semillas de lulo	17.70
Semillas de madroño	18.29
Semillas de mamoncillo	19.09
Semillas de mandarina	18.49
Semillas de mango	19.05
Semillas de mangostino	18.16
Semillas de maracuyá	19.35
Semillas de melón	17.99
Semillas de naranja	15.86
Semillas de papaya	17.15
Semillas de tomate de árbol	18.62
Semillas de sandía	17.78
Semillas de uva	21.53
Semillas de zapote	18.25

Fuente: elaboración propia.

Para evaluar el efecto que puede tener la composición del análisis próximo, el índice de combustibilidad, la composición elemental y las relaciones atómicas H/C y O/C, sobre el poder calorífico superior de cáscaras y semillas de algunas frutas, a continuación, se presenta una serie de figuras (figuras 3.7 a 3.12).

En la figura 3.7 se muestra la variación del HHV con el porcentaje de cenizas presente en cáscaras y semillas de algunas frutas. Además, la figura permite observar que: 1) el incremento en el contenido de cenizas en cáscaras y semillas de algunas frutas afecta negativamente el valor del HHV, es decir, el valor del HHV disminuye al aumentar el porcentaje de ceniza en el residuo, lo que es equivalente a que el HHV disminuye con el aumento en el contenido de cenizas; 2) las semillas de frutas tienen menor contenido de cenizas que las cáscaras; y 3) en general, el HHV de cáscaras y semillas de algunas frutas se encuentra entre 18.00 y 20.00 MJ/kg.

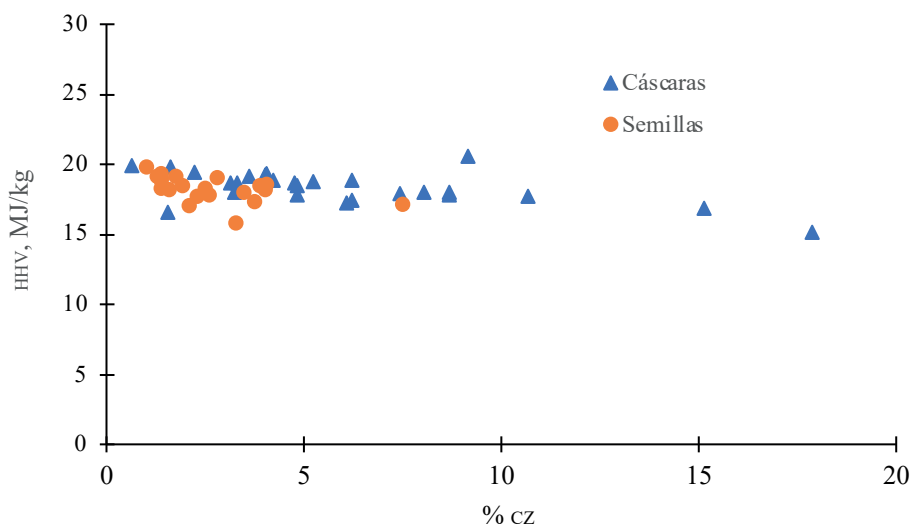


Figura 3.7. Variación del poder calorífico superior con el contenido de cenizas en cáscaras y semillas de algunas frutas

Fuente: elaboración propia.

La figura 3.8 registra la variación del poder calorífico superior, con el porcentaje de materia volátil presente en las cáscaras y semillas de algunas frutas. Se evidencia que el HHV disminuye con el incremento del contenido de mv, y que, en la mayoría de los casos, las semillas tienen un mayor contenido de materia volátil que las cáscaras de frutas. Los resultados advierten que, en el proceso de combustión, las semillas de frutas inician su ignición a menor temperatura que las cáscaras de frutas, es decir, las semillas son más reactivas a la combustión y entregan mayor energía debido a su alto

HHV, lo cual se debe a que presenta menor contenido de cenizas que las cáscaras de frutas. Sin embargo, las semillas no van a presentar una combustión prolongada, por lo que se requiere una mayor cantidad de esta biomasa para mantener la combustión, porque las semillas tienen menor contenido de carbono fijo que las cáscaras de frutas (Basu, 2010a).

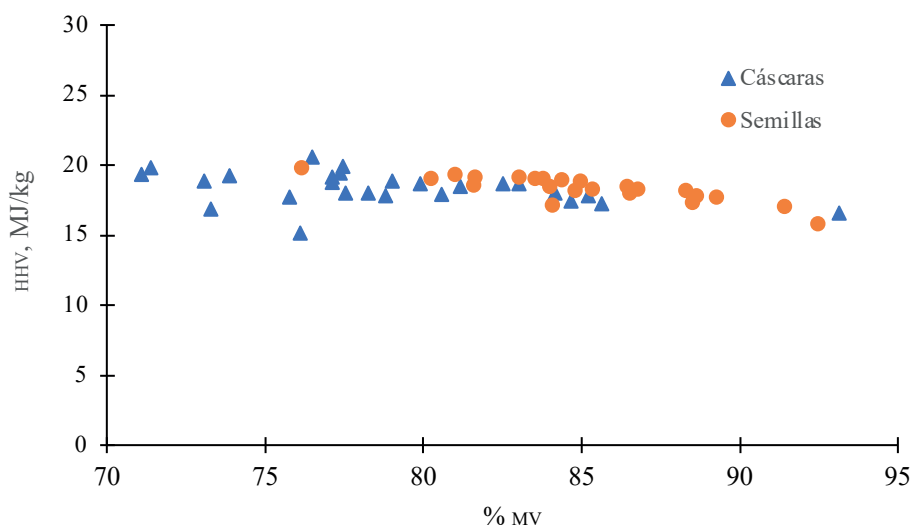


Figura 3.8. Variación del poder calorífico superior con el contenido de materia volátil en cáscaras y semillas de algunas frutas

Fuente: elaboración propia.

La figura 3.9 registra el análisis del efecto del contenido de carbono fijo sobre el poder calorífico superior en cáscaras y semillas de algunas frutas. En la figura se muestra que el poder calorífico superior aumenta con el contenido de carbono fijo en la biomasa residual de frutas (cáscaras y semillas). Esto se debe a que el carbono fijo está constituido por material sólido con un alto contenido del elemento químico carbono, que se oxida mediante una reacción química altamente exotérmica. La reacción libera gran cantidad de energía presente en los enlaces C-H (Rojas *et al.*, 2019). La figura también da cuenta de que algunas cáscaras de frutas tienen un mayor contenido de carbono fijo en su estructura respecto a las semillas de frutas.

También se analizó la relación entre el poder calorífico superior y el índice de combustibilidad, como se muestra en la figura 3.10. Al respecto, se concluye que al aumentar el índice de combustibilidad se reduce el poder calorífico superior, debido a que el incremento en el IC se traduce en el aumento del contenido de materia volátil y una reducción en el contenido de carbono fijo, la cual tiene un efecto negativo sobre el

HHV. El incremento del IC favorece la reactividad en la combustión, genera una mayor estabilidad de la llama, reduce la temperatura de ignición y hace que la combustión no sea tan prolongada (Rojas y Flórez, 2019).

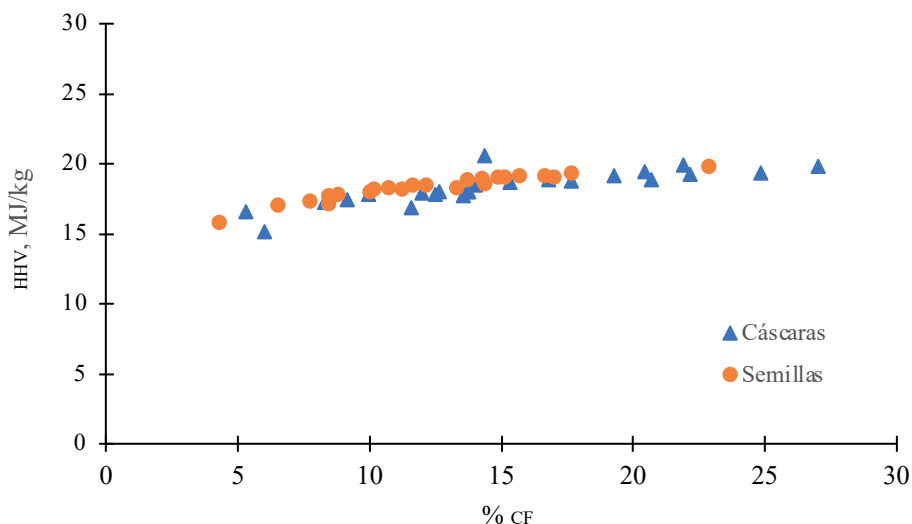


Figura 3.9. Variación del poder calorífico superior con el contenido de carbono fijo en cáscaras y semillas de algunas frutas

Fuente: elaboración propia.

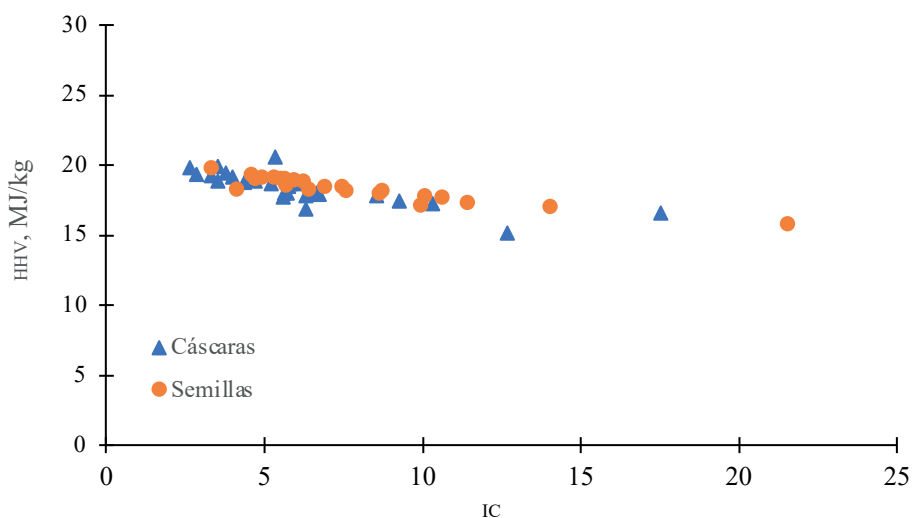


Figura 3.10. Variación del poder calorífico superior con el índice de combustibilidad en cáscaras y semillas de algunas frutas

Fuente: elaboración propia.

En la figura 3.11 se presenta el efecto de la relación atómica O/C y el contenido de oxígeno elemental sobre el poder calorífico superior de cáscaras y semillas de algunas frutas. Además, evidencia que a medida que aumenta la relación atómica O/C y el contenido de oxígeno elemental, el poder calorífico superior reduce su valor. Esto confirma que la presencia de oxígeno en la estructura de las cáscaras y semillas de frutas no contribuye al HHV y reduce la formación de combustibles líquidos en el proceso de pirólisis (Urhán, 2000; Arteaga-Pérez *et al.*, 2015).

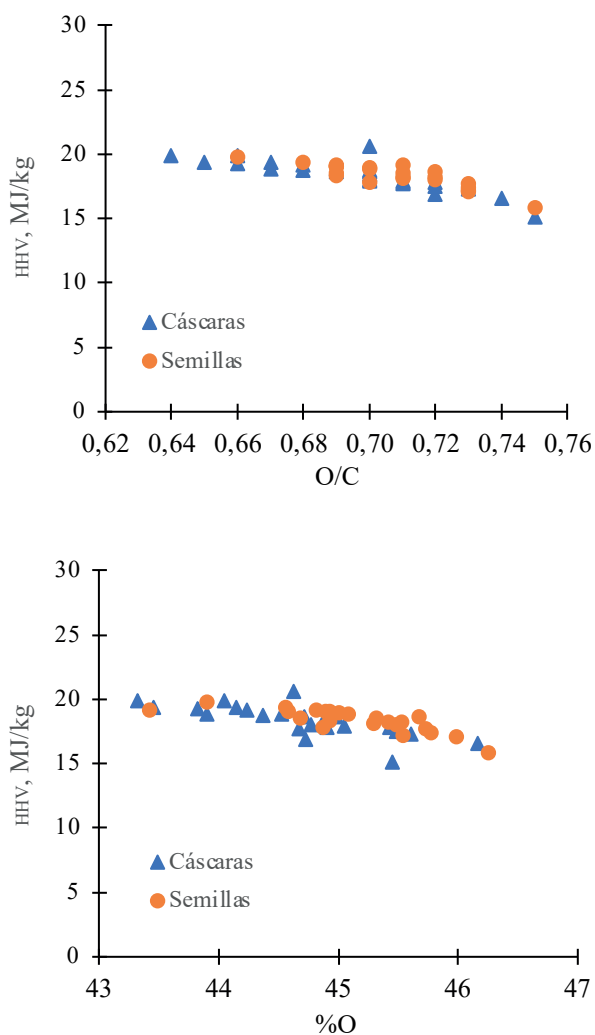


Figura 3.11. Variación del poder calorífico superior con la relación atómica O/C y el porcentaje de oxígeno presente en cáscaras y semillas de algunas frutas

Fuente: elaboración propia.

El HHV se reduce con el aumento en el contenido de oxígeno, debido a que el oxígeno consume gran parte del hidrógeno presente en la biomasa para obtener agua en el proceso de combustión. Mientras que, en el proceso de pirólisis, la presencia del oxígeno favorece la generación de combustibles gaseosos y líquidos (Demirbas, 2010). En la figura 3.11 se aprecia que, en general, las semillas de frutas tienen mayor contenido de oxígeno elemental que las cáscaras de frutas, lo cual confirma algunas observaciones hechas anteriormente en este documento y lo reportado en la literatura (Rojas *et al.*, 2019; Rojas y Flórez, 2019).

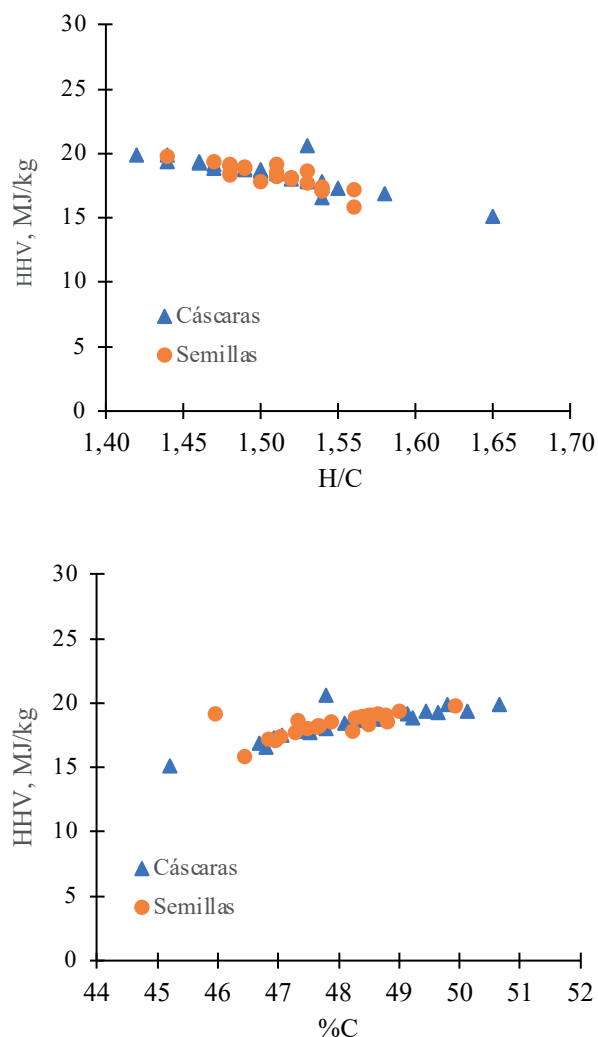


Figura 3.12. Variación del poder calorífico superior con la relación atómica H/C y el porcentaje de carbono elemental presente en cáscaras y semillas de algunas frutas

Fuente: elaboración propia.

Finalmente, se analizó la variación del poder calorífico superior con la relación atómica H/C y el porcentaje de carbono elemental en cáscaras y semillas de algunas frutas tal y como se presenta en la figura 3.12. Con la información de la figura se puede concluir que el poder calorífico superior de cáscaras y semillas de frutas disminuye con el aumento en la relación atómica H/C, y aumenta con el incremento en el contenido de carbono elemental. El crecimiento en la relación atómica H/C es dado por el incremento en el contenido de hidrógeno elemental (y en la reducción del contenido de carbono elemental), donde dicho incremento representa un aumento en el contenido de materia volátil, lo cual, como ya se analizó, reduce el poder calorífico superior (Rojas y Flórez, 2019).

Conclusiones

En el desarrollo de este estudio se encontró que las cáscaras de frutas, a diferencia de las semillas, presentan mayor contenido de humedad total y de cenizas; por su parte, las semillas muestran valores más altos de materia volátil, carbono fijo e índice de combustibilidad que las cáscaras de frutas.

Los residuos de cáscaras de frutas se caracterizan por tener contenidos más elevados de carbono e hidrógeno elemental, al igual que una mayor relación atómica H/C, que las semillas de frutas. Las semillas de frutas mostraron mayor porcentaje de oxígeno elemental que las cáscaras de frutas.

En cuanto a la variación del poder calorífico superior, de acuerdo con las características químicas de las cáscaras y semillas de frutas, se encontró que los residuos con mayor HHV son aquellos que tienen menos contenido de ceniza, materia volátil, oxígeno, nitrógeno y azufre, pero que, a su vez, tienen mayor contenido de carbono fijo y carbono elemental.

Bibliografía

- Adeniyi, A., Otoikhian, K., Ighalo, J. y Mohammed, I. (2019). Pyrolysis of Different Fruit Peel Waste Via a Thermodynamic Model. *Journal of Engineering Research and Development*, 2(2), 16-24. <https://bit.ly/3lOmFTX>
- Alegría, J. J., Hoyos, O. y Prado, J., (2007). Características fisicoquímicas de dos variedades del fruto del zapote comercializadas en el departamento del Cauca. *Revista*

- Facultad de Ciencias Agropecuarias*, 5(2), 32-38. <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/670>
- Armas, E. A. (2017). Determinación del potencial energético de la biomasa residual de guayaba (*Psidium guajava* L.) en Rocafuerte, cantón Ibarra, provincia de Imbabura [tesis de pregrado, Universidad Técnica Del Norte]. Repositorio Institucional. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/6479>
- Arteaga-Pérez, L. E., Flores, M., Escobar, M., Segura, C. y Gordon, A. (2015). Análisis comparativo de la torrefacción húmeda y seca de *Pinus radiata*. *UN Energética*. 46, 5-12. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/64274>
- Basu, P. (2010a). Biomass Characteristics. En *Biomass Gasification and Pyrolysis* (pp. 27-63). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374988-8.00002-7>.
- Basu, P. (2010b). Introduction. En *Biomass Gasification and Pyrolysis* (pp.1-25). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374988-8.00001-5>
- Basu, P. (2010c). Gasification theory and modeling of gasifiers. En *Biomass Gasification and Pyrolysis* (pp. 117-165). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374988-8.00005-2>
- Basu, P. (2013). *Biomass gasification, pyrolysis and torrefaction: practical design and theory*. Elsevier.
- Brown, R. C. y Stevens, C. V. (2011). Biomass combustion. *Thermochemical processing of biomass conversion into fuels, chemicals and power* (pp. 13-46). <https://doi.org/10.1002/9781119990840.ch2> Wiley.
- Collazos, H. y Duque, R. (1998). *Residuos sólidos (5.ª ed.)*. Fundación para la Investigación sobre Residuos Sólidos.
- Demirbas, A. (1997). Calculation of higher heating values of biomass fuels. *Fuel*, 76 (5), 431-434. [https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(97\)85520-2](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(97)85520-2)
- Demirbas, A. (2004). Combustion characteristics of different biomass fuels. *Progress in Energy and Combustion Science*, 30(2), 219-230. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2003.10.004>
- Demirbas, A. (2010). Fuels from biomass. En *Biorefineries: for biomass upgrading facilities* (pp. 33-74). Springer.
- Elneel, R., Anwar, S. y Ariwahjoedi, B. (2013). Prediction of heating values of oil palm fronds from ultimate analysis. *Journal of Applied Sciences*. 13, 491-496. <https://doi.org/10.3923/jas.2013.491.496>

- García, R., Pizarro, C., Lavín, A. G. y Bueno, J. L. (2012). Characterization of Spanish biomass wastes for energy use. *Bioresource Technology*, 103(1), 249-258. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.10.004>
- García, R., Pizarro, C., Lavín, A. G. y Buen, J. L. (2014). Spanish biofuels heating value estimation. Part II: Proximate analysis data. *Fuel*, 117(1), 1139-1147. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.08.049>
- Geankoplis, C. J. (1998). Secado de materiales de proceso. En *Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias* (3.^a ed) (pp. 579-649). Continental.
- Gómez, D. C. y Parra, J. M. (2013). Caracterización fisicoquímica de residuos agrícolas en santander: “cacao, cítricos, fique y tomate”. Universidad Industrial de Santander.
- Hernández, V., Montes, M. y Elizalde, M. (2009). Study of the thermal degradation of citrus seeds. *Biomass and Bioenergy*, 33, 1295-1299. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2009.05.016>
- Hussain, M., Zhao, Z., Ren, J., Rasool, T. y Raza, S. (2019). Thermo-kinetics and gaseous product analysis of banana peel pyrolysis for its bioenergy potential. *Biomass and Bioenergy*, 122, 193-201. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.01.009>
- Jenkins, B. M. (1989). Physical properties of biomass. En Kitani O. y Hall C.W, *Biomass Handbook* (pp. 860-891). Gordon and Breach.
- Jenkins, B. M., Baxter, L. L. y Koppejan, J. (2011). Biomass combustion. En Brown, R. C., *Thermochemical Processing of Biomass Conversion into Fuels, Chemicals and Power* (pp. 13-46). Wiley.
- Jiménez, L. y González, F. (1991). Study of the physical and chemical properties of lignocellulosic residues with a view to the production of fuels. *Fuel*, 70(8), 947-950. [https://doi.org/10.1016/0016-2361\(91\)90049-G](https://doi.org/10.1016/0016-2361(91)90049-G)
- Jones, J. M., Nawaz, M., Darvell, L. I., Ross, A. B., Pourkashanian, M. y Williams, A. (2004). Towards biomass classification for energy applications. *Science in Thermal and Chemical Biomass Conversion*, 1, 331-339.
- Kim, Y., Lee, H., Lee, S., Kim, S., Park, S., Jeon, J., Kim, S. y Park, Y. (2011). Pyrolysis properties and kinetics of mandarin peel. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 28(10), 2012–2016. <https://doi.org/10.1007/s11814-011-0177-3>
- Kumar, C. S. y Bhattacharya, S. (2008). Tamarind seed: Properties, processing and utilization. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48(1), 1-20. <https://doi.org/10.1080/10408390600948600>

- Kuprianov, V. I. y Arromdee, P. (2013). Combustion of peanut and tamarind shells in a conical fluidized-bed combustor: A comparative study. *Bioresource Technology*, 140, 199-210. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.04.086>
- Nhuchhen, D. R. y Abdul-Salam, P. (2012). Estimation of higher heating value of biomass from proximate analysis: A new approach. *Fuel*, 99, 55-63. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2012.04.015>
- Nunes, L. J. R., Matias, J. C. O. y Catalão, J. P. S. (2016). Biomass combustion systems: A review on the physical and chemical properties of the ashes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 235-242. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.08.053>
- Pathak, P. D., Mandavgane, S. A. y Kulkarni, B. D. (2017). Fruit peel waste: Characterization and its potential uses. *Current Science*, 113(3), 444-454. <https://doi.org/10.18520/cs/v113/i03/444-454>
- Pehlivan, E. y Özbay, N. (2018). Evaluation of Bio-Oils Produced From Pomegranate Pulp Catalytic Pyrolysis. En *Exergetic, Energetic and Environmental Dimensions* (pp. 895-909). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813734-5.00051-2>
- Pérez, J. F. (2009). Gasificación de biomasa. En: *Gasificación de biomasa, estudios teóricos y experimentales en lecho fijo equicorriente* (pp. 24-36). Editorial Universidad de Antioquia.
- Prieto, M. A y Chaves, G. A. (1998). *Aplicación de métodos termogravimétricos y su correlación C/O y C/H en la combustión de carbón en las calderas de parrilla móvil* [tesis de pregrado, Universidad Valle]. Repositorio Institucional.
- Qian, C., Li, Q., Zhand, Z., Wang, X., Hu, J. y Cao, W. (2020). Prediction of higher heating values of biochar from proximate and ultimate analysis. *Fuel*, 265, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116925>
- Rincón, J. M. y Silva, E. E. (2015). Bioenergía: Fuentes, conversión y sustentabilidad. Red Iberoamericana de Aprovechamiento de Residuos Orgánicos en Producción de Energía.
- Rodríguez, J., González, L. O., Rojas, A. F. y Palacios, J. (2013). *Energía y Ambiente* (1.^a ed). Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/52629>
- Rojas, A. F. (2018). *Introducción al aprovechamiento de residuos* (1.^a ed). Universidad Nacional de Colombia
- Rojas, A. F. y Flórez, C. (2019). Valorización de residuos de frutas par combustión y pirólisis. *Revista Politécnica*, 15(28), 42-52. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v15n28a4>

- Rojas, A. F., Flórez, C. y López, D. F. (2019). Prospectivas de aprovechamiento de algunos residuos agroindustriales. *Revista Cubana de química*, 31(1), 31-52. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=443558027003>
- Rojas, Y. (2017). *Caracterización energética de residuos del procesamiento de frutas* [tesis de pregrado, Universidad Nacional de Colombia sede Manizales]. Repositorio Institucional
- Ruales, A. V. (2015). *Evaluación del potencial energético y bioactivo de los residuos generados por la producción y transformación de la uva* [tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia sede Manizales]. Repositorio institucional <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/54210/1115063456.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ruales, A. V., Rojas, A. F y Barraza, J. M. (2018). Caracterización termogravimétrica de carbonizados de residuos provenientes de la uva Isabella (*Vitis labrusca*). *Ingeniería y Desarrollo*, 36(2), 398-417. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.14482/inde.36.2.10379>
- Saidur, R., Abdelaziz, E. A., Demirbas, A., Hossain, M. S. y Mekhilef, S. (2011). A review on biomass as a fuel for boilers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1(15), 2262-2289. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.02.015>
- Sánchez, J., Ramírez, G. y Barajas, M. (2016). Comparative kinetic study of the pyrolysis of Mandarin and pineapple peel. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 118, 192-201. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2016.02.004>
- Sarkar, J. K. y Wang, Q. (2020). Different pyrolysis process conditions of South Asian waste coconut shell and characterization of gas, bio-char, and bio-oil. *Energies*, 13(8), 1-14. <https://doi.org/10.3390/en13081970>
- Shen, J., Zhu, S., Liu, X., Zhang, H. y Tan, J. (2010). The prediction of elemental composition of biomass based on proximate analysis. *Energy Conversion and Management*, 51, 983-987. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2009.11.039>
- Sheng, C. y Azevedo, J. (2004). Estimating the higher heating value of biomass fuels from basic analysis data. *Biomass and Bioenergy*, 28 (5), 499-507. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2004.11.008>
- Shiung, S., Keey, R., Yi, X., Nasir, F. y Jusoh, A. (2016). Fruit waste as feedstock for recovery by pyrolysis technique. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 113, p 325-333. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.02.021>
- Siddiqi, H., Bal, M., Kumari, U. y Meikap, B. C. (2020). In-depth physiochemical characterization and detailed thermo-kinetic study of biomass wastes to analyze

- its energy potential. *Renewable Energy*, 148, 756-771. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.10.162>
- Siddiqui, M. T. H., Nizamuddin, S., Mubarak, N. M., Shirin, K., Aijaz, M., Hussain, M. y Baloch, H. A. (2019). Characterization and Process Optimization of Biochar Produced Using Novel Biomass, Waste Pomegranate Peel: A Response Surface Methodology Approach. *Waste and Biomass Valorization*, 10(3), 521-532. <https://doi.org/10.1007/s12649-017-0091-y>
- Sluiter, A., Hames, B., Hyman, D., Payne, C., Ruiz, R., Scarlata, C., Sluiter, J., Templeton, D., Wolfe, J. (2008). *Determination of total solids in biomass and total dissolved solids in liquid process samples*. National Renewable Energy Laboratory. <http://purl.access.gpo.gov/GPO/LPS94120>
- Sluiter, A., Hames, B., Ruiz R., Scarlata, C., Sluiter, J. y Templeton, D. (2005a). *Determination of ash in biomass*. National Renewable Energy Laboratory. <https://bit.ly/42LSDkn>
- Solano, A. y Mendoza, C. (2014). Caracterización de los residuos de cultivos agrícolas de aguacate, arracacha, frijol, guayaba y piña producidos en santander, Colombia. Universidad Industrial de Santander.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H. y Vigil, S. (1994). *Gestión integral de residuos sólidos, vol. I*. McGraw-Hill.
- Tillman, D. A. (1978). *Wood as an Energy Resource*. Elsevier.
- Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). (01 de diciembre de 2013). *Tecnología de frutas y hortalizas. Contenido didáctico del curso: 301107*. <https://bit.ly/3M0Afym>
- Uçar, S., Erdem, M., Tay, T. y Karagöz, S. (2009). Preparation and characterization of activated carbon produced from pomegranate seeds by ZnCl₂ activation. *Applied Surface Science*, 255(21), 8890-8896. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2009.06.080>
- Urhán, R. M. (2000). *Mejora de la eficiencia de la combustión de carbones utilizados en el Valle del Cauca mediante un estudio previo de su reactividad. Informe final presentado a Ecocarbon-Colciencias*. <https://bit.ly/42OMlQP>
- Vargas, J., Callejón, A. J., Pérez, J. y Velázquez, B. (2012). A review of the mathematical models for predicting the heating value of biomass materials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 30653083. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.054>
- Vargas, Y. A. y Pérez, L. I. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales para el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 14(1), 59-72. <https://doi.org/10.18359/rfcb.3108>

- Vargas-Moreno, J. M., Callejon-Ferre, A. J., Perez-Alonso, J. y Velazquez-Marti, B. (2012). A review of the mathematical models for predicting the heating value of biomass materials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 3065-3083. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.054>
- Vassilev, S. V., Baxter, D., Andersen, L. K., Vassileva, C. G. y Morgan, T. J. (2012). An overview of the organic and inorganic phase composition of biomass. *Fuel*, 94, 1-33. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.09.030>
- Wang, C., Wang, F., Yang, Q. y Liang, R. (2009). Thermogravimetric studies of the behavior of wheat straw with added coal during combustion. *Biomass and Bioenergy*, 33, 50-56. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.04.013>

Capítulo 4. Caracterización química de las cáscaras y semillas de frutas – Parte 2

En los últimos treinta años la industria en general y, especialmente la agroindustria colombiana, ha intensificado sus procesos, debido principalmente al aumento en la demanda y al ingreso de nueva tecnología en procesos de manufactura. Los procesos intensificados han provocado un incremento en la generación de residuos, que requieren ser dispuestos o tratados para evitar la contaminación ambiental. El sector agroindustrial de frutas, donde se producen pulpas, jugos, néctares, vinos, frutas en almíbar, frutas deshidratadas, helados, confites, cereales, entre otros, genera residuos tales como: cáscaras, semillas, pedúnculos, tallos, hojas, coronas, pulpa y sarmientos. Los residuos requieren ser caracterizados tanto para su disposición como para su aprovechamiento y valorización. En cuanto a su disposición, la caracterización de los residuos evita modificar las propiedades del suelo y previene la contaminación de fuentes de agua. La caracterización proporciona información de sus constituyentes, para su aprovechamiento y valorización, con lo que da información importante sobre las posibilidades de sus usos en sectores como la agroindustria de biofertilizantes, la alimentación humana y animal, la obtención de sustancias con aplicación farmacéutica, etc.

Como se mencionó en el capítulo anterior, la caracterización de los residuos agroindustriales generados en el cultivo y procesamiento de frutas se realiza por medio del análisis de sus características físicas y químicas. Las características físicas de los residuos de cáscaras y semillas de frutas fueron tratadas y analizadas en el capítulo dos, mientras que las características químicas se analizan en los capítulos tres y cuatro.

Los análisis próximo, último y de poder calorífico superior son empleados como base fundamental para determinar las aplicaciones energéticas de materiales como los residuos de cáscaras y semillas de frutas, como ya se abordó en el capítulo dos. En el presente capítulo se tratarán los resultados de los análisis de composición estructural, bromatológico y de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de cáscaras y semillas de algunas frutas. Los análisis permiten establecer los posibles aprovechamientos

de los residuos de frutas, para ser empleados como materia prima en industrias como la alimenticia, farmacéutica, química y cosmética.

Caracterización por análisis de composición estructural

Los residuos de frutas están constituidos por componentes estructurales como celulosa, hemicelulosa y lignina, y componentes no estructurales como extractivos, humedad y cenizas (Abril y Navarro, 2012). A la suma de celulosa y hemicelulosa se le conoce como holocelulosa, la cual se define como un polisacárido de elevado peso molecular que representa entre un 60 a un 80 % de la constitución de los vegetales (Barroso, 2010). A continuación, se realizará una breve descripción de los componentes estructurales y no estructurales de los residuos de frutas.

Celulosa

Este componente estructural es un homopolímero lineal de cadena largo, con alto grado de polimerización y alto peso molecular. Este material es el componente principal de las paredes celulares de los vegetales y constituye la estructura esquelética de la mayoría de la biomasa terrestre (Basu, 2010a; Barroso, 2010). Su estructura es fibrosa, blanca, estable y resistente tanto al ataque químico como a la acción de las enzimas y a la tracción mecánica. Su resistencia se debe principalmente a que la celulosa presenta una estructura cristalina de miles de unidades compuestas por moléculas de d-glucosa, que se unen a través de enlaces glucosídicos β -(1,4), por medio de puentes de hidrógeno en las posiciones 1 y 6 (Basu, 2010a; Barroso, 2010). Al monómero o unidad de repetición en la celulosa se le conoce como celobiosa (Jedvert y Heinze, 2017). Por su estructura cristalina, es insoluble en agua, a pesar de tener una gran cantidad de grupos hidroxilos en su estructura. Esto tiene implicaciones importantes en cuanto a los procesos a los que se somete la biomasa lignocelulósica, pues esta estructura limita el ataque de diferentes reactivos químicos y enzimas (Álvarez *et al.*, 2012). Por tanto, la celulosa no puede ser digerida por el ser humano y por la mayoría de los animales, a pesar de ser un carbohidrato (Abril y Navarro, 2012; Basu, 2010a).

La celulosa cuenta con gran variedad de aplicaciones no solo en la industria del papel, sino también en las industrias textil, alimenticia, de explosivos, azúcares fermentables y biomateriales compuestos (Carreño *et al.*, 2012; Álvarez *et al.*, 2012). Este biopolímero se puede derivar en éteres y ésteres de celulosa, que tienen grandes aplicaciones en la industria. Los principales éteres de celulosa son la metilcelulosa, etilcelulosa, hidroxie-

tilcelulosa, hidroxipropilcelulosa, hidroxipropilmetilcelulosa, carboximetilcelulosa y carboximetilcelulosa sódica (Shokri y Adibkia, 2013). Estos éteres de celulosa tienen aplicaciones como espesantes, estabilizantes, formadores de película, emulsificantes, agentes de suspensión y ligantes. Para el caso específico del éter hidroxipropilmetilcelulosa, se utiliza en la producción de adhesivos, materiales de construcción, artículos de cuidado personal, detergentes, surfactantes, pinturas, tintas, recubrimientos, alimentos, textiles y compuestos agrícolas (GinShiCel, 2013).

Entre los principales ésteres de celulosa están el acetato de celulosa, acetato ftalato de celulosa, acetato butirato de celulosa, trimelitato de acetato de celulosa y ftalato de hidroxipropilmetil celulosa. Los anteriores ésteres se utilizan especialmente en la industria farmacéutica (Shokri y Adibkia, 2013). Sin embargo, el acetato de celulosa se puede utilizar como base para películas fotográficas, filtros de cigarrillos, marcos de gafas, juguetes y mangos de herramientas, así como en la producción de pinturas y en la fabricación de membranas empleadas como medios de separación (Pérez *et al.*, 2013).

Hemicelulosa

La hemicelulosa es un biopolímero de cadenas ramificadas de menor grado de polimerización que la celulosa, es amorfo y poco resistente. También, hace parte de las paredes celulares de las plantas (Basu, 2010a). Algunas hemicelulosas en las plantas son los xilanos, mananos, glucanos, galactanos y galacturanos; de estos, los xilanos y los mananos representan los grupos de hemicelulosas más importantes (Abril y Navarro, 2012). Algunas hemicelulosas de plantas están constituidas por xilosa, manosa, glucosa y galactosa (Kaith *et al.*, 2011).

La hemicelulosa se puede utilizar para producir furfural, del cual se obtienen compuestos como alcohol furfurílico, furfurilamina, ácido furoico, ácido furanacrílico, furano y tetrahidrofurano. El furfural se emplea como disolvente en el refinado de aceites y, junto al alcohol furfurílico, se puede usar en procesos de obtención de resinas (Centro de Desarrollo Tecnológico - LEIA, 2007). Por fermentación de la hemicelulosa se puede obtener etanol y xilitol. Del etanol se puede sintetizar etileno, acetaldehído, ésteres de etilo, éteres de etilo y biocombustibles (Centro de Desarrollo Tecnológico - LEIA, 2007). El xilitol es empleado para prevenir las caries, inhibir el crecimiento bacteriano en la saliva, mejorar el flujo salivar, disminuir el efecto adherente de microorganismos y reducir la producción de ácido que, a su vez, reduce la desmineralización del esmalte de los dientes (Panesso *et al.*, 2012). También, a partir de la hemicelulosa, se produce ácido acético, el cual se utiliza como preservativo, saborizante, estabilizante,

emulsificante, regulador del pH en procesos de curado y fermentación de alimentos, y en preparaciones farmacéuticas. Además, el ácido acético es la materia prima para la síntesis de polímeros y resinas (Sucroal S.A., 2015).

Lignina

Es un polímero aromático que presenta una estructura tridimensional compleja, está altamente ramificado y es amorfo (Basu, 2010a; Barroso, 2010). Este biopolímero es uno de los más abundantes en la pared celular de las plantas, así como la celulosa y la hemicelulosa (Pantoja *et al.*, 2015). Su estructura es una de las más complejas y está constituida por unidades fenilpropánicas (Chávez y Domine, 2013a), que le dan propiedades hidrofóbicas, aromáticas y de insolubilidad (es insoluble en ácido sulfúrico) (Núñez, 2008).

La lignina se utiliza para obtener vainillina y lignosulfonatos, y puede ser usada como copolímero para la síntesis de resinas y polímeros (Chávez y Domine, 2013b). La lignina sulfonada es utilizada en la producción de papel y como estabilizador de lodos y emulsiones. Por su parte, la lignina no sulfonada se emplea en la industria alimenticia para obtener vainillina (Álvarez *et al.*, 2012; Jiménez y González, 1991). Los lignosulfonatos se emplean como: agentes ligantes en la industria de fertilizantes, plastificantes de hormigón en la producción de ladrillos y materiales cerámicos, dispersantes y emulsionantes, auxiliares de molienda, fluidos de perforación de pozos petrolíferos, agentes de curtido, y como insumos para la fabricación de tablas de yeso y resinas fenólicas (Centro de Desarrollo Tecnológico - LEIA, 2007).

Extractivos

Estos componentes no estructurales son compuestos orgánicos de bajo peso molecular. Se dividen en extractivos lipofílicos y extractivos hidrofílicos. Entre los extractivos lipofílicos están los terpenos, lignanos, compuestos aromáticos, grasas, ceras, ácidos grasos, alcoholes, serpentinas y algunos compuestos fenólicos (Abril y Navarro, 2012). Mientras que entre los extractivos hidrofílicos se encuentran los compuestos fenólicos libres como estilbeno, oligolignoles y derivados, taninos, flavonoides, entre otros (Prinsen, 2010). Por tanto, los compuestos extractivos se pueden extraer empleando solventes polares (agua, etanol, acetona, diclorometano) y no polares (éter y benceno) (Ruales, 2015).

Los principales compuestos extractivos son los compuestos fenólicos, que son metabolitos secundarios de las plantas con diferentes estructuras químicas y actividad. Sus estructuras moleculares contienen al menos un grupo fenol, es decir, un anillo aromático unido a un grupo funcional hidroxilo (Echavarría *et al.*, 2009). Los compues-

tos fenólicos tienen la capacidad de inhibir o retrasar la oxidación de otras moléculas por medio de la inhibición de la reacción de oxidación. Su actividad antioxidante está asociada con el papel que cumple en la prevención de enfermedades cardiovasculares y el cáncer, así como en procesos de envejecimiento (Martínez-Valverde *et al.*, 2000). Entre los compuestos fenólicos están los terpenos (como hormonas, pigmentos y aceites esenciales), que son utilizados como aromatizantes en la industria alimentaria y farmacéutica. Además, estos compuestos tienen propiedades anticarcinogénicas, antiulcerosas, antimalaricales, antimicrobianas, entre otras (Ávalos y Pérez-Urria, 2009).

Humedad

Es otro componente no estructural, que corresponde a la cantidad de agua presente en los residuos. Es necesario caracterizar la humedad porque afecta la calidad del proceso de combustión, dado que afecta la cantidad de energía contenida en el residuo que se puede aprovechar (Flórez, 2020). Un contenido alto de humedad en el residuo se ve reflejado en un bajo poder calorífico superior y en la reducción de la cantidad de energía que se puede aprovechar (Jara, 2009). Lo anterior, se debe a que parte de la energía que libera el residuo durante la combustión es empleada por el agua para pasar de su estado líquido al estado gaseoso, para luego salir en los gases de combustión (Rojas, 2018). Cabe señalar, que en procesos de hidropirólisis el contenido de humedad favorece la pirólisis del residuo para obtener una mayor fracción líquida en el proceso. De igual manera, un alto contenido de humedad en los residuos hace más fácil su descomposición por la acción de los microorganismos, como es el caso de la obtención de biogás por fermentación anaerobia (Erkmen y Bozoglu, 2016).

Cenizas

Es un componente de la biomasa que resulta de la oxidación de la materia mineral presente en los residuos, luego de que experimenta la reacción de combustión. La ceniza está constituida principalmente por óxidos como SiO_2 y CaO y, en menor proporción, por óxidos de magnesio, aluminio, potasio y fósforo (Melissari, 2012). Sin embargo, las cenizas pueden tener un carácter ácido o un carácter básico. Las cenizas ácidas contienen principalmente SiO_2 , Al_2O_3 y TiO_2 , mientras que las cenizas básicas están formadas por FeO_2 , MgO , CaO , K_2O y Na_2O (Rojas, 2018). El tipo de ceniza afecta el equipo de combustión, de tal manera que las cenizas ácidas generan corrosión y las cenizas básicas producen incrustaciones en las paredes o tubos de las calderas (Demirbas, 2010; Basu, 2010b).

El contenido de cenizas en la biomasa puede variar desde 0.50 %, para algunas maderas, hasta 20 % en cereales o desechos de la industria agropecuaria (Melissari, 2012). Un contenido de cenizas mayor a 8 % limita el aprovechamiento del residuo, dado que se reduce su poder calorífico, se genera pérdida de calor en las calderas si estas se incrustan, se incrementa el material particulado en los gases de chimenea y se aumenta la frecuencia de mantenimiento de las calderas (Castells *et al.*, 2005; Cuiping *et al.*, 2004; Rojas, 2018).

En las tablas 4.1 y 4.2 se presenta la caracterización química o estructural de cáscaras y semillas de algunas frutas, en base seca libre de ceniza y de extractivos, que se encuentra registradas en la literatura. Es importante anotar, que hay poca información de la composición estructural de las semillas de frutas.

Tabla 4.1. Caracterización química o estructural de cáscaras de algunas frutas en base seca libre de ceniza y de extractivos, reportada en la literatura

Cáscaras de	CEL (%)	HEM (%)	LIG (%)	Referencias
Aguacate	48.18	44.19	7.63	(Araújo <i>et al.</i> , 2018)
Banano	25.00	15.00	60.00	(Moreira, 2013)
Coco	48.52	0.28	51.20	(Puentes y Joya, 2005)
Lima	44.35	36.67	18.98	(Adeniyi <i>et al.</i> , 2019)
Limón	64.41	26.84	8.75	(Ververis <i>et al.</i> , 2006)
Lulo	39-46	5-11	25-29	(González <i>et al.</i> , 2016)
Melón	44.40	13.15	42.45	(Gómez <i>et al.</i> , 2021)
Mandarina	54.45	21.02	24.53	(Tejada <i>et al.</i> , 2014)
Mango	32.88	51.91	15.21	(Orozco <i>et al.</i> , 2014)
Maracuyá	32-35	13-35	35-43	(González <i>et al.</i> , 2016)
Naranja	56.63	25.06	18.31	(Tejada <i>et al.</i> , 2014)
Papaya	75.52	6.09	18.39	(Tejada <i>et al.</i> , 2014)
Piña	55.17	12.12	32.71	(Ramírez y Reyes, 2017)
Plátano	44.53	16.88	38.59	(Tejada <i>et al.</i> , 2014)
Sandía	37.74	43.40	18.86	(Ibrahim <i>et al.</i> , 2016)
Tamarindo	49.13	12.12	38.75	(Kuprianov y Arromdee, 2013)
Tomate de árbol	44-45	6-13	20-25	(González <i>et al.</i> , 2016)

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4.2. Caracterización química o estructural de semillas de algunas frutas en base seca libre de ceniza y de extractivos, reportada en la literatura

Semillas de	CEL (%)	HEM (%)	LIG (%)	Referencias
Aguacate	11.54	85.27	3.19	(Araújo <i>et al.</i> , 2018)
Mandarina	67.77	23.52	8.71	(Oberoi, <i>et al.</i> , 2012)
Mango	55.31	20.71	23.98	(Alves <i>et al.</i> , 2013)
Maracuyá	75.10	13.20	11.70	(Fachinello <i>et al.</i> , 2016)
Naranja	49.41	15.47	35.12	(Fernández <i>et al.</i> , 2004)

Fuente: elaboración propia.

Método de análisis de composición estructural

La composición estructural de los residuos se determina mediante la cuantificación de los compuestos extractivos (EXT), lignina (LGN), celulosa (CEL), hemicelulosa (HMC) y compuestos inorgánicos (cenizas y humedad o materia seca). La materia seca se obtiene por medio de la norma ASTM E1756-01, la ceniza por la norma ASTM E1755-01, los extractivos según la norma NREL/TP-510-42619, la lignina ácido insoluble (LGN) o lignina de Klason siguiendo la norma NREL/TP-510-42618, la holocelulosa (HLC) a través de la norma ASTM D1104 y la celulosa por la metodología planteada por Han y Rowell (1997). A continuación, se presenta el procedimiento para determinar la composición estructural de los residuos de frutas.

Antes de explicar los procedimientos para determinar cada componente del análisis estructural, se abordará el pretratamiento que se debe realizar a los residuos, el cual es llevado a cabo siguiendo la norma NREL/TP-510-42620. De acuerdo con esta norma, los residuos al ser generados se deben almacenar a -20°C . Cuando los residuos son congelados, se deben dejar descongelar a temperatura ambiente durante ocho horas. Después de ese tiempo, los residuos se reducen manualmente de tamaño por medio de un cuchillo y empleando guantes y tapabocas para no contaminar la muestra. Posteriormente, en una mufla se secan a una temperatura entre 40 y 50°C por un tiempo de 72 h o hasta peso constante. Una vez están secos los residuos, se reducen de tamaño en un molino de discos hasta que pasen por la malla 60. Finalmente, el residuo seco y pulverizado se almacena en una bolsa plástica de selle hermético a temperatura ambiente en el interior de un desecador. Las ecuaciones empleadas para los cálculos de los porcentajes de cada uno de los componentes del análisis estructural se presentan en la tabla 4.3.

Tabla 4.3. Ecuaciones empleadas para determinar la composición estructural de los residuos

Ecuación	Ecuación Número	Referencia
$\%MS = \frac{P_{R\ seco}}{P_R} * 100\%$	4.1	(Sluiter <i>et al.</i> , 2008)
$\%CZ = \frac{P_{CZ}}{P_R} * 100\%$	4.2	(Sluiter <i>et al.</i> , 2005a)
$\%EXT_{\text{agua}} = \frac{P_{B+EXT_{\text{agua}}} - P_B}{P_R} * 100\%$	4.3	(Sluiter <i>et al.</i> , 2005b)
$\%EXT_{\text{etanol}} = \frac{P_{B+EXT_{\text{etanol}}} - P_B}{P_R} * 100\%$	4.4	(Sluiter <i>et al.</i> , 2005b)
$\%EXT = \%EXT_{\text{agua}} + \%EXT_{\text{etanol}}$	4.5	(Sluiter <i>et al.</i> , 2005b)
$\%LGN = \frac{P_{LGN}}{P_{R\ lExt}} * 100\%$	4.6	(Sluiter <i>et al.</i> , 2012 y 2005b)
$\%HLC = \frac{P_{HLC}}{P_{R\ lExt}} * 100\%$	4.7	(Sluiter <i>et al.</i> , 2005b)
$\%CEL = \frac{P_{CEL}}{P_{HLC}} * \%HLC$	4.8	(Han y Rowell, 1997)
$\%HMC = \%HLC - \%CEL$	4.9	(Han y Rowell, 1997)

MS: Materia seca, CZ: Cenizas, EXT_{agua} : Extractivos en agua, EXT_{etanol} : Extractivos en etanol, EXT: Extractivos totales, LGN: Lignina, HLC: Holocelulosa, CEL: Celulosa, HMC: Hemicelulosa, P_R : Peso del residuo, $P_{R\ seco}$: Peso del residuo seco, P_B : Peso del balón, $P_{B+EXT_{\text{agua}}}$: Peso del balón más extractivos solubles en agua, $P_{B+EXT_{\text{etanol}}}$: Peso del balón más extractivos solubles en etanol, $P_{R\ lExt}$: Peso del residuo libre de extractivos totales, P_{CZ} : Peso de las cenizas, P_{LGN} : Peso de la lignina, P_{HLC} : Peso de la holocelulosa, y P_{CEL} : Peso de la celulosa.

Fuente: modificado de Flórez (2018).

Determinación del contenido de materia seca y contenido de ceniza

El contenido de materia seca se obtiene pesando 1 g de muestra en un crisol de porcelana, el cual se seca en una mufla a 105 °C por 24 h o hasta peso constante, de acuerdo con la norma ASTM E1756-01. El peso final después del secado se registra y se utiliza la ecuación 4.1 de la tabla 4.3. El procedimiento para determinar el porcentaje de ceniza se explicó en la sección de la metodología del análisis próximo, y para su cálculo se utiliza la ecuación 4.2.

Determinación de los compuestos extractivos

Para este fin, el residuo se somete a dos extracciones sucesivas (una con agua y la otra con etanol), por medio del método Soxhlet, de acuerdo con la norma NREL/TP-510-42619. Para las extracciones con solvente se toma entre 8 y 10 g de muestra (P_R : Peso del residuo) y se empaca en un cartucho hecho con papel filtro. El cartucho se introduce al Soxhlet y en el balón de fondo redondo se adicionan 180 mL de agua destilada. La extracción se realiza por 24 h. Posteriormente, los cartuchos se secan a 45 °C por 72 h o hasta peso constante. Nuevamente se ingresan los cartuchos al Soxhlet, pero ahora la extracción se realiza con etanol al 99 % durante 24 h. Al cabo de este tiempo se retiran los cartuchos y se secan a 45 °C por 72 h o hasta peso constante. El líquido obtenido en cada extracción Soxhlet se lleva a un rotaevaporador para recuperar el solvente. Al recuperar el agua se obtiene el extractivo en agua (EXT_{agua}), mientras que al recuperar el etanol se obtiene el extractivo en etanol (EXT_{etanol}).

Para conseguir el peso del extractivo en agua o en etanol, se pesa el balón de vidrio (P_B : Peso del balón) que se va a utilizar en el equipo Soxhlet antes de adicionar el líquido de la extracción y, después de recuperar el solvente, se pesa el balón de vidrio con el respectivo extractivo (P_{B+EXT} : Peso del balón más extractivos). La diferencia entre los dos pesos es el peso del extractivo en agua o en etanol. Los porcentajes de estos extractivos se calculan por medio de las ecuaciones 4.3 y 4.4, respectivamente. El porcentaje de extractivos totales ($\%EXT$) se obtiene sumando los porcentajes de los extractivos en etanol y en agua, de acuerdo con la ecuación 4.5.

Determinación del contenido de lignina ácido insoluble

Para hallar el contenido de lignina, celulosa y hemicelulosa, se parte del residuo después de haberle realizado la determinación de los extractivos totales. Es decir, se toma al material sólido que quedó en los cartuchos de papel filtro después de la extracción con etanol y seco hasta peso constante. A este material sólido, sin los extractivos, se le llama residuo libre de extractivos. Para el análisis se ponen 300 mg ($P_{R.l.Ext}$: Peso del residuo libre de extractivos totales) del residuo libre de extractivos en un tubo de ensayo y se adiciona 3 mL de ácido sulfúrico al 72 %. El tubo de ensayo se sitúa en un baño térmico con agitación a 30 °C y durante 1 h. Posterior a este tiempo, la mezcla se pasa a un erlenmeyer de 250 mL, se agregan 84 mL de agua destilada y se lleva a un autoclave durante 1 hora a 121 °C. Después del proceso del autoclave, la mezcla se filtra a vacío utilizando papel filtro. El papel filtro que contiene la lignina se seca a 45 °C por 72 h o hasta peso constante.

Este procedimiento se desarrolla conforme a la norma NREL/TP-510-42618. Para determinar el porcentaje de lignina, se pesa el papel filtro antes de hacer la filtración y se pesa nuevamente después de la filtración y de haberse secado hasta peso constante. La diferencia entre los dos pesos es el peso de la lignina (P_{LGN} : Peso de la lignina), mientras que el porcentaje de lignina libre de extractivos se calcula dividiendo P_{LGN} por $P_{Rl.Ext}$ y multiplicándolo por 100 %, como se mostró en la ecuación 4.6.

Determinación del contenido de holocelulosa

Para este análisis se pesa en un erlenmeyer de 250 mL, 2.0 ± 0.5 g del residuo libre de extractivos ($P_{Rl.Ext}$), al cual se le adicionan 80 mL de agua destilada a 70°C , además de 0.5 mL de ácido acético glacial al 99.7 % y 1 g de clorito de sodio. Esta mezcla se tapa situando un erlenmeyer de 25 mL de forma invertida en la boca del primer erlenmeyer, con el propósito de que los gases generados salgan lentamente al ambiente. La mezcla se lleva a un baño térmico con agitación a 70°C durante 6 h. En el transcurso de este tiempo, cada hora se adicionan 0.5 mL de ácido acético al 99,70 % y 1 g de clorito de sodio. Pasadas las 6 h, la mezcla se deja en el baño térmico con agitación a 70°C durante 24 h más. Transcurrido este tiempo, la mezcla se deja enfriar hasta temperatura ambiente, luego se filtra al vacío utilizando papel filtro previamente pesado y, finalmente, el papel filtro con la holocelulosa se seca a 45°C durante 72 h o hasta peso constante.

Este procedimiento se debe hacer en una cámara de extracción para que la persona que realiza el análisis no inhale los gases, de acuerdo con la norma ASTM D1104. Para determinar el porcentaje de holocelulosa, se pesa el papel filtro antes y después de hacer la filtración, y posterior a su respetivo secado. La diferencia de estos dos pesos es el peso de la holocelulosa en base libre de extractivos (P_{HCL} : Peso de la holocelulosa), mientras que el porcentaje de holocelulosa libre de extractivos se calcula dividiendo P_{HCL} por $P_{Rl.Ext}$ y multiplicado por 100 %, como se presentó en la ecuación 4.7.

Determinación del contenido de α -celulosa y hemicelulosa

Este análisis parte de la holocelulosa obtenida en el paso anterior. Se toman 1.5 ± 0.2 g de la holocelulosa libre de extractivos (P_{HCL} : Peso de la holocelulosa) en un beaker de 250 mL y se agregan 10 mL de NaOH al 17.50 %. El beaker se tapa con un vidrio de reloj y se lleva a un baño térmico a 20°C . Al beaker se le adicionan 5 mL de NaOH cada 5 min durante tres oportunidades. Después de adicionar los últimos 5 mL de NaOH, es necesario dejar reposar la mezcla por 30 min. Posteriormente, se agregan 33 mL de agua destilada a 20°C y se deja en reposo durante 1 h. Al cabo de este tiempo, la mezcla se

centrifuga a 8000 rpm, se filtra al vacío con papel filtro (previamente pesado), lavando con NaOH al 8.30 % a 20 °C y agua destilada. Esto facilita la filtración y permite llevar al sólido presente en el papel filtro a un pH neutro. Finalmente, se suspende el vacío, se adicionan 10 mL de ácido acético al 10 %, se espera durante 3 min y se reanuda el vacío para seguir la filtración, lavando nuevamente con agua destilada para neutralizar el pH. El filtro con la celulosa se lleva a una mufla para secarlo a 45 °C durante 72 h o hasta peso constante. El papel filtro seco se pesa y la diferencia del peso del filtro (antes de su uso y después del secado), es el peso de celulosa libre de extractivos (P_{CEL} : Peso de la celulosa) del residuo que se está analizando.

El porcentaje de celulosa libre de extractivos se calcula al dividir el peso de la celulosa (P_{CEL} : Peso de la celulosa) y el peso de la hemicelulosa utilizada en el análisis (P_{HCL} : Peso de la holocelulosa), multiplicado por el porcentaje de la hemicelulosa libre de extractivos (%HLC), de acuerdo con la ecuación 4.8. Este procedimiento sigue la misma metodología reportada por Han y Rowell (1997). El porcentaje de hemicelulosa libre de extractivos (%HMC) se calcula restando del porcentaje de hemicelulosa (%HLC) (Ec. 4.7) el porcentaje de celulosa (%CEL) (Ec. 4.8), conforme se mostró en la ecuación 4.9.

Características de la composición estructural de las cáscaras y semillas de frutas

En la presente investigación, se caracterizaron diecisiete residuos de frutas, once cáscaras y seis semillas de frutas por medio del análisis estructural. Las cáscaras que se caracterizaron fueron de las frutas: árbol del pan, banano, guanábana, lulo, mandarina, mango, maracuyá, naranja, piña, tomate de árbol y uva. Los resultados del análisis estructural de las once cáscaras de frutas se presentan en la tabla 4.4. En esta tabla se reporta el porcentaje de celulosa (%CEL), hemicelulosa (%HEM) y lignina (%LIG) en base seca libre de ceniza y extractivos, al igual que el porcentaje de materia seca (%MS), porcentaje de ceniza (%CZ) y el contenido de extractivos totales (%EXT). La tabla 4.4 también reporta que, a excepción de las cáscaras de uva y las cáscaras del tomate de árbol, el componente estructural mayoritario de las cáscaras es la celulosa. El contenido de celulosa en estas cáscaras de fruta está entre 32.97 % en las cáscaras de tomate de árbol y 51.73 % en las cáscaras de banano. El porcentaje de hemicelulosa se encuentra entre 13.33 % en las cáscaras de mango y 57.66 % en las cáscaras de uva, mientras que la lignina varía entre 4.19 % en las cáscaras de uva y 37.30 % en las cáscaras de mandarina.

Respecto del porcentaje de extractivos, la tabla indica que varía entre 32.17 % en las cáscaras de lulo y 77.50% en las de naranja. De estos extractivos se obtienen los compuestos bioactivos, caracterizados por su apreciable capacidad antioxidante. Por lo

tanto, se recomienda extraer los compuestos de las cáscaras con mayores contenidos de extractivos de frutas como: naranja, mandarina, piña y árbol del pan. No se recomienda obtener los extractos de cáscaras de frutas como lulo, banano y guanábana, debido al bajo rendimiento de la operación de extracción, causado por el bajo contenido de extractivos.

Tabla 4.4. Caracterización química o estructural de cáscaras de algunas frutas en base seca libre de ceniza y de extractivos (% CEL+% HEM+% LIG = 100%)

Residuo	MS (%)	CZ (%)	CEL (%)	HEM (%)	LIG (%)	EXT (%)
Cáscara del árbol del pan	25.46	8.69	51.57	24.33	24.11	69.63
Cáscara de banano	13.78	8.94	51.73	35.10	13.17	45.61
Cáscara de guanábana	31.98	6.22	51.10	14.01	34.88	46.98
Cáscara de lulo	14.79	6.06	36.80	30.07	33.13	32.17
Cáscara de mandarina	22.81	3.05	47.14	15.56	37.30	76.45
Cáscara de mango	21.87	2.80	51.41	13.33	35.26	67.88
Cáscara de maracuyá	11.34	8.03	51.38	23.62	25.00	67.53
Cáscara de naranja	25.42	3.53	47.91	28.09	23.99	77.50
Cáscara de piña	14.52	4.81	42.01	44.72	13.27	69.79
Cáscara de tomate de árbol	17.04	8.67	32.97	48.91	18.12	60.33
Cáscara de uva	67.70	3.23	38.15	57.66	4.19	63.70

Fuente: elaboración propia.

La tabla 4.5 muestra la relación entre los constituyentes estructurales (%hem/%lig y %cel/%lig) de algunas cáscaras, incluido el porcentaje de holocelulosa (% hlc), el cual es la suma del porcentaje de celulosa (%cel) y hemicelulosa (%hem). Las relaciones entre la hemicelulosa y la celulosa con la lignina, de materiales lignocelulósicos como las cáscaras de frutas, son empleadas para establecer un posible rendimiento en el proceso de pirólisis, en cuanto a producción de una fracción sólida (carbonizado), una fracción líquida (bioaceite) y una fracción gaseosa (Basu, 2010c). Para analizar los datos de la tabla 4.5, con el propósito de establecer los rendimientos del proceso de pirólisis, se deben tener en cuenta los siguientes criterios (Basu, 2010a):

- **Rendimiento tipo 1:** Valores de las relaciones %HEM/%LIG y %CEL/%LIG por encima de 1.3, indican que los residuos tienen mayor contenido de hemicelulosa y celulosa. En consecuencia, durante el proceso de pirólisis se espera que se genere mayor masa de gases no condensables y menor masa de alquitrán, comparado con los residuos que tengan un mayor contenido de CEL que de HEM.
- **Rendimiento tipo 2:** Valores de las relaciones %HEM/%LIG y %CEL/%LIG menores a 1.3, indican que los residuos presentan mayor porcentaje de lignina. Por lo tanto, se espera que durante el proceso de pirólisis se produzcan compuestos aromáticos, bioaceites, alquitrán y material sólido carbonizado en cantidades considerables, pero baja cantidad de sustancias gaseosas.
- **Rendimiento tipo 3:** Valores de la relación %HEM/%LIG por debajo de 1.3 y valores de la relación %CEL/%LIG por encima de 1.3, indican que los residuos presentan un mayor porcentaje de celulosa y bajo porcentaje de hemicelulosa. Se espera que, al someter estos residuos a un proceso de pirólisis, se obtengan gases condensables y bioaceite, y una cantidad insignificante de carbón.
- **Rendimiento tipo 4:** Valores de la relación %HEM/%LIG por encima de 1.3 y valores de la relación %CEL/%LIG por debajo de 1.3, indican que los residuos presentan un mayor porcentaje de hemicelulosa y bajo porcentaje de celulosa. Al someter estos residuos a un proceso de pirólisis, se espera que se obtenga mayor proporción de gases condensables y una cantidad insignificante de carbón.

De acuerdo con estos criterios y teniendo en cuenta los resultados de la tabla 4.5, se encontró que, después de someter las muestras a un proceso de pirólisis, las cáscaras de frutas que van a presentar un rendimiento tipo 1 son las de: cáscaras de banano, cáscaras de piña, cáscaras de tomate de árbol y cáscaras de uva. Por su parte, las cáscaras del árbol del pan, cáscaras de lulo y cáscaras de mandarina, van a presentar un rendimiento tipo 2 en la pirólisis. Mientras que el rendimiento tipo 3 lo van a experimentar las cáscaras de guanábana, mango, maracuyá y naranja. Es importante señalar, que las cáscaras de frutas se caracterizan por no presentar rendimiento tipo 4 durante su pirólisis.

Para este proyecto se caracterizaron seis semillas de frutas por medio del análisis estructural. Las semillas que se caracterizaron provienen de las frutas: árbol del pan, guanábana, mandarina, naranja, tomate de árbol y uva. Los resultados del análisis de las seis semillas de frutas se presentan en la tabla 4.6, donde es posible observar que, para las seis semillas, el contenido de celulosa se encuentra entre 16.81 %, en las semillas de uva, y 62.68 %, en las semillas de naranja; el porcentaje de hemicelulosa está entre 14.55 %, en las semillas de naranja, y 64.19 %, en las del árbol del pan; el contenido de

lignina varía de 19.08 %, en las semillas del árbol del pan, a 59.26 %, en las semillas de uva; y el porcentaje de extractivos totales se encuentra en el rango de 37.92 %, en las semillas del árbol del pan, y 57.41 %, en las semillas del tomate de árbol.

Tabla 4.5. Relación de constituyentes estructurales de cáscaras de algunas frutas

Residuo	HLC (%)	%HEM/ %LIG	%CEL/ %LIG	Tipo de rendimiento de la pirólisis
Cáscara del árbol del pan	75.89	1.01	2.14	Rendimiento 2
Cáscara de banano	86.83	2.67	3.93	Rendimiento 1
Cáscara de guanábana	65.12	0.40	1.47	Rendimiento 3
Cáscara de lulo	66.87	0.91	1.11	Rendimiento 2
Cáscara de mandarina	62.70	0.42	1.26	Rendimiento 2
Cáscara de mango	64.74	0.38	1.46	Rendimiento 3
Cáscara de maracuyá	75.00	0.94	2.06	Rendimiento 3
Cáscara de naranja	76.01	1.17	2.00	Rendimiento 3
Cáscara de piña	86.73	3.37	3.16	Rendimiento 1
Cáscara de tomate de árbol	81.88	2.70	1.82	Rendimiento 1
Cáscara de uva	95.81	13.76	9.10	Rendimiento 1

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con estos resultados, y considerando que la celulosa es una fibra entrecruzada, con propiedades de alta resistencia a la tracción, alta flexibilidad y estabilidad, el alto contenido de celulosa en las semillas de naranja y semillas de mandarina sugiere que, estos dos residuos, se pueden aprovechar en la fabricación de biomateriales, obtención de éteres y ésteres de celulosa y producción de bioetanol, procedentes de las industrias de papel, cartón, textil, alimentos, farmacéutica, detergentes y alcohol (Mejía *et al.*, 2007; Shokri y Adibkia, 2013; Rojas *et al.*, 2019).

El alto contenido de hemicelulosa de las semillas del árbol del pan (64.19 %) y las semillas del tomate de árbol (45.05 %), permite proponer que sus residuos se pueden aprovechar y valorizar para la síntesis de furfural y ácido acético, que son sustancias empleadas en las industrias química, alimenticia y farmacéutica (González *et al.*,

2016; Rojas *et al.*, 2019). Las semillas de uva tienen un alto contenido de lignina, por lo que son factibles para la síntesis de vainillina y lignosulfonatos, que son empleados en las industrias química y farmacéutica como materia prima para la obtención de herbicidas, fármacos (papaverina, L-metildopa, L-dopa) y agentes microbianos (trimethoprim) (Chávez y Domine, 2013b; Trapero, 2013). Mientras que las semillas de tomate de árbol, semillas de naranja y semillas de mandarina, presentan los mayores porcentajes de extractivos totales, lo que permite pensar que estos extractivos pueden presentar cantidades apreciables de aceites, polisacáridos, proteínas, sales, compuestos antioxidantes y vitaminas, que se pueden aprovechar en las industrias alimenticia y farmacéutica (Basu, 2010a; Sandak *et al.*, 2017).

Después de comparar los resultados de la composición química o estructural entre las cáscaras y las semillas de algunas frutas, se encontró que las cáscaras presentan, en general, mayor contenido de celulosa que las semillas; mientras que las semillas muestran mayores contenidos de extractivos totales que las cáscaras.

Tabla 4.6. Caracterización química o estructural de semillas de algunas frutas en base seca libre de ceniza y de extractivos (% CEL+% HEM+% LIG = 100 %)

Residuo	MS (%)	CZ (%)	CEL (%)	HEM (%)	LIG (%)	EXT (%)
Semillas del árbol del pan	68.45	3.89	16.73	64.19	19.08	37.92
Semillas de guanábana	73.48	1.58	38.14	33.99	27.87	40.87
Semillas de mandarina	33.26	1.92	52.71	21.25	26.05	47.03
Semillas de naranja	42.60	3.26	62.68	14.55	22.77	53.51
Semillas de tomate de árbol	21.09	4.03	28.67	45.05	26.28	57.41
Semillas de uva	69.40	3.25	16.81	23.93	59.26	40.87

Fuente: elaboración propia.

Para el caso de las semillas, la tabla 4.7 muestra las relaciones %HEM/%LIG y %CEL/%LIG de algunas semillas de frutas, y el porcentaje de holocelulosa (%HLC), el cual es la suma del porcentaje de celulosa (%CEL) y hemicelulosa (%HEM). Los resultados de la tabla evidencian que el contenido de holocelulosa de las semillas de algunas frutas se encuentra entre 40.74 %, en las semillas de uva, y 80.92 %, en las semillas del árbol del pan, que se pueden emplear en la síntesis de etanol por hidrólisis térmica e hidrólisis enzimática (Mejía *et al.*, 2007).

Tabla 4.7. Relación de constituyentes estructurales de semillas de algunas de frutas

Residuo	HLC (%)	%HEM/ %LIG	%CEL/ %LIG	Tipo de rendimiento de la pirólisis
Semillas del árbol del pan	80.92	3.36	0.88	Rendimiento 4
Semillas de guanábana	72.13	1.22	1.37	Rendimiento 3
Semillas de mandarina	73.95	0.82	2.02	Rendimiento 3
Semillas de naranja	77.23	0.64	2.75	Rendimiento 3
Semillas de tomate de árbol	73.72	1.71	1.09	Rendimiento 4
Semillas de uva	40.74	0.40	0.28	Rendimiento 2

Fuente: elaboración propia.

Además, si se desea someter las semillas a un proceso de pirólisis, la mayoría excepto las semillas de uva, tendrán un rendimiento en la pirólisis tipo 4, que se caracteriza por generar grandes cantidades de combustibles gaseosos y bajos porcentajes de carbonizado (fracción sólida) (Basu, 2010a). Estos resultados son de esperarse por el alto contenido de compuestos extractivos en las semillas. Las semillas de frutas, a diferencia de las cáscaras, durante la pirólisis no experimentan rendimientos tipo 1.

Caracterización por análisis de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante

Los alimentos de origen vegetal (como frutas, hortalizas, cereales, plantas medicinales y especias) generan residuos de gran interés, dado que son una fuente de macronutrientes, micronutrientes (hidratos de carbono, minerales, ácidos orgánicos, vitaminas y fibra) y sustancias que pueden tener un impacto importante en el desarrollo de una enfermedad (Martínez-Navarrete *et al.*, 2008), debido a sus propiedades antioxidantes (Flórez, 2020). Estas sustancias son conocidas como compuestos bioactivos o metabolitos secundarios de origen vegetal o fitoquímicos o fitonutrientes.

La propiedad antioxidante de una sustancia le permite inhibir o reducir la velocidad de autoxidación de moléculas oxidables, llamadas comúnmente radicales libres (Valgimigli *et al.*, 2018). En el reino vegetal se considera que existen cuatro grandes grupos de compuestos bioactivos, clasificados en cuatro familias químicas denominadas como

sustancias nitrogenadas, azufradas, terpénicas y fenólicas (Tomás-Barberán, 2003). Las sustancias nitrogenadas y azufradas se encuentran en algunas verduras y tubérculos, mientras que las sustancias terpénicas y fenólicas están en las frutas (Martínez-Navarrete *et al.*, 2008).

Las principales sustancias terpénicas presentes en alimentos de tipo vegetal son: limoneno, carotenoides y fitosteroles. Dentro de los terpenos, los carotenoides (como alfacaroteno, betacaroteno, luteína, licopeno, β -cryptoxantina y zeaxantina) se encuentran en abundancia en frutas cítricas, cerezas, albaricoque, níspero, ciruela amarilla, mango, melocotón y papaya (Kris-Etherton *et al.*, 2002). Mientras que los fitosteroles (como sitosterol, estigmasterol y campesterol) se encuentran principalmente en los aceites de origen vegetal, cereales y frutos secos (Martínez-Navarrete *et al.*, 2008).

Las sustancias o compuestos fenólicos, llamadas también compuestos polifenólicos, provienen principalmente de plantas, por lo que también se conocen como fitofenoles. Estas sustancias son metabolitos secundarios que se sintetizan mediante las rutas metabólicas Shikimato/fenilpropanoide o acetato-malonato/policétida (Quideau *et al.*, 2011; Ruales-Salcedo *et al.*, 2017). Los compuestos fenólicos presentes fundamentalmente en las frutas se clasifican en cuatro grupos: flavonoides (antocianinas, flavonoles y flavonas, flavanonas, chalconas y dihidrochalconas), fenilpropanoides (derivados de ácidos hidroxicinámicos como el ácido cafeico, ácido ferúlico, ácido sinápico y ácido p-cumárico), estilbenoides (resveratrol y piceatanol) y derivados del ácido benzoico (ácido gálico y ácido elágico) (Rivas-Gonzalo y García-Alonso, 2002; Martínez-Navarrete *et al.*, 2008). De estos cuatro grupos de sustancias bioactivas, los flavonoides son el grupo mayoritario, con más de 5000 compuestos diferentes (Martínez-Navarrete *et al.*, 2008).

Los compuestos bioactivos actúan como captadores de radicales, por lo tanto, se consideran antioxidantes esenciales que protegen contra la propagación de la cadena oxidativa de las células (Ainswort y Gillespie, 2007). De esta manera, los compuestos bioactivos previenen enfermedades cardiovasculares, cerebrovasculares, neurodegenerativas y actúan como sustancias con actividad anticarcinógena (Martínez-Navarrete *et al.*, 2008). Sumados a estos efectos en la salud, los compuestos bioactivos, específicamente los compuestos fenólicos, afectan el color y las propiedades sensoriales de los alimentos vegetales que los contienen. Por ejemplo, se tiene que las antocianinas proporcionan colores rojizos-azulados, mientras que los flavonoles dan un color amarillento, sabor amargo en algunos cítricos (debido a la naringina y neohesperidina) y un aroma intenso en el plátano (debido al eugenol) (Martínez-Navarrete *et al.*, 2008).

En la literatura se han reportado valores del contenido total de compuestos fenólicos en algunas cáscaras y semillas de frutas, registrados en miligramos de ácido gálico por cada 100 gramos de materia seca (mg GA/g). Por ejemplo, algunos resultados de contenido de compuestos fenólicos totales en cáscaras son: Las cáscaras de aguacate, 181.17 mg GA/g (Morais *et al.*, 2015); las cáscaras de banano, 425.24 mg GA/g (Morais *et al.*, 2015); las cáscaras de guanábana, 49.60 mg GA/g (Moncada *et al.*, 2012); las cáscaras de lulo, 0.84 mg GA/g (Cerón *et al.*, 2011); las cáscaras de mandarina, 76.40 mg GA/g (Rincón *et al.*, 2005); las cáscaras de mango, 35.88 mg GA/g (Serna y Torres, 2015); las cáscaras de maracuyá, 504.06 mg GA/g (Morais *et al.*, 2015); las cáscaras de melón, 357.80 mg GA/g (Morais *et al.*, 2015); las cáscaras de naranja, 43.30 mg GA/g (Rincón *et al.*, 2005); las cáscaras de papaya, 753.96 mg GA/g (Morais *et al.*, 2015); las cáscaras de piña, 27.87 mg GA/g (Cárdenas *et al.*, 2015); las cáscaras de sandía, 110.70 mg GA/g (Tlili *et al.*, 2011); las cáscaras de tomate de árbol, 6.20 mg GA/g (Cerón *et al.*, 2011); y las cáscaras de uva, 49.60 mg GA/g (Deng *et al.*, 2011).

Respecto del contenido de compuestos fenólicos totales en las semillas, se tienen resultados como: semillas de aguacate, 155.30 mg GA/g (Morais *et al.*, 2015); las semillas de guanábana, 280.80 mg GA/g (Vit *et al.*, 2014); las semillas de maracuyá, 41.20 mg GA/g (Oliveira *et al.* 2009); las semillas de melón, 99.69 mg GA/g (Morais *et al.*, 2015); las semillas de papaya, 67.95 mg GA/g (Morais *et al.*, 2015); las semillas de sandía, 83.21 mg GA/g (Morais *et al.*, 2015); las semillas de tomate de árbol, 1.52 mg GA/g (Cerón *et al.*, 2011); y las semillas de uva, 91.53 mg GA/g (Santos *et al.*, 2011).

Respecto al contenido de flavonoides totales, en la literatura se encuentran valores para cáscaras y semillas de algunas frutas y son reportados en miligramos equivalentes de quercetina por cada 100 gramos de materia seca (mg QE/g). (Morais *et al.*, 2015). En el caso de las cáscaras, algunos ejemplos son: cáscaras de aguacate, 156.39 mg QE/g; las cáscaras de banano, 38.87 mg QE/g; las cáscaras de papaya, 102.94 mg QE/g; las cáscaras de maracuyá, 114.99 mg QE/g; las cáscaras sandía, 91.74 mg QE/g; y las cáscaras de melón, 204.28 mg QE/g. Para el contenido de flavonoides totales de las semillas, existen registros para: semillas de aguacate, 30.02 mg QE/g; semillas de papaya, 1.59 mg QE/g; semillas de maracuyá, 76.49 mg QE/g; semillas de sandía, 24.73 mg QE/g; y semillas de melón, 3.61 mg QE/g.

De igual manera, en la literatura también se ha registrado valores de la capacidad antioxidante en algunas cáscaras y semillas de frutas. En las cáscaras de algunas frutas hay registros como: Las cáscaras de mango, 202.90 mg Trolox/100 g (Gimeno, 2015); las cáscaras de mandarina, 1.92 g en materia seca /g DPPH (Rincón *et al.*, 2005); las

cáscaras de naranja, 5.44 g en materia seca /g DPPH (Rincón *et al.*, 2005); las cáscaras de guanábana 165.00 g en ácido ascórbico /g extracto seco (Moncada *et al.*, 2012); las cáscaras de uva, 0.23 mg en materia seca / mL extracto (Santos *et al.*, 2011); las cáscaras de sandía, 206.00 μmol Trolox 100 g (Tlili *et al.*, 2011). Para el caso de las semillas se encontraron los siguientes valores de capacidad antioxidante: las semillas de guanábana, 86.60 μmol Trolox/ 100 g (Vit *et al.*, 2014) y las semillas de uva, 0.05 mg en materia seca / mL extracto (Santos *et al.*, 2011).

Para la actividad antioxidante determinada mediante DPPH y dada por medio del IC_{50} , se ha documentado en la literatura para cáscaras y semillas de algunas frutas, registrada en microgramos de muestra por mililitros de extracto (μg /mL) (Morais *et al.*, 2015). Para el caso de las cáscaras, hay información de: las cáscaras de aguacate, determinada mediante DPPH, IC_{50} de 46.47 μg /mL; las cáscaras de banano, 200.86 μg /mL; las cáscaras de maracuyá, 347.56 μg /mL; las cáscaras de melón, 458.60 μg /mL; las cáscaras de papaya, 276.03 μg /mL; las cáscaras de piña, 446.69 μg /mL; y las cáscaras de sandía, 200.86 μg /mL. Para las semillas, se registran valores de IC_{50} para: las semillas de aguacate, 370.22 μg /mL; las semillas de maracuyá, 49.71 μg /mL; las semillas de melón, 653.57 μg /mL; las semillas de papaya, 453.30 μg /mL; y las semillas de sandía, 505.08 μg /mL.

La actividad antioxidante determinada mediante el potencial antioxidante reductor férrico, (FRAP) también tiene registros en la literatura para cáscaras y semillas de algunas frutas, y es dada en micromoles de sulfato de hierro por cada gramo de materia seca (μmol FeSO_4 /g) (Morais *et al.*, 2015). El valor de FRAP de las cáscaras, se registra en frutas como: aguacate, 27.82 μmol FeSO_4 /g; banano, 80.11 μmol FeSO_4 /g; maracuyá, 60.27 μmol FeSO_4 /g; melón, 49.49 μmol FeSO_4 /g; papaya, 89.45 μmol FeSO_4 /g; piña, 60.40 μmol FeSO_4 /g; y sandía, 16.68 μmol FeSO_4 /g. Para el caso de las semillas: aguacate, 23.71 μmol FeSO_4 /g; maracuyá, 119.32 μmol FeSO_4 /g; melón, 6.50 μmol FeSO_4 /g; papaya, 10.49 μmol FeSO_4 /g; y sandía, 13.52 μmol FeSO_4 /g.

Método de análisis de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante

La caracterización o potencial bioactivo de los residuos generados en la agroindustria de frutas se determina por medio de la concentración de los compuestos fenólicos totales (TPC: *total phenolic compounds*), a través de la metodología de Folin-Ciocalteu, concentración de flavonoides y la actividad o capacidad antioxidante usando la metodología de radicales libres (Brand-Williams *et al.*, 1995). La metodología de radicales libres determina la actividad antioxidante por DPPH (DPPH: 2,2-diphenyl-1-picryl-hy-

drazyl-hydrate), el potencial antioxidante reductor férrico (FRAP: *ferric reducing antioxidant potential*), el potencial reductor de actividad antioxidante (RPAA: *reducing potential of antioxidant activity*) y la capacidad de absorbanza de radicales de oxígeno (ORAC: *oxygen radical absorbance capacity*) (Flórez, 2020).

Extracción de compuestos polifenólicos totales

Inicialmente se requiere macerar el residuo fresco sin pretratar en un mortero de porcelana. Si este residuo se encuentra congelado a -20°C , se debe descongelar durante 8 h a temperatura ambiente. Del macerado se toman 250 mg en un tubo para centrifuga y se añade 1 mL de etanol al 60 %. Mediante un vortex, la mezcla se agita durante 1 min y se centrifuga a 10000 rpm por 15 min y como producto de la centrifugación se obtiene un sobrenadante y un precipitado. El sobrenadante se vierte en un microtubo de centrifuga de 2 mL y al precipitado se le adicionan 500 μL de etanol al 60 %. El precipitado se pone de nuevo a agitación en el vortex por 1 min y a la centrifugación a 10000 rpm durante 15 min. El segundo sobrenadante se vierte en el microtubo donde está el primer sobrenadante y el precipitado de la segunda centrifugación se descarta. Al microtubo con los sobrenadantes se le agrega etanol al 60 % hasta obtener un volumen de 2 mL. Es necesario tener en cuenta que todo el procedimiento se realiza en ausencia de luz (Ruales, 2015, Flórez, 2020).

Determinación de los compuestos polifenólicos totales

Este análisis se lleva a cabo empleando la metodología de Follin-Ciocalteu con algunas modificaciones (Da Porto *et al.*, 2013). Antes del análisis es necesario construir una curva de calibración, usando un espectrofotómetro con una absorbanza de 765 nm. Para esto, se preparan soluciones en agua destilada de ácido gálico en concentraciones de 0, 10, 50, 150, 100, 150, 200, 250, 300, 400 y 500 mg/L. Como blanco fotométrico se utiliza agua destilada pura. En el espectrofotómetro se leen las absorbanzas para cada una de estas soluciones.

Del microtubo obtenido de la extracción de compuestos polifenólicos totales, se toman 60 μL en un tubo de ensayo, se le adiciona 4.75 ml de agua destilada y 300 μL del reactivo de Folin-Ciocalteu al 1 N, se homogeniza en un vortex y se deja reaccionar durante 8 min. Posteriormente, se adicionan 900 μL de carbonato de sodio (Na_2CO_3) al 20 %, se homogeniza, se deja reaccionar por 2 h y se mide la absorbanza en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 765 nm. El valor obtenido de absorbanza se lleva a la curva de calibración y se lee la concentración en microgramos equivalentes

de ácido gálico (EAG) por gramo de muestra en base seca, $\mu\text{g EAG/g Mdb}$. El cálculo en base seca se determina conociendo el porcentaje de materia seca total del residuo que se analiza. Todo el procedimiento experimental de este análisis se realiza en ausencia de luz (Flórez, 2020).

Determinación del contenido de flavonoides totales

Este contenido se expresa en microgramos equivalentes de quercetina por gramo de muestra seca (g Mdb). El procedimiento de este análisis consiste en: se toma 20 μl de la muestra que se preparó en la extracción de compuestos polifenólicos totales, se agregan 115 μl de agua destilada y 7.5 μl de NaNO_2 al 5 %. Esta mezcla se homogeniza en un vortex y se deja reaccionar por 5 min. Posteriormente, se adicionan 30 μl de AlCl_3 al 2.5 %, se homogeniza y se deja reaccionar por 6 min. Finalmente, se agregan 50 μl de NaOH 1 M y 50 μl de agua destilada. La mezcla se homogeniza y se deja reaccionar por 5 min y, a partir de esta, se mide la absorbancia a una longitud de onda de 500 nm en un espectrofotómetro de microplacas. Previo a todo el procedimiento se debe construir una curva de calibración, como se explicó en la determinación de compuestos polifenólicos totales, pero, en lugar de utilizar ácido gálico como sustancia de referencia, se emplea quercetina en agua destilada, la cual se utiliza también como blanco fotométrico. El valor obtenido de la absorbancia de la muestra se lleva a la curva de calibración y se lee la concentración en microgramos equivalentes de quercetina (QE) por gramo de muestra en base seca $\mu\text{g QE/g Mdb}$ (Kim *et al.*, 2003; Flórez, 2020).

Determinación de la capacidad antioxidante

La actividad o capacidad antioxidante se determina siguiendo la metodología de radicales libres (Brand-Williams *et al.*, 1995; Spatafora *et al.*, 2013). Esta metodología consiste en que: se preparan cinco disoluciones de la muestra del microtubo obtenido de la extracción de compuestos polifenólicos totales, en un rango de 3 a 300. En tubos de ensayo se agregan 3 mL de 2,2-Difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) a una concentración de 6×10^{-5} M y se adicionan 150 μL de cada una de las diluciones preparadas anteriormente. La mezcla se homogeniza en un vortex por 30 s y se deja en un lugar oscuro durante 1 h. Posteriormente, se mide la absorbancia a una longitud de onda de 515 nm en un espectrofotómetro UV para cada una de las diluciones (A_{Din}). También se prepara el blanco con la misma metodología descrita utilizando agua destilada como muestra y se mide la absorbancia 515 nm (A_{Bl}). Con estos valores se calcula el porcentaje de inhibición (%*Inh*) a partir de la ecuación 4.10 y se seleccionan las diluciones que

presentan inhibición entre 20 y 80 % para construir la curva de inhibición frente a la concentración.

$$\% Inh = \left(1 - \frac{A_{Dln}}{A_{Bl}}\right) \times 100\% \quad (4.10)$$

De esta curva se obtiene la ecuación para calcular la IC_{50} , cuyo parámetro indica la concentración de la muestra que se requiere para inhibir el 50 % de radicales libres, utilizando DPPH (Achika *et al.*, 2017). Los resultados del IC_{50} se reportan en microgramos de muestra por mililitros del extracto $\mu\text{g M/mL Ext}$ (Flórez, 2020).

Determinación del potencial antioxidante reductor férrico (FRAP)

Este análisis se lleva a cabo empleando la metodología de FRAP, utilizando el reactivo FRAP (Benzie y Devaki, 2018). El reactivo FRAP se prepara mezclando acetato al 300 mM, TPTZ al 10 mM y FeCl^{+3} al 20 mM en una relación 10:1:1. Una vez preparado este reactivo, se incuban 150 μL del reactivo por 1 min a 37 °C, se homogeniza en el vortex y se mide la absorbancia a una longitud de onda de 600 nm en un espectrofotómetro de microplacas UV/Vis. A esta mezcla se añade 20 μL de la muestra del microtubo obtenido de la extracción de compuestos polifenólicos totales, se homogeniza y se deja reaccionar por 8 min. Al cabo de este tiempo se mide la absorbancia a 600 nm. En este análisis también se preparó una curva de calibración, empleando como sustancia de referencia Trolox disuelto en agua destilada, la cual se utiliza también como blanco fotométrico. El valor obtenido de absorbancia se lleva a la curva de calibración y se lee la concentración en microgramos equivalentes de Trolox (TE) por gramo de muestra en base seca $\mu\text{g TE/g Mdb}$ (Flórez, 2020).

Determinación del potencial reductor de la actividad antioxidante (RPAA)

Este análisis consiste en tomar 100 μL de la muestra del microtubo obtenido de la extracción de compuestos polifenólicos totales, se agregan 100 μL de fosfato buffer al 0.2 M y 100 μL de ferricianuro potásico al 1 %. Esta mezcla se homogeniza en un vortex y se lleva a un baño térmico con agitación a 50 °C por 20 min. A continuación, se añaden a la mezcla 100 μL de ácido tricloroacético al 10 % y se centrifuga durante 10 min a 6500 rpm. Posteriormente, se adicionan 100 μL de ácido tricloroacético al 10 % y se centrifuga por 10 min a 6500 rpm. Finalmente, de esta mezcla se toman 100 μL , se les agregan 100 μL de agua y 20 μL de cloruro de hierro (III) al 0.1 %, se homogeneizan, se deja reposar por 10 min y se mide la absorbancia a una longitud de onda de 700 nm en un espectrofotómetro de microplacas UV/Vis. En este análisis también

se prepara una curva de calibración empleando como sustancia de referencia el ácido gálico disuelto en agua destilada, la cual se utiliza como blanco fotométrico. El valor obtenido de absorbancia se lleva a la curva de calibración y se lee la concentración en microgramos equivalentes de ácido gálico por gramo de muestra seca $\mu\text{g EAG/g Mdb}$ (Ballester, 2016; Flórez, 2020).

Determinación de la capacidad de absorbancia de radicales de oxígeno (ORAC)

Para determinar la capacidad de absorbancia de radicales de oxígeno se toman 20 μL de la muestra del microtubo obtenida de la extracción de compuestos polifenólicos totales y se agregan 120 μL de fluoresceína a una concentración de 120 nM. Esta mezcla se homogeniza y se incuba por 15 min a 37 °C en ausencia de luz. Posteriormente, se añaden 60 μL de AAPH a una concentración de 40 mM y se lee la intensidad de la fluoresceína cada minuto durante 2 horas, empleando filtros de emisión y excitación a longitudes de onda de 538 y 485 nm, con un fluorímetro de microplaca. En este análisis también se prepara una curva de calibración utilizando como sustancia de referencia Trolox y el buffer fosfato como blanco fotométrico. El valor obtenido de absorbancia se lleva a la curva de calibración y se lee la concentración en microgramos equivalentes de Trolox por gramo de muestra en base seca $\mu\text{g TE2/g Mdb}$ (Ou *et al.*, 2001; Flórez, 2020).

Características de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de las cáscaras y semillas de frutas

En este trabajo se caracterizaron veintiocho residuos de frutas: dieciséis cáscaras y doce semillas de frutas por medio del análisis del contenido de flavonoides totales. Las cáscaras caracterizadas fueron de las frutas: arazá, banano, chontaduro, durazno, guanábana, limón, lulo, mandarina, mango, maracuyá, naranja, papaya, piña, tomate de árbol, uva y zapote. Los resultados del análisis del contenido de flavonoides totales, dados en $\mu\text{g QE/g Mdb}$, de las dieciséis cáscaras de frutas se presentan en la tabla 4.8. En la tabla también se observa que el contenido de flavonoides totales de los dieciséis residuos se encuentra en el rango de $135.17 \pm 7.89 \mu\text{g QE/g Mdb}$ en las cáscaras de arazá y $9966.55 \pm 269.59 \mu\text{g QE/g Mdb}$ en las cáscaras de tomate de árbol. Es de resaltar que las cuatro variedades de cáscaras con mayor contenido de flavonoides totales (superiores a 4400 $\mu\text{g QE/g Mdb}$) fueron: cáscaras de tomate de árbol > cáscaras de durazno > cáscaras de lulo > cáscaras de zapote. Estos resultados indican que los cuatro residuos pueden ser utilizados como materias primas en las industrias farmacéutica, alimentaria y cosmética, para aprovechar las propiedades funcionales de los flavonoides en general (Carullo *et*

al., 2018; Flórez-Montes *et al.*, 2020). Sin embargo, considerando que se requiere que una persona realice una ingesta diaria de 50000 µg para aprovechar las características antiinflamatorias y antioxidantes de los flavonoides de los residuos analizados en esta investigación (Li *et al.*, 2016; Patel *et al.*, 2018), se recomienda el aprovechamiento de las cáscaras de tomate de árbol, cáscaras de durazno y cáscaras de lulo para obtener extractos ricos en flavonoides totales (Flórez-Montes *et al.*, 2020).

Tabla 4.8. Contenido de flavonoides totales de cáscaras de algunas frutas

Residuo	Flavonoides µg QE/g Mdb
Cáscara de arazá	135.17
Cáscara de banano	2875.40
Cáscara de chontaduro	1703.43
Cáscara de durazno	8570.88
Cáscara de guanábana	2701.07
Cáscara de limón	2380.05
Cáscara de lulo	4909.50
Cáscara de mandarina	1282.52
Cáscara de mango	1477.18
Cáscara de maracuyá	858.17
Cáscara de naranja	428.67
Cáscara de papaya	1281.85
Cáscara de piña	2061.77
Cáscara de tomate de árbol	9966.55
Cáscara de uva	392.00
Cáscara de zapote	4427.85

Fuente: elaboración propia.

Después de haber comparado estos valores con los reportados en la literatura para algunas cáscaras, se identificó que los valores reportados del contenido de flavonoides totales para las cáscaras de naranja (3220.00 ± 60 µg QE/g Mdb) y las cáscaras del mango (6830.00 ± 90 µg QE/g Mdb) (Ghosh *et al.*, 2019), son mayores que los encontrados en esta investigación. Una posible explicación de ello es que en la extracción en dos etapas realizada en el trabajo de Ghosh y colaboradores (2019) se empleó etanol puro, mientras que en este trabajo se utilizó etanol al 60 %, por tanto, se infiere que la concentración de etanol podría afectar la extracción de flavonoides. En otro trabajo

(Suleria *et al.*, 2020) se reporta el contenido de flavonoides totales para las cáscaras de papaya ($1060 \pm 70 \mu\text{g QE/g Mdb}$), cáscaras de maracuyá ($40 \pm 10 \mu\text{g QE/g Mdb}$), cáscara de melocotón ($1020 \pm 80 \mu\text{g QE/g Mdb}$) y cáscaras de piña ($1470 \pm 70 \mu\text{g QE/g Mdb}$), encontrándose que estos valores son inferiores a los encontrados en esta investigación, como lo demuestra la tabla 4.8.

Además de las cáscaras, en esta investigación se caracterizaron doce semillas de frutas por medio del análisis del contenido de flavonoides totales. Las semillas caracterizadas proceden de las frutas: arazá, chontaduro, curuba, durazno, guanábana, limón, mandarina, naranja, papaya, tomate de árbol, uva y zapote. Los resultados del análisis del contenido de flavonoides totales de las doce semillas de frutas, dados en $\mu\text{g QE/g Mdb}$, se presentan en la tabla 4.9.

Tabla 4.9. Contenido de flavonoides totales de semillas de algunas frutas

Residuo	Flavonoides $\mu\text{g QE/g Mdb}$
Semillas de arazá	4978.01
Semillas de chontaduro	2508.63
Semillas de curuba	4740.87
Semillas de durazno	862.39
Semillas de guanábana	899.80
Semillas de limón	784.39
Semillas de mandarina	2983.65
Semillas de naranja	3040.07
Semillas de papaya	4669.20
Semillas de tomate de árbol	1551.66
Semillas de uva	2655.93
Semillas de zapote	5845.40

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 4.9 se evidencia que el contenido de flavonoides totales de las doce semillas de frutas analizadas en esta investigación se encuentra en el rango de $784.39 \mu\text{g QE/g Mdb}$ en las semillas de limón y $5845.40 \mu\text{g QE/g Mdb}$ en las semillas de zapote. También se encuentra que las cuatro semillas con mayor contenido de flavonoides totales son: semillas de zapote > semillas de arazá > semillas de curuba > semillas de papaya, con valores superiores a $4710 \mu\text{g QE/g Mdb}$. Por lo tanto, estos residuos se pueden emplear en las industrias farmacéutica, alimentaria y cosmética (Carullo *et al.*, 2018; Flórez-Montes

et al., 2020). Mientras que las semillas con los contenidos de flavonoides totales más bajos son: semillas de limón < semillas de durazno < semillas de guanábana < semillas de tomate de árbol, con valores inferiores a 1560 µg QE/g Mdb.

Al comparar el contenido de flavonoides totales de las cáscaras (tabla 4.8) con las semillas de frutas (tabla 4.9), se encontró que, en general, las cáscaras presentan un mayor contenido de flavonoides totales que las semillas.

Respecto a la determinación del contenido de polifenoles totales y capacidad antioxidante (determinada por medio del método de Folin-Ciocalteu) (Flórez-Montes *et al.*, 2020), se caracterizaron dieciocho residuos de frutas: doce cáscaras y seis semillas de diferentes frutas. Las cáscaras fueron obtenidas de las frutas: árbol del pan, coco, guanábana, lulo, mandarina, mango, maracuyá, naranja, piña, plátano, tomate de árbol y uva. En la tabla 4.10 se presentan los resultados del contenido de polifenoles totales en µg EAG/ g Mdb y la capacidad antioxidante en µg M/mL Ext de las cáscaras seleccionadas.

Tabla 4.10. Contenido de polifenoles totales y capacidad antioxidante de cáscaras de algunas frutas

Residuo	Polifenoles totales µg EAG/ g Mdb	Capacidad antioxidante µg M/mL Ext
Cáscara del árbol del pan	188 400.00	32 930.00
Cáscara de coco	2120.00	92 140.00
Cáscara de guanábana	3400.00	26 030.00
Cáscara de lulo	2680.00	146 370.00
Cáscara de mandarina	4660.00	22 190.00
Cáscara de mango	1120.00	19 120.00
Cáscara de maracuyá	860.00	234 040.00
Cáscara de naranja	1940.00	335 600.00
Cáscara de piña	2780.00	82 110.00
Cáscara de plátano	1540.00	161 100.00
Cáscara de tomate de árbol	1260.00	72 560.00
Cáscara de uva	6690.00	1330.00

Fuente: elaboración propia.

En esta tabla se observa que el contenido de polifenoles totales de las doce cáscaras está entre 860.00 µg EAG/g Mdb, en las cáscaras de maracuyá, y 188 400.00 µg EAG/ g Mdb en las cáscaras del árbol del pan; mientras que la capacidad antioxidante se

encuentra entre 1330.00 $\mu\text{g M/mL Ext}$, en las cáscaras de uva, y 335 600.00 $\mu\text{g M/mL Ext}$ en las cáscaras de naranja. La actividad antioxidante se establece como la capacidad que presentan los compuestos polifenólicos de capturar radicales libres, donar átomos de hidrógeno o eliminar iones metálicos que se encuentren presentes en las células. Estos radicales libres generan envejecimiento de las células debido, principalmente, a la contaminación atmosférica, rayos solares y edad de la persona (Lattanzio, 2013). Para analizar los valores encontrados de capacidad antioxidante se considera que un valor bajo de la concentración inhibitoria (IC), indica que se requiere menor cantidad de extracto de un residuo determinado para inhibir el 50 % (IC50) de radicales libres (Lattanzio, 2013). Es importante resaltar, que la cantidad de compuestos fenólicos totales no está directamente relacionada con la capacidad antioxidante que pueden presentar los residuos (Flórez-Montes *et al.*, 2020).

Al comparar el contenido de polifenoles totales de los residuos analizados en esta investigación, con datos de la literatura recopilados por Flórez (2020), se encontró que existen diferencias considerables entre ambos. Es probable que las variaciones se deban a: 1) diferencias en las condiciones de extracción (Cerón *et al.*, 2011), 2) empleo de solventes distintos (Moncada *et al.*, 2012), y 3) variación en las condiciones de cultivo (tipo de suelo), tipo de fertilizantes utilizados, época del año y condiciones ambientales (Ruales, 2015).

En cuanto a la capacidad antioxidante de los residuos agroindustriales, se observó que las cáscaras de uva presentan la menor capacidad antioxidante, con un valor por debajo de 2000 $\mu\text{g M/mL Ext}$, seguido de las cáscaras de mango, cáscaras de mandarina y cáscaras de guanábana, cuyos valores están por debajo de los 30 000 $\mu\text{g M/mL Ext}$. Por su parte, las cáscaras de naranja, cáscaras de maracuyá, cáscaras de plátano y cáscaras de lulo reportan valores por encima de los 10 000 $\mu\text{g M/mL Ext}$. Estos resultados permiten considerar que las cáscaras de uva, cáscaras de mandarina y cáscaras de guanábana tienen un potencial aprovechamiento y valorización en las industrias farmacéutica y alimentaria, con el objetivo de fabricar productos que aportan beneficios a la salud humana en la prevención de enfermedades cardiovasculares, cáncer, diabetes, entre otras (Ainswort y Gillespie, 2007; Jacob *et al.*, 2015).

En este trabajo también se caracterizaron seis semillas de frutas, a través del contenido de polifenoles totales y capacidad antioxidante. Las semillas analizadas fueron obtenidas de las frutas: árbol del pan, guanábana, mandarina, mango, naranja, tomate de árbol y uva. Los resultados del contenido de polifenoles totales en $\mu\text{g EAG/g Mdb}$ y la capacidad antioxidante en $\mu\text{g M/mL Ext}$, para algunas semillas, se presentan en

la tabla 4.11. Para las semillas analizadas se identificó que el contenido de polifenoles totales varía de 720.00 $\mu\text{g EAG/g Mdb}$, en las semillas de naranja, a 60 400.00 $\mu\text{g EAG/g Mdb}$ en las semillas del árbol del pan. Mientras que la capacidad antioxidante está entre 630.00 $\mu\text{g M/mL Ext}$, en las semillas de uva, y 446 040.00 $\mu\text{g M/mL Ext}$ en las semillas de naranja. Estos resultados muestran que las semillas del árbol del pan tienen una gran cantidad de polifenoles totales, pero no tienen propiedades antioxidantes, sino posiblemente propiedades anticancerígenas o antitumorales (Acosta y Díaz, 2016; Flórez, 2020). Respecto de las semillas de uva, es posible señalar que presentan una relativa cantidad alta de polifenoles totales y tienen propiedades antioxidantes, porque se requiere una cantidad menor de extracto para inhibir el 50 % de los radicales libres presentes en una célula (Ainsworth y Gillespie, 2007; Achika *et al.*, 2017).

Tabla 4.11. Contenido de polifenoles totales y capacidad antioxidante de semillas de algunas frutas

Residuo	Polifenoles totales $\mu\text{g EAG/g Mdb}$	Capacidad antioxidante $\mu\text{g M/mL Ext}$
Semilla del árbol del pan	60 400.00	148 130.00
Semillas de guanábana	2231.00	40 010.00
Semillas de mandarina	2644.00	80 190.00
Semillas de naranja	720.00	446 040.00
Semillas de tomate de árbol	1160.00	198 710.00
Semillas de uva	10 620.00	630.00

Fuente: elaboración propia.

El análisis de la actividad antioxidante se realizó en veintiocho residuos de frutas: dieciséis cáscaras y doce semillas. Para determinar el potencial bioactivo de las dieciséis cáscaras de diferentes frutas, se emplearon los métodos de FRAP (potencial antioxidante reductor férrico), RPA (potencial reductor de la actividad antioxidante) y ORAC (capacidad de absorción de radicales de oxígeno), para su caracterización. Las cáscaras fueron obtenidas de las frutas: arazá, banano, chontaduro, durazno, guanábana, limón, lulo, mandarina, mango, maracuyá, naranja, papaya, piña, tomate de árbol, uva y zapote. En la tabla 4.12 se reportan los resultados de la actividad antioxidante por FRAP en $\mu\text{g TE1/g Mdb}$, RPA en $\mu\text{g EAG/g Mdb}$ y ORAC en $\mu\text{g TE2/g Mdb}$.

Los valores para FRAP de las dieciséis cáscaras de frutas varían entre $838.39 \pm 35.86 \mu\text{g TE1/g Mdb}$, para las cáscaras de chontaduro, y $22 676.57 \pm 759.71 \mu\text{g TE1/g Mdb}$ para las cáscaras de mango. Los tres residuos de cáscaras con los mayores valores de FRAP

corresponden a las: cáscaras de mango > cáscaras de uva > cáscaras de guanábana. Estos tres residuos no solamente se destacan por tener valores mayores respecto a los valores reportados en las semillas de las mismas frutas (Helkar *et al.*, 2016; Flórez-Montes *et al.*, 2020), sino que también presentan valores de FRAP superiores a pulpas de frutas como la frambuesa (9828.89 $\mu\text{g TE1/g Mdb}$) y la mora (9999.09 $\mu\text{g TE1/g Mdb}$), que se caracterizan por tener alta capacidad antioxidante (Ruiz-Torralba *et al.*, 2018).

Tabla 4.12. Actividad antioxidante medida por los métodos FRAP, RPAA y ORAC de cáscaras de algunas frutas

Residuo	FRAP $\mu\text{g TE1/g Mdb}$	RPAA $\mu\text{g EAG/g Mdb}$	ORAC $\mu\text{g TE2/g Mdb}$
Cáscara de arazá	3067.15	1804.77	3261.89
Cáscara de banano	3077.39	1144.68	10 357.07
Cáscara de chontaduro	838.39	29.02	537.62
Cáscara de durazno	5536.92	1662.28	17 910.21
Cáscara de guanábana	22 117.13	4858.79	14 713.39
Cáscara de limón	2177.31	713.70	7093.33
Cáscara de lulo	6044.93	2287.30	1371.76
Cáscara de mandarina	1682.25	1353.50	11 857.40
Cáscara de mango	22 676.57	3692.38	7893.34
Cáscara de maracuyá	1242.08	540.07	7096.32
Cáscara de naranja	1640.78	532.88	3071.01
Cáscara de papaya	2168.40	1172.03	4312.81
Cáscara de piña	1733.77	789.06	6187.72
Cáscara de tomate de árbol	9198.04	1874.63	7580.49
Cáscara de uva	17 027.85	2265.97	13 395.15
Cáscara de zapote	1034.63	575.27	11 130.91

Fuente: elaboración propia.

Además de los resultados de la tabla 4.12 se encuentra que las cáscaras de frutas con los mayores valores de FRAP pertenecen a: cáscaras de mango > cáscaras de guanábana > cáscaras de uva, con valores mayores a 17 000.00 $\mu\text{g TE1/g Mdb}$. Sin embargo, en esta tabla se observa que las cifras más bajas de capacidad antioxidante, determinados por el método de FRAP, para las cáscaras de chontaduro son: < cáscaras de zapote < cáscaras de maracuyá < cáscaras de naranja < cáscaras de piña, con resultados por debajo de 2000 $\mu\text{g TE1/g Mdb}$. Estos resultados podrían ser mayores, dado que la técnica de

extracción (como la técnica de líquido presurizado) (Viganó *et al.*, 2020) y el tipo y concentración del solvente utilizado (metanol) (Diep *et al.*, 2020), pueden optimizar la extracción, mejorando la calidad y capacidad antioxidante de los extractos (Flórez-Montes *et al.*, 2020).

En cuanto a los resultados de la determinación del potencial reductor de la actividad antioxidante (RPAA) de las cáscaras de frutas que se reportan en la tabla 4.12, se aprecia que oscila entre 29.02 $\mu\text{g EAG/g Mdb}$, en las cáscaras de chontaduro, y 4858.79 $\mu\text{g EAG/g Mdb}$, en las cáscaras de guanábana. Además, los cuatro residuos con mayor valor de RPAA entre las dieciséis cáscaras de frutas analizadas fueron: cáscaras de guanábana > cáscaras de mango > cáscaras de lulo > cáscaras de uva, con valores superiores a 2200 $\mu\text{g EAG/g Mdb}$. Mientras que las cáscaras con los menores valores de RPAA fueron: cáscaras de chontaduro < cáscaras de naranja < cáscaras de maracuyá < cáscaras de zapote, con valores inferiores a 580 $\mu\text{g EAG/g Mdb}$. Lo anterior, indica que las cáscaras de guanábana, mango, lulo y uva tienen gran capacidad antioxidante con un alto poder reductor de radicales libres, que las posiciona como una alternativa de aprovechamiento para obtener compuestos con efectos beneficiosos para la salud humana.

Finalmente, analizando los resultados de la cuantificación de la capacidad de absorbancia de radicales de oxígeno (ORAC), determinada en los extractos obtenidos de dieciséis cáscaras de frutas, según la tabla 4.12, se encuentra que varía entre 537.62 $\mu\text{g TE}_2/\text{g Mdb}$, en las cáscaras de chontaduro, y 17910.21 $\mu\text{g TE}_2/\text{g Mdb}$, en las cáscaras de durazno. Se resalta que las frutas cuyas cáscaras tienen mayores valores de ORAC son: cáscaras de durazno > cáscaras de guanábana > cáscaras de uva > cáscaras de mandarina > cáscaras de zapote, con valores superiores a 11 100 $\mu\text{g TE}_2/\text{g Mdb}$. Mientras que las cáscaras con los valores de ORAC más bajos corresponden a: cáscaras de chontaduro < cáscaras de lulo, con valores inferiores a 1400 $\mu\text{g TE}_2/\text{g Mdb}$. Antes de analizar estos resultados, es importante conocer que la prueba ORAC se emplea para determinar la capacidad antioxidante de los alimentos, dado que indica la capacidad de una sustancia para inhibir el radical piróxilo (radical muy común en el cuerpo humano). Además de ello, se recomienda un consumo de alimentos que aporten un valor ORAC superior a 125 000 $\mu\text{g TE}_2/\text{g Mdb}$ (Prior, 2015). Conociendo esto, y revisando la información de la tabla 4.12, los extractos de las cáscaras de durazno, guanábana y uva pueden aportar alrededor de un 10 % del requerimiento diario de consumo de antioxidantes, lo cual indica que es necesario buscar otras fuentes alternas que proporcionen sustancias antioxidantes, con buenas capacidades de absorbancia de radicales de oxígeno para suplir las necesidades diarias de una persona.

De igual manera, se determinó el potencial bioactivo por medio de los métodos de FRAP, RPAA y ORAC, para doce semillas de diferentes frutas. Las semillas proceden de las frutas: arazá, chontaduro, curuba, durazno, guanábana, limón, mandarina, naranja, papaya, tomate de árbol, uva y zapote. En la tabla 4.13 se presentan los resultados de la actividad antioxidante de las doce semillas por FRAP en $\mu\text{g TE1/g Mdb}$, por RPAA en $\mu\text{g EAG/g Mdb}$ y por ORAC en $\mu\text{g TE2/g Mdb}$, para las doce semillas de frutas. De los resultados del análisis de FRAP se encontró que, para las doce semillas analizadas, este valor está en el rango de $715.95 \mu\text{g TE1/g Mdb}$ para las semillas de papaya, y $5116.39 \mu\text{g TE1/g Mdb}$, en las semillas de uva. Las tres semillas con los mayores valores de FRAP fueron: semillas de uva > semillas de arazá > semillas de curuba, con valores mayores a $4630.00 \mu\text{g TE1/g Mdb}$. Lo anterior, indica que estos tres residuos pueden ser potencialmente utilizados para obtener compuestos valiosos que se pueden emplear como aditivos en las industrias alimentaria y farmacéutica (Ainswort y Gillespie, 2007; Flórez, 2020). Mientras que las cinco semillas que reportan los valores más bajos de FRAP son: semillas de papaya < semillas de naranja chontaduro < semillas de durazno < semillas de limón, con valores inferiores a $780.00 \mu\text{g TE1/g Mdb}$.

Tabla 4.13. Actividad antioxidante medida por los métodos FRAP, RPAA y ORAC de semillas de algunas frutas

Residuo	FRAP $\mu\text{g TE1/g Mdb}$	RPAA $\mu\text{g EAG/g Mdb}$	ORAC $\mu\text{g TE2/g Mdb}$
Semillas de arazá	4813.95	1804.77	5667.05
Semillas de chontaduro	752.91	355.20	4179.47
Semillas de curuba	4636.18	1971.32	14 772.96
Semillas de durazno	757.73	245.55	1644.99
Semillas de guanábana	1055.10	315.03	460.41
Semillas de limón	778.43	92.60	438.51
Semillas de mandarina	1378.80	189.55	375.22
Semillas de naranja	726.28	171.37	829.83
Semillas de papaya	715.95	95.87	378.53
Semillas de tomate de árbol	1033.31	460.92	481,63
Semillas de uva	5116.39	4316.46	20 093.32
Semillas de zapote	1034.63	575.27	11 130.91

Fuente: elaboración propia.

Tras haber comparado los resultados de FRAP de las tablas 4.12 y 4.13 se encuentra que, en términos generales, las cáscaras de frutas tienen valores de FRAP mayores a los valores encontrados en las semillas de frutas. Estos resultados pueden estar relacionados con el contenido de extractivos totales de los residuos de frutas, de tal manera que los compuestos extraídos, que se encuentran presentes en las cáscaras de frutas, tienen una mayor capacidad antioxidante que los compuestos extraídos de las semillas de frutas (Helkar *et al.*, 2016; Flórez, 2020).

Otra forma de analizar los resultados que hasta ahora se han presentado, es comparar los resultados de FRAP con el contenido de polifenoles totales tanto para las cáscaras, como para las semillas de frutas, donde se encontró que no existe una relación entre ambos parámetros. El resultado indica que la capacidad antioxidante determinada por el método FRAP se debe a compuestos antioxidantes como los ácidos grasos y fibras (López, 2017), y no a compuestos polifenólicos como los carotenoides y vitaminas (Banerjee *et al.*, 2018; Singh *et al.*, 2013).

Cuando se analizaron los resultados de RPAA se encontró que, para las doce semillas estudiadas, varían entre 92.60 μg EAG/g Mdb, en las semillas de limón, y 4316.46 μg EAG /g Mdb, en las semillas de uva. Las tres semillas con los mayores valores de RPAA fueron: semillas de uva > semillas de curuba > semillas de arazá, con valores mayores a 1800.00 μg EAG/g Mdb. Mientras que las cinco semillas que reportaron los valores más bajos de RPAA fueron: semillas de limón < semillas de papaya < semillas de naranja < semillas de mandarina < semillas de durazno, con valores que no superaron los 250.00 μg EAG/g Mdb.

Así como en los resultados de FRAP, los valores de RPAA se compararon con los valores obtenidos para el contenido de polifenoles totales de las cáscaras y semillas de frutas. Se encontró que no existe una relación entre los valores de RPAA y el contenido de polifenoles totales, lo que indica que los compuestos polifenólicos no son las únicas sustancias antioxidantes que se encuentran en los residuos de frutas, sino que también deben estar presentes otros metabolitos secundarios (Mosquera *et al.*, 2015).

Finalmente, la tabla 4.13 muestra que los resultados de ORAC se encuentran entre 375.22 μg TE2/g Mdb, en las semillas de mandarina, y 20 093.32 μg TE2/g Mdb, en las semillas de uva. Las tres semillas con los mayores valores de RPAA fueron: semillas de uva > semillas de curuba > semillas de zapote, con valores mayores a 11 100.00 μg TE2/g Mdb. Por otro lado, las cinco semillas que reportaron los valores más bajos de ORAC correspondieron a: semillas de mandarina < semillas de papaya < semillas de limón <

semillas de guanábana < semillas de tomate de árbol, cuyos valores no superaron los 490.00 µg TE2/g Mdb.

Al comparar el valor del ORAC de las cáscaras y semillas de frutas, se encontró que, en general, las cáscaras tienen valores de ORAC mayores a los registrados en las semillas de frutas. Sin embargo, los resultados también muestran que no es posible suplir los requerimientos diarios de 125 000.00 µg TE2/g Mdb (Prior, 2015) con las semillas y cáscaras de las frutas analizadas, porque con estos residuos solo se consigue alrededor de un 10% del valor requerido.

Así como se realizó una comparación entre los datos de FRAP y RPAA con el contenido de compuestos polifenólicos totales, también se compararon los valores de ORAC para las cáscaras y semillas de frutas. Se encontró que no hay una relación directa entre los valores de ORAC y los valores de los compuestos polifenólicos totales de los residuos de frutas.

En términos generales, se encontró que las cáscaras de mango, cáscaras de guanábana, cáscaras de uva y las semillas de uva, presentan una alta capacidad antioxidante, la cual se puede atribuir a la presencia de ácido gálico, ácido siríngico, y ácido protoacético (Aguilar-Hernández *et al.*, 2019), vitaminas (Akomalafe y Ajayi, 2015), antocianinas y carotenoides (Ajila *et al.*, 2007), catequinas, epicatequinas, proantocianidinas (Abhijit *et al.*, 2018) y terpenos (Aquilani *et al.*, 2018). Lo anterior, sugiere que a partir de estos cuatro residuos se pueden obtener extractos con posibilidad de ser comercializados en centros o tiendas naturistas, o como materias primas en la producción de nutracéuticos (Kumar *et al.*, 2017), alimentos funcionales (Rohm *et al.*, 2015), medicamentos antiinflamatorios (Saleem *et al.*, 2019), suplementos multivitamínicos (Helkar *et al.*, 2016) y medicamentos para la diabetes (Saleem *et al.*, 2019). Es importante indicar, que se ha identificado que las cáscaras de frutas en general tienen mayor valores de RPAA que las semillas (Flórez-Montes *et al.*, 2020), lo que las convierte en una materia prima promisoría en las industrias alimentaria, farmacéutica y cosmética (López, 2017).

Caracterización por análisis bromatológico

El análisis bromatológico de los alimentos también se conoce como análisis Weende o análisis proximal, el cual es empleado para establecer los componentes más abundantes en los alimentos. Este análisis también se puede realizar a los residuos agroindustriales, con el propósito de evaluar sus posibles aprovechamientos. Los componentes principales de la biomasa que se determinan por medio de este análisis son: agua, grasa bruta

(lípidos o extracto etéreo), proteínas (total o bruta), cenizas, fibra (bruta o cruda) y carbohidratos (Arribas, 2016; Medina, 1997). A continuación, se describirán brevemente estos componentes de la biomasa.

Extracto etéreo

El extracto etéreo, lípidos o grasa bruta corresponde a un conjunto de moléculas conformadas por átomos de carbono, hidrógeno y oxígeno (Condori y Quispe, 2017), y constituye las sustancias que son extraídas mediante un solvente orgánico como el éter etílico. Por lo tanto, en términos generales, los solventes orgánicos disuelven y remueven principalmente compuestos grasos o lípidos del residuo. Sin embargo, se espera que el solvente a utilizar tenga características como: no ser inflamable, ni tóxico; tenga baja temperatura de ebullición para que su destilación sea rápida y no se degraden los componentes termolábiles extraídos; que sea altamente soluble en grasas; y que no genere residuos. Entre las sustancias extraídas se encuentran: fosfolípidos, lecitinas, esteroides, ceras, ácidos grasos libres, aceites volátiles, carotenoides, clorofila y otros pigmentos (Medina, 1997).

Conocer la cantidad de extracto etéreo, permite estimar el aporte energético en la alimentación animal o humana que tiene un residuo. Sin embargo, el valor del contenido de extracto etéreo puede sobreestimar el aporte energético de la fracción de lípidos del residuo, debido a que no todas las sustancias extraídas (clorofila y pigmentos) aportan energía (De García, 2015). Además de aportar energía a los organismos, algunos ácidos grasos insaturados, presentes en el extracto etéreo, ayudan a la asimilación de vitaminas (A, D, E y K) (Pastillo, 2014), reducen los niveles de colesterol y minimizan las posibilidades de presentar enfermedades cardíacas (Hernández-Rodas *et al.*, 2016). Algunos valores de extracto etéreo en residuos de frutas encontrados en la literatura son: cáscaras de mango 1.99 % (Jibaja, 2014), cáscaras de naranja 2.49 % (Hernández y Vera, 2010), cáscaras de guanábana 0.98 % (Acosta y Díaz, 2016; Arrazola *et al.*, 2013), cáscaras de uva 7.43 % (Angel y Céspedes, 2013) y semillas de uva 1.40 %. (Spigno *et al.*, 2013).

Proteínas

Son un grupo de moléculas orgánicas complejas (llamadas también biomoléculas) formadas por aminoácidos, que están unidos por enlaces peptídicos (Arribas, 2016). Estas biomoléculas están compuestas por elementos como: carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre y fósforo (Corral, 2018). Los aminoácidos que constituyen

las proteínas se clasifican en esenciales y no esenciales. Los aminoácidos esenciales no se producen en el cuerpo y se deben obtener de los alimentos; mientras que los aminoácidos no esenciales son sintetizados por el cuerpo y no requieren ser obtenidos de los alimentos (Corral, 2018). Las proteínas desempeñan un papel fundamental en el organismo humano o animal y tienen como funciones: hacer parte esencial del crecimiento (debido a su contenido de nitrógeno), ayudar al cuerpo a producir y reparar células y tejidos (Corral, 2018), y participar en la síntesis de enzimas, anticuerpos y hormonas (Instituto Tomas Pascual Sanz, 2010; Pastillo, 2014).

Las proteínas se encuentran en alimentos vegetales como la soja, las legumbres y los cereales. Así mismo, en menor cantidad en las frutas. En las cáscaras de frutas el contenido proteico no supera el 10 %. Algunos ejemplos de contenido proteico en cáscaras son: Las cáscaras de naranja, entre 6.0 y 7.0 % (Mata, 2003); las cáscaras de mandarina, 8.0 % (Gutiérrez, 2003); las cáscaras de maracuyá, 7.8 % (Gaibor, 2013); las cáscaras de mango, 5.0 % (Hincapié, 2014); las cáscaras de guanábana, 6.83 % (Acosta y Díaz, 2016; Arrazola *et al.*, 2013); las cáscaras de piña, 7.5 % (Elizondo, 2014); las cáscaras de uva, 16.01 % (Ángel y Céspedes, 2013). Además, las semillas de uva tienen un contenido de proteínas de 7.90 % (Spigno *et al.*, 2013).

Fibra

Este término es empleado para un conjunto de sustancias comestibles de origen vegetal, que se caracterizan por ser altamente resistentes a los procesos y enzimas digestivas, y por no ser metabolizadas por el cuerpo humano (Cruz *et al.*, 2015; Vilcanqui y Vilchez, 2017). La fibra está constituida por celulosa, hemicelulosa, lignina, β glucanos, pectinas, gomas, mucílagos, inulina y oligofructosa (Medina, 1997; Vilcanqui y Vilchez, 2017). La fibra se puede clasificar, de acuerdo con algunas propiedades, en: fermentable y no fermentable, viscosa y no viscosa, y soluble e insoluble. Estas propiedades determinan los beneficios fisiológicos de la fibra dietética en el sistema digestivo. Sin embargo, sus efectos funcionales dependen de la relación entre los diferentes tipos de fibra y de la cantidad de componentes individuales de cada fracción, y no de la fibra en general (García y Álvarez, 2000; Cruz *et al.*, 2015). Las fibras fermentables permiten la producción de ácidos grasos de cadena corta (AGCC), gases (hidrógeno, anhídrido carbónico y metano) y energía (Arana, 2006). Cabe destacar, que la fermentabilidad de la biomasa está relacionada con la solubilidad de cada tipo de fibra, por tanto, el grado de solubilidad es variable para las distintas fibras de acuerdo con su actividad con el agua. La fibra dietética soluble, que se caracteriza por su alta actividad con el agua, es fermentable

por la microflora intestinal; mientras que la fibra dietética insoluble o poco soluble, que tiene baja actividad con el agua, es de menor fermentabilidad (Cruz *et al.*, 2015).

La fibra dietética soluble (FDS) está constituida por pectinas, gomas, oligosacáridos, β -glucanos y mucílagos, que son sustancias que tienen buena capacidad de hidratación e hinchamiento, forman geles de gran viscosidad (gelifican), y absorben y retienen sustancias como la glucosa, minerales y moléculas no polares. Esta fibra tiene como funciones: el desarrollo de la flora intestinal; fortalecer el sistema inmune, debido a la producción de metabolitos; servir de sustrato para los microorganismos benéficos; actuar como un prebiótico; reforzar la capacidad de protección de la mucosa intestinal, que permite reducir el riesgo de enfermedades gastrointestinales; disminuir el colesterol y glucosa en la sangre; y reducir la evacuación gástrica, por lo que favorece la digestión y absorción de nutrientes (Cruz *et al.*, 2015; Vilcanqui y Vilchez, 2017). Este tipo de fibra se encuentra en algas; algunas frutas como naranja, mandarina y maracuyá; hortalizas; avena; cebada; frijoles; lentejas; y guisantes (Medina, 1997; Matos y Chambilla, 2010; Vilcanqui y Vilchez, 2017).

La fibra dietética insoluble o poco soluble está constituida por celulosa, hemicelulosa y lignina. Estas sustancias retienen algo de agua y forman matrices estructurales de baja viscosidad (Kin, 2000), las cuales aceleran el paso de alimentos por el sistema digestivo, aumentan el volumen y peso de las heces, actúan como laxantes y reguladores del tránsito intestinal, mejoran algunos trastornos digestivos como el estreñimiento, incrementan la excreción de ácidos biliares y, junto a la pectina, (fracción soluble) tienen la capacidad de captar o atrapar metales pesados (Cruz *et al.*, 2015). Esta fibra insoluble se encuentra en salvado de trigo, cereales, hortalizas, verduras, legumbres, frutas y granos enteros (Medina, 1997; Matos y Chambilla, 2010; Pastillo, 2014). Además, desempeña un papel fundamental en los organismos humano o animal, y en general tiene como funciones adicionales: prevenir ciertos tipos de enfermedades (cáncer de colon, arterioesclerosis, enfermedades coronarias, constipación, hemorroides y diverticulosis) y ayudar a controlar la diabetes mellitus y la obesidad (Abarca *et al.*, 2010).

Algunos valores de fibra bruta en cáscaras de frutas encontrados en la literatura son: cáscaras de piña 15.93 % (Gutiérrez *et al.*, 2003); cáscaras de mango, 11.20 % (Jibaja, 2014; Wall-Medrano *et al.*, 2015); cáscaras de lulo, 1.54 % (Cerón *et al.*, 2011); cáscaras de naranja, 59.08 % (Hernández y Vera, 2010); cáscaras de guanábana, 8.55 % (Acosta y Díaz, 2016; Arrazola *et al.*, 2013); cáscaras de maracuyá, 66.90 % (Yepes *et al.*, 2008); y cáscaras de uva, 16.19 % (Angel y Céspedes, 2013).

Carbohidratos

También llamados hidratos de carbono, glúcidos, azúcares o sacáridos, son las biomoléculas de mayor abundancia en la naturaleza. Estas sustancias están constituidas principalmente por elementos como el carbono, hidrógeno y oxígeno, y algunos de ellos también tienen en su estructura nitrógeno, azufre y fósforo, igual que los lípidos y las proteínas, pero con un arreglo molecular diferente (Fernández, 2018). Los carbohidratos son aldehídos o cetonas polihidroxílicas, y sus derivados son obtenidos por oxidación, reducción, sustitución o polimerización (Ramírez, 2005). Se pueden clasificar según su estructura en: carbohidratos simples, como los monosacáridos y disacáridos, y carbohidratos complejos, como los oligosacáridos y polisacáridos (Ramírez, 2005; Fernández, 2018). Los carbohidratos simples son fácil y rápidamente absorbidos por el cuerpo, y se pueden encontrar en frutas, leche y miel; mientras que los carbohidratos complejos se absorben muy lentamente y están presentes en legumbres, cereales y tubérculos, entre otros alimentos naturales (Fernández, 2018; Pastillo, 2014).

La función principal de los carbohidratos es suministrar energía al cuerpo, y como funciones secundarias están la formación de material estructural, plasticidad y función regulatoria de las membranas (Arribas, 2016; Fernández, 2018). Algunos valores de carbohidratos en cáscaras de fruta encontrados en la literatura son: cáscaras de piña, 12.00 % (Gutiérrez *et al.*, 2003); cáscaras de mango, de 15 a 23 % (Wall-Medrano *et al.*, 2015); cáscaras de naranja, 0.6 % (Hernández y Vera, 2010); cáscaras de guanábana, 64.79 % (Arrazola *et al.*, 2013); y cáscaras de uva, 48.75 % (Angel y Céspedes, 2013).

Además de los resultados del análisis bromatológico de algunas cáscaras y semillas de frutas reportados en la literatura, se presenta a continuación. En la tabla 4.14 se recopilan los resultados del análisis bromatológico de la mezcla de residuos (cáscaras, semillas, pedúnculos y algo de pulpa) obtenidos en el procesamiento de ocho frutas. Los datos presentados esta tabla se reportan en base seca libre de ceniza.

Tabla 4.14. Análisis bromatológico de la mezcla de residuos del procesamiento de algunas frutas en base seca libre de cenizas, reportado en la literatura

Residuos de	GC (%)	Pr (%)	Fr (%)	Cb (%)	Referencias
Aguacate	55.30	8.08	15.98	20.64	(Kamau <i>et al.</i> , 2020)
Banano	6.65	5.19	50.79	37.37	(Azevedo <i>et al.</i> , 2017)
Mango	2.82	2.56	73.92	50.70	(Azevedo <i>et al.</i> , 2017)
Maracuyá	1.31	8.62	43.39	46.68	(Azevedo <i>et al.</i> , 2017)

Naranja	4.21	11.11	33.87	50.81	(Revuelta <i>et al.</i> , 2008)
Papaya	3.31	6.61	12.74	77.34	(Kumau <i>et al.</i> , 2020)
Sandía	5.15	14.04	11.86	68.95	(Kumau <i>et al.</i> , 2020)
Tomate	2.74	13.01	17.35	66.90	(Kumau <i>et al.</i> , 2020)

GC: Grasa cruda; Pr: Proteína; Fr: Fibra dietética total; y Cb: carbohidratos.

Fuente: elaboración propia.

Método de análisis bromatológico

Los residuos de frutas contienen en su estructura: materia seca (MS), cenizas (CZ), proteínas (Pr), grasa bruta (GC), fibra dietética total (Fr) y carbohidratos (Cb), que se pueden cuantificar a través del análisis bromatológico. Conociendo el porcentaje de cada uno de los componentes del análisis bromatológico, es posible establecer algunas aplicaciones para residuos de frutas, como la obtención de compuestos de interés, alimentos para animales e incluso alimentos para humanos (Roda y Lambri, 2019). La materia seca y las cenizas se determinan con la misma metodología explicada anteriormente, mientras que la metodología de cuantificación del contenido de proteínas (Pr), grasa bruta (GC), fibra dietética total (Fr) y carbohidratos (Cb), se detalla a continuación. En la tabla 4.15 se presentan las ecuaciones necesarias para calcular los porcentajes de Pr, GC, Fr y Cb.

Tabla 4.15. Ecuaciones empleadas para determinar la composición bromatológica de residuos

Ecuación	Ecuación número	Referencias
$\%Pr = \frac{14 * Nc * V * Factor}{W_w * 1000} * 100\%$	4.11	(Association of Official Agricultural Chemists (AOAC), 1984)
$\%GC = \frac{W_{F+GC} - W_F}{W_w} * 100\%$	4.12	(AOAC, 1990)
$\%Fr = \frac{W_F - \left(\frac{\%Pr_F + \%CZ_F}{100}\right) * W_F}{W_w} * 100\%$	4.13	(AOAC, 1996)
$\%Cb = 100 - (\%P + \%GC + \%Fr + \%CZ)$	4.14	

Pr: proteína; Nc: concentración equivalente; v: exceso de ácido; W_w : peso residual; GC: grasa cruda, W_{F+GC} : peso del matraz de fondo redondo más peso de grasa bruta; W_b : peso del matraz de fondo redondo; Fr: fibra dietética total; W_f : peso de fibra obtenida; Pr_f : proteína en fibra obtenida; CZ_f : cenizas en la fibra; Cb: carbohidratos; cz: cenizas.

Fuente: modificado de Flórez (2020).

Determinación de proteínas

Para obtener el porcentaje de proteína se emplea el método de digestión Kjeldahl (AOAC, 1984). En este método se toma un matraz de digestión Kjeldahl, se le adicionan 1 g del residuo, 10 g de sulfato de potasio, 0.5 g de sulfato cúprico y 20 mL de ácido sulfúrico concentrado. También, se introducen perlas de vidrio al matraz para evitar explosiones del líquido dentro del recipiente. El matraz se conecta a la trampa de absorción que contiene 250 mL de NaOH al 15 %. El matraz se somete a calentamiento hasta que la mezcla se torna clara; en ese momento se deja ebullición entre 15 y 20 min más y se apaga el sistema. A continuación, la mezcla se enfría y se agregan 200 mL de agua destilada. Posteriormente, el matraz se conecta al sistema de destilación y se agregan lentamente 100 mL de NaOH al 30 %. La destilación se realiza hasta obtener al menos 100 mL de destilado. El destilado se recibe en un matraz que contiene 50 mL de ácido sulfúrico al 0.1 N, entre 4 a 5 gotas de rojo de metilo y 50 mL de agua destilada. El resultado final se valora con NaOH 0.1 N hasta que la mezcla se torna de color amarillo. El porcentaje de calcula empleando la ecuación 4.11 (Flórez, 2020).

Determinación de grasa cruda

La cuantificación de grasa bruta total se realiza mediante la metodología de extracción Soxhlet (AOAC, 1990). Para esta determinación, se toman de 2 a 5 g del residuo de fruta, que deben estar presecados entre 40 y 50 °C, y molidos a tamaño de partícula pasante malla 60. Esta muestra tomada del residuo se ubica en un cartucho hecho con papel filtro. Este cartucho se introduce al Soxhlet y en el balón de fondo redondo se adicionan 180 mL de éter de petróleo. El balón de fondo redondo se pone sobre una estufa y se calienta hasta la ebullición del éter. Este proceso de extracción se realiza por 8 h; al cabo de este tiempo, el éter con el extracto se lleva a un rotaevaporador para recuperar el éter de petróleo y concentrar el extracto graso; y el balón donde se introduce el éter se pesa antes de iniciar el proceso y se vuelve a pesar después de concentrar el extracto graso. La diferencia de estos dos pesos corresponde al peso de la grasa bruta total del residuo. Con estos datos se calcula el porcentaje de grasa cruda total por medio de la ecuación 4.12 (Flórez, 2020).

Determinación de fibra dietética total

Para determinar el contenido total de fibra dietética se utiliza el método gravimétrico (AOAC, 1996). Según la normativa, se pesan 500 mg del residuo presecado entre 40 y 50 °C y molido a tamaño pasante de malla 60; se introducen en un matraz de 250 mL y

se les adicionan 25 mL de agua destilada; la mezcla se agita, se tapa con papel aluminio y se deja en reposo por 90 min en un baño térmico sin agitación a 37 °C; a continuación, se adicionan 100 mL de etanol al 95 % y el contenido se deja reposar por 1 h a temperatura ambiente sin agitación; se filtra al vacío y se lava con 40 ml de etanol al 78 %, 20 mL de etanol al 95 % y 20 mL de acetona; el papel filtro se seca a 105 °C por 2 h y se pesa (el papel filtro, antes de realizar la filtración, también se pesó); finalmente, al sólido que queda en el papel filtro se le determina el contenido de ceniza, según el método de rampla explicado anteriormente en el análisis próximo o inmediato, y el contenido de proteína residual. Con esta información se calcula el contenido total de fibra dietética por medio de la ecuación 4.13 (Flórez, 2020).

Determinación del contenido de carbohidratos

El contenido de carbohidratos en los residuos de frutas se calcula por diferencia de cien por ciento y los valores obtenidos de los otros parámetros (proteína, grasa cruda total, fibra dietética total y ceniza) del análisis bromatológico. Para ello se utiliza la ecuación 4.14 (Flórez, 2020).

Características bromatológicas de las cáscaras y semillas de frutas

En este trabajo se caracterizaron catorce residuos de frutas: nueve cáscaras y cinco semillas de frutas mediante análisis bromatológico. Las cáscaras analizadas provienen del consumo y procesamiento de las frutas: guanábana, lulo, mandarina, mango, maracuyá, naranja, piña, tomate de árbol y uva. En la tabla 4.16 se muestran los resultados del análisis bromatológico de las nueve cáscaras de frutas y se reporta el porcentaje de materia seca (MS), ceniza (CZ), grasa cruda (GC), proteína (Pr), fibra dietética total (Fr) y carbohidratos (Cb). En esta tabla se puede ver que, en términos generales, las cáscaras de estas nueve frutas analizadas se caracterizan por tener un alto contenido de carbohidratos, seguido por un significativo contenido de fibra dietética total y bajo contenido de grasa cruda.

De acuerdo con los resultados reportados en la tabla 4.16, se encontró que la MS de las nueve cáscaras de frutas analizadas en esta investigación varía entre 11.34 %, en las cáscaras de maracuyá, y 32.30 %, en las cáscaras de uva. Lo anterior, indica que las cáscaras de frutas no pueden ser empleadas en un proceso de combustión, debido a que su contenido de humedad es mayor al 50 %. En caso de incinerar estos residuos, es necesario utilizar un combustible auxiliar o someterlos a un proceso previo de secado (Shojaeiarani *et al.*, 2019). En tanto que, el contenido de ceniza se encuentra entre 2.44 %

en las cáscaras de uva y 8.67 % en las cáscaras de tomate de árbol. Cabe destacar, que se recomienda quemar un residuo si su contenido de ceniza es menor al 5 %, porque con valores de ceniza mayores, se pueden formar depósitos de escoria en las paredes de las calderas si estas son de carácter básico, o pueden generar oxidación si las cenizas son de carácter ácido (Rojas-González *et al.*, 2019; Flórez, 2020).

Tabla 4.16. Análisis bromatológico de cáscaras de algunas frutas

Residuo	MS (%)	CZ (%)	GC (%)	Pr (%)	Fr (%)	Cb (%)
Cáscara de guanábana	31.98	6.22	2.28	7.65	32.40	51.46
Cáscara de lulo	14.79	6.06	2.14	5.39	55.47	30.95
Cáscara de mandarina	22.81	3.05	3.01	9.40	38.49	46.05
Cáscara de mango	21.87	2.80	6.02	5.97	29.49	55.72
Cáscara de maracuyá	11.34	8.03	1.92	9.85	45.22	34.97
Cáscara de naranja	25.42	3.53	2.48	7.19	42.16	44.64
Cáscara de piña	14.52	4.81	1.31	7.51	31.55	54.82
Cáscara de tomate de árbol	17.04	8.67	2.55	2.44	51.50	34.84
Cáscara de uva	32.30	2.44	3.02	8.21	22.32	64.01

GC: grasa cruda; Pr: proteína; Fr: fibra dietética total; y Cb: carbohidratos.

Fuente: elaboración propia.

Respecto al contenido de grasa cruda (GC), se reportan valores entre 1.92 %, para las cáscaras de maracuyá, y 6.02 %, para las cáscaras de mango. Esto indica que las cáscaras de mango se recomiendan para el consumo humano, debido a que su contenido de grasa le aporta energía al cuerpo, sirve para la síntesis de hormonas, reduce los niveles de colesterol y mejora la asimilación de vitaminas como las vitaminas A, D, E y K (Hernández-Rodas *et al.*, 2016).

En cuanto al contenido de proteína (Pr), las cáscaras de maracuyá presentan el mayor valor con 9.85 %; mientras que las cáscaras de tomate de árbol tienen el menor valor de Pr, entre las nueve cáscaras analizadas, con 2.44 %. Además de las cáscaras de maracuyá, también se pueden consumir las cáscaras de mandarina para aprovechar su contenido de proteína, dado que son fuente natural de aminoácidos esenciales que se pueden extraer para ser utilizados como agentes gelificantes, emulsionantes y absorbentes de agua, en las industrias farmacéutica y alimenticia (Awuchi *et al.*, 2019; Flórez, 2020).

Al evaluar el contenido de fibra dietética total (Fr), registrado en la tabla 4.16, se aprecia que, para las cáscaras, la Fr varía entre, 22.32 % para las cáscaras de uva, y 55.47 % para las cáscaras de lulo. Es de resalta que, además de las cáscaras de lulo, las cáscaras de tomate de árbol, las cáscaras de maracuyá y las cáscaras de naranja, presentan valores de fibra dietética total superiores al 40 %. Estas cuatro cáscaras se podrían utilizar en la fabricación de alimentos con propiedades saciantes, dado que, por su alto contenido de fibra dietética total, se incrementa el tiempo de masticación, provocando mayor producción de saliva y de jugos gástricos, y promoviendo la expansión del estómago. Además, el alto contenido de fibra dietética total en las cáscaras de frutas permite tratar el sobrepeso, la diabetes, el cáncer de colon, las enfermedades cardiovasculares y los problemas de estreñimiento (Soliman, 2017; Flórez, 2020).

Finalmente, en la tabla 4.16 se muestra que el contenido de carbohidratos varía entre 30.95 %, en las cáscaras de lulo, y 64.01 %, en las cáscaras de uva. Junto a las cáscaras de uva, también se encuentran las cáscaras de piña y las cáscaras de guanábana, que presentan valores de Cb por encima del 50 %. Esto indica que estas tres cáscaras se pueden utilizar como fuente directa de energía y como materia prima en la industria de alimentos para la producción de barras energéticas. Los carbohidratos también son empleados por el cuerpo para la formación de material estructural de las membranas, generar plasticidad y como función regulatoria (Arribas, 2016; Fernández, 2018). Por otro lado, los residuos con mayor cantidad de Pr y Cb, como las cáscaras de uva, las cáscaras de guanábana y las cáscaras de piña, se pueden aprovechar en la industria alimentaria, dado que las interacciones entre estos biopolímeros influyen positivamente en el desarrollo de productos con buena textura y consistencia, como pudines y postres (Awuchi *et al.*, 2019).

Los resultados obtenidos en esta investigación, respecto al análisis bromatológico para algunas cáscaras de frutas, difieren significativamente de lo reportado en la literatura. Por ejemplo, para el caso de las cáscaras de piña la literatura reporta valores de Fr de 15.93 % y Cb de 12.00 % (Gutiérrez *et al.*, 2003), valores que están por debajo de los encontrados en el presente trabajo. Al comparar estos valores, se encuentra que el valor de la fibra dietética total reportado en la tabla 4.16 para las cáscaras de piña es el doble del reportado en la literatura; mientras que el valor de los carbohidratos reportado en esta misma tabla es 4.6 veces mayor al reportado en la literatura (Gutiérrez *et al.*, 2003). La diferencia entre los resultados posiblemente se debe a las condiciones del suelo, las condiciones ambientales y el tipo de fertilizante utilizado (Ruales, 2015).

También se caracterizaron cinco semillas de frutas por medio del análisis bromatológico, Las semillas analizadas se obtienen del consumo y procesamiento de: guanábana, mandarina, naranja, tomate de árbol y uva. Los resultados del análisis bromatológico se presentan en la tabla 4.17, donde pueden observarse los porcentajes de materia seca (MS), ceniza (CZ), grasa cruda (GC), proteína (Pr), fibra dietética total (Fr) y carbohidratos (Cb). En la tabla aparece que el contenido de grasa cruda de las cinco semillas está entre 12.38 %, en las semillas de uva, y 34.45 %, en las de naranja.

Tabla 4.17. Análisis bromatológico de semillas de algunas frutas

Residuo	MS (%)	CZ (%)	GC (%)	Pr (%)	Fr (%)	Cb (%)
Semillas de guanábana	73.48	1.58	31.29	12.56	52.74	1.83
Semillas de mandarina	33.26	1.92	31.75	13.15	51.32	1.85
Semillas de naranja	42.60	3.26	34.45	13.17	37.66	11.46
Semillas del tomate de árbol	21.09	4.03	27.87	19.47	42.07	6.56
Semillas de uva	69.40	3.25	12.38	9.79	61.22	14.70

gc: grasa cruda; Pr: proteína; Fr: fibra dietética total; y Cb: carbohidratos.

Fuente: elaboración propia.

El contenido de proteína varía entre 9.79 %, en las semillas de uva, y 19.47 %, en las semillas de tomate de árbol. El porcentaje de fibra dietética total se encuentra en el rango de 37.66 %, en las semillas de naranja, y 61.22 %, en las semillas de uva. Mientras que el contenido de carbohidratos varía entre 1.83 %, en las semillas de guanábana, y 14.70 %, en las semillas de uva. Lo anterior indica que las semillas están constituidas en su mayoría por fibra dietética total, seguido de grasa cruda, que en conjunto corresponden a más del 80 % de la composición de las semillas de frutas. Esto las hace diferentes a las cáscaras de frutas, porque el componente mayoritario de las cáscaras son los carbohidratos. Además, el componente minoritario de las cáscaras es la grasa cruda, mientras que el componente de menor proporción en las semillas son los carbohidratos.

Las semillas de uva, guanábana y mandarina se caracterizan por tener un alto contenido de fibra dietética total (> 51 %), lo cual permite que estos residuos se puedan utilizar como materia prima para ser aprovechadas en la obtención de pectinas. Estas pectinas podrían presentar propiedades como agentes gelificantes, ser utilizadas para disminuir el colesterol, prevenir o disminuir la carcinogénesis y aumentar la saciedad (Maftoonazad y Ramaswamy, 2019; Petkowicz y Williams, 2020).

Las semillas de naranja, mandarina y guanábana se caracterizan por su alto contenido de grasa cruda (>31 %), lo que las convierte en potenciales materias primas para obtener grasas vegetales que se pueden incorporar en alimentos funcionales, con beneficios para la salud humana (Hernández-Rodas *et al.*, 2016) y animal (Calvo, 2017). Sin embargo, antes de considerar estos residuos como posibles alimentos o fuentes de grasas, se debe establecer qué tipo de ácidos grasos constituyen la grasa cruda de las semillas (ácidos grasos saturados o ácidos grasos poliinsaturados). Los ácidos grasos poliinsaturados son benéficos para la salud, mientras que los ácidos grasos saturados son perjudiciales (Shahidi y Ambigaipalan, 2018; Klemková *et al.*, 2020).

Conclusiones

Los residuos de cáscaras y semillas de algunas frutas se caracterizaron de acuerdo con los análisis de composición estructural o química, de compuestos bioactivos, de capacidad antioxidante y bromatológico. En el análisis de composición estructural se determinó el contenido de materia seca, ceniza, celulosa, hemicelulosa, lignina y extractivos totales. El análisis de compuestos bioactivos permitió identificar el contenido de compuestos polifenólicos y de flavonoides totales. La actividad antioxidante se determinó por medio de los métodos FRAP, RPAA y ORAC. Por su parte, el análisis bromatológico determinó el porcentaje de grasa cruda, fibra dietética total, proteínas y carbohidratos.

Una comparación de los resultados de los diferentes análisis realizados, entre las cáscaras y las semillas de algunas frutas, permitió encontrar que, en términos generales:

- Las cáscaras de frutas tienen mayor contenido de celulosa que las semillas; pero las semillas reportan cantidades mayores de extractivos totales que las cáscaras.
- Las cáscaras de frutas presentan un porcentaje más elevado de flavonoides totales que las semillas.
- Las semillas reportan mayor contenido de compuestos fenólicos totales que las cáscaras
- Las cáscaras de frutas tienen una capacidad antioxidante superior, calculada mediante los métodos FRAP, RPAA y ORAC, que las semillas.
- Las semillas de frutas están constituidas principalmente por fibra dietética total, seguida de grasa cruda y su componente minoritario son los carbohidratos. Por su parte, las cáscaras de frutas tienen como componente mayoritario los carbohidratos, seguidos de la fibra dietética total y su componente minoritario es la grasa cruda.

Bibliografía

- AOAC. (1984). Determinación de proteínas: Método Kjeldahl. Retrieved from.
- AOAC. (1990). Procedimiento para determinar materia grasa: Método Soxhlet. Retrieved from.
- AOAC. (1996). Total dietary fiber in foods and food products with $\leq 2\%$ starch: nonenzymatic-gravimetric method.
- Abarca, D., Martínez, R., Muñoz, J., Torres, M. y Vargas, G. (2010). Residuos de café, cacao y cladodio de tuna: fuentes promisorias de fibra dietaria. *Revista Tecnológica ESPOL*, 23, 63-69. <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/57/28>
- Abhijit, S., Tripathi, S. J., Bhagya, V., Rao, S., Subramanyam, M. V. y Devi, S. A. (2018). Antioxidant action of grape seed polyphenols and aerobic exercise in improving neuronal number in the hippocampus is associated with decrease in lipid peroxidation and hydrogen peroxide in adult and middle-aged rats. *Experimental Gerontology*, 101, 101-112. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2017.11.012>
- Abril, A. y Navarro, E. A. (2012). *Etanol a partir de biomasa lignocelulósica (1.ª ed.)*. Aleta Ediciones.
- Achika, J. L., Ayo, R. G., Oyewale, A. O. y James, D. H. (2017). Chemical investigation and antioxidant activity of fractions of *Lannea humilis* (Oliv.) Engl. *Journal of the Turkish Chemical Society*, 4(2), 563-572. <https://doi.org/10.18596/jotcsa.288249>
- Acosta, R. C. y Díaz, B. J. I. (2016). *Evaluación composicional, capacidad antioxidante de pulpa y cáscara de la Annona muricata L.* (GUANÁBANA). [tesis de pregrado, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/4086>
- Adeniyi, A., Otoikhian, K., Ighalo, J. y Mohammed, I. (2019). Pyrolysis of Different Fruit Peel Waste Via a Thermodynamic Model. *Journal of Engineering Research and Development*, 2(2), 16-24. <https://bit.ly/3lXH0Gi>
- Aguilar-Hernández, G., García-Magaña, M. L., Vivar-Vera, M. A., Sayago-Ayerdi, S. G., Sánchez-Burgos, J. A., Morales-Castro, J., Anaya-Esparza, L. M. y Montalto, E. (2019). Optimization of ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from *Annona muricata*. *By-Products and Pulp. Molecules*, 904(24), 1-15. <https://doi.org/10.3390/molecules24050904>

- Ainsworth, E. A. y Gillespie, K. M. (2007). Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin-Ciocalteu reagent. *Nature protocols*, 2(4), 875-877. <https://doi.org/10.1038/nprot.2007.102>
- Ajila, C. M., Naidu, K. A., Bhat, S. G. y Prasada, U. J. S. (2007). Bioactive compounds and antioxidant potential of mango peel extract. *Food Chemistry*, 105, 982-988. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.04.052>
- Akomalafe, S. F. y Ajayi, O. B. (2015). A comparative study on antioxidant properties, proximate and mineral compositions of the peel and pulp of ripe *Annona muricata* (L.) fruit. *International Food Research Journal*, 22(6), 2381-2388. <http://www.ifrj.upm.edu.my/volume-22-2015.html>
- Álvarez, A., Salgado, R., García, E., Domínguez, M. M., Granados, J. M., Aguirre, A., Carmona, R., Morales, A., Herrera, P. J., Licea, A. y Mendoza, A. M. (2012). Aprovechamiento integral de los materiales lignocelulósicos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 13 (4), 140-150. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7902986&info=resumen>
- Alves, M., Alves, H., Flauzino, W. P. y Pasquini, D. (2013). Valorization of an agro-industrial waste, mango seed, by the extraction and characterization of its cellulose nanocrystals. *Journal of Environmental Management*, 121, 202-209. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.02.054>
- Angel, M. (2013). Efecto del tiempo y concentración de peróxido de hidrogeno alcalino (H_2O_2) en las propiedades funcionales de la cáscara de uva italia (*vitis vinifera* L.) proveniente de la elaboración de vino blanco. *Ciencia y Desarrollo*, 1, 78-82. <https://doi.org/10.33326/26176033.2013.16.356>
- Aquilani, C., Sirtori, F., Flores, M., Bozzi, R., Lebret, B. y Pugliese, C. (2018). Effect of natural antioxidants from grape seed and chestnut in combination with hydroxytyrosol, as sodium nitrite substitutes in Cinta Senese dry-fermented sausages. *Meat Science*, 145, 389-398. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.07.019>
- Arana, C. (2006). Fibra dietética. *Revista Pediatría de Atención Primaria*, 8(5), 83-97. <https://pap.es/articulo/555/fibra-dietetica>
- Araújo, R. G., Rodriguez, R. M., Ruiz, H. A., Pintado, M. M. E. y Aguilar, C. N. (2018). Avocado by-products: Nutritional and functional properties. *Trends in Food Science and Technology*, 80, 51-60. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.07.027>
- Arrazola, G., Barrera, J. y Villalba, M. (2013). Determinación física y bromatológica de la guanábana cimarrona (*Annona glabra* L.) del departamento de Córdoba. *Orinoquia*, 17(2), 159-166. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=CO2021A02015>

- Arribas, J. (2016). *Recomendaciones dietéticas para pacientes en diálisis* [tesis de pregrado, Universidad de Valladolid]. Repositorio Institucional. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/24513>
- Ávalos, A. y Pérez-Urria, E. (2009). Metabolismo secundario de plantas. *Reduca*, 2(3), 119-145. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/9603/>
- Awuchi, Ch. G., Igwe, V. S. y Echeta, Ch. K. (2019). The Functional Properties of Foods and Flours. *International Journal of Advanced Academic Research*, 5(11), 139-160.
- Azevedo, J. C., Araujo, S. A., Rocha, N. S., Cardoso, A. M., Pantoja, L. D. A., Faturi, C. y Domingues, F. N. (2017). Fruit agribusiness waste as an additive in elephant grass silage. *Semina: Ciências Agrárias*, 38(4), 1987. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2017v38n4p1987>
- Ballester, J. (2016). *Hidrólisis de proteínas sarcoplásmicas y generación de péptidos bioactivos durante la elaboración de jamón curado* [tesis de maestría Universitat Politècnica de Valencia]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/10251/69153>
- Banerjee, J., Singh, R., Vijayaraghavan, R., MacFarlane, D., Patti, A. F. y Arora, A. (2018). A hydrocolloid based biorefinery approach to the valorization of mango peel waste. *Food Hydrocolloids*, 77, 142-151. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.09.029>
- Barroso, M. (2010). *Pretratamiento de biomasa celulósica para la obtención de etanol en el marco de una biorrefinería* [tesis de pregrado, Madrid: Universidad Politécnica de Madrid]. Repositorio Institucional. <https://bit.ly/3KiWRJe>
- Basu, P. (2010a). Biomass Characteristics. En *Biomass Gasification and Pyrolysis* (pp. 27-63). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374988-8.00002-7>.
- Basu, P. (2010b). Introduction. En *Biomass Gasification and Pyrolysis* (pp.1-25). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374988-8.00001-5>
- Basu, P. (2010c). Gasification theory and modeling of gasifiers. En *Biomass Gasification and Pyrolysis* (pp. 117-165). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374988-8.00005-2>
- Benzie, I. F. F. y Devaki, M. (2018). The ferric reducing/antioxidant power (FRAP) assay for non-enzymatic antioxidant capacity: concepts, procedures, limitations, and applications. En Apak, R., Capanoglu E., y Shahidi, F. (eds.), *Measurement of Antioxidant Activity & Capacity: Recent Trends and Applications* (77-106). John Wiley & Sons Ltd. <http://dx.doi.org/10.1002/9781119135388.ch5>
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E. y Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel-Wissenschaft y Technologie*, 28, 25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)

- Calvo, V. (2017). *Implementación de un proceso para el aprovechamiento integral de plantas medicinales (Curcuma longa) y residuos de frutas (Annona muricata)* [tesis de pregrado, Corporación Universitaria Lasallista]. Repositorio Institucional. <http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/handle/10567/2214>
- Cárdenas, G. D., Arrazola, G. y Villalba, M. (2015). Frutas tropicales: fuente de compuestos bioactivos naturales en la industria de alimentos. *Revista Ingenium*, 17(33), 29-40. <https://doi.org/10.21500/01247492.2152>
- Carreño, L. C., Caicedo, L. A. y Martínez, C. A. (2012). Técnicas de fermentación y aplicaciones de la celulosa bacteriana: una revisión. *Ingeniería y Ciencia*, 8(16), 307-335. <https://bit.ly/3lNa6rW>
- Carullo, G., Badolato, M. y Aiello, F. (2018). Bioavailability and biochemistry of quercetin and applications to health and diseases. En Roos, R., Preedy, V. R., Zidabi, S. (eds.), *Polyphenols: Mechanisms of action in human health and disease* (pp. 361-371). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813006-3.09993-1>
- Castells, X. E., Cadavid, C., Campos, P. E., Flotats R. X., García, M. J., Gaya, F. J., Jurado, G. L., Ruiz-Álvarez, F., Cremades, O. L. y Velo, G. E. (2005). *Tratamiento y valorización energética de residuos*. Ediciones Diaz de Santos.
- Cerón, I. X., Higueta, J. C. y Cardona, C. A. (2011). Capacidad antioxidante y contenido fenólico total de tres frutas cultivadas en la región andina. *Revista Vector*, 5, 17-26. <https://bit.ly/42Mbiwp>
- Chávez, M. y Domine, M. (2013a). Lignina, Estructura y aplicaciones: métodos de despolimerización para la obtención de derivados aromáticos de interés industrial. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 4(4), 15-46. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=323629266003>
- Condori, E. D. y Quispe, R. D. P. (2017). *Efecto de la administración de los aceites vegetales de maíz (Zea mays), soya (Glycine max) y girasol (Helianthus annuus) sobre los niveles de glucosa y malondialdehído séricos en Rattus norvegicus con diabetes mellitus tipo 2 inducida experimentalmente* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio Institucional. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/4521>
- Corral, M. G. (2018). *Contenido proteico*. <https://cuidateplus.marca.com/quienes-somos.html>
- Cruz, A., Guamán, M., Castillo, M., Glorio, P. y Martínez, R. (2015). Fibra dietaria en subproductos de mango, maracuyá, guayaba y palmito. *Revista Politécnica*, 36(2), 1-7. https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/633

- Cuiping, I., Chuangzhi, W. y Yanyongjie, H. (2004). Chemical elemental characteristics of biomass fuels in China. *Biomass y Energy*, 27(2), 119-130. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2004.01.002>
- Da Porto, C., Porretto, E. y Decorti, D. (2013). Comparison of ultrasound-assisted extraction with conventional extraction methods of oil and polyphenols from grape (*Vitis vinifera* L.) seeds. *Ultrasonics Sonochemistry*, 20(4), 1076-1080. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2012.12.002>
- De García, M. (2015). *Guía para el análisis bromatológico de muestras de forrajes*. <https://bit.ly/3LVqTnq>
- Demirbas, A. (2010). *Fuels from biomass. Biorefineries for biomass upgrading facilities* (pp. 33-74). Springer.
- Deng, Q., Penner, M. H. y Zhao, Y. (2011). Chemical composition of dietary fiber and polyphenols of five different varieties of wine grape pomace skins. *Food Research International*, 44, 2712-2720. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.05.026>
- Diep, T., Pook, C. y Yoo, M. (2020). Phenolic and anthocyanin compounds and antioxidant activity of tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.). *Antioxidants*, 9(2), 1-20. <https://doi.org/10.3390/antiox9020169>
- Echavarría, B., Franco, A. y Martínez, A. (2009). Evaluación de la actividad antioxidante y determinación del contenido de compuestos fenólicos en extractos de macroalgas del Caribe colombiano. *VITAE, Revista de la facultad de química farmacéutica*, 16(1), 126-131. <https://hdl.handle.net/10495/22313>
- Elizondo, J. y Campos, C. (2014). Características nutricionales de la cáscara de piña ensilada con cantidades crecientes de urea y heno1. *Nutrición animal tropical* 8(2), 51-71. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5166298>
- Erkmen, O. y Bozoglu, F. (2016). *Food microbiology: Principles into Practice Volume I*. John Wiley y Sons, Ltd., 458. <http://dx.doi.org/10.1002/9781119237860>
- Fachinello, M., Pozza, P., Furlan, A., Paula, V., Bonagurio, L., Marcato, S., Ferreira, I. y Diaz, L. (2016). Nutricional evaluation of passion fruit seed meal for meat quails. *Revista Brasileira de Saúde e Producao Animal*, 17(2). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1590/S1519-99402016000200008>
- Fernández, J., Fernández, J. M., Aleson, L., Sendra, E., Sayas, E. y Pérez, J. A. (2004). Application of functional citrus by-products to meat products. *Trends in Food Science & Technology*, 15, 176-185. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.08.007>
- Fernández, H. (2018). *Determinación del índice glucémico y la carga glucémica en la dieta suministrada a pacientes hospitalizados con síndrome metabólico* [Tesis de Pregra-

- do, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio Institucional. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/4672>
- Flórez, C. (2020). *Valorization of processing fruits waste for the obtaining of food ingredients* [tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales]. Repositorio Institucional UN.
- Flórez-Montes, C., Mosquera-Martínez, O. M y Rojas-González, A. F. (2020). Prospective use of fruit byproducts in Colombia according to their antioxidant capacity. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 44(173), 1113-1125. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1241>
- Gaibor, W. (2013). Evaluación del efecto de la adición de cuatro niveles de cáscara de maracuyá y polvillo de arroz en la dieta alimenticia para el acabado de novillos en estabulación. *Jurnal Teknologi*, 1(1), 69-73. <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/6741>
- García, P. y Álvarez, V. (2000). Fibra y salud. *Revista Nutrición y Obesidad*, 3, 127-135.
- Ghosh, S., Kumar, J. y Kumar, A. (2019). Comparative evaluation of in vitro antioxidant activities and highperformance liquid chromatography fingerprinting of fruit peels collected from food processing industry wastes. *Pharmacognosy Research*, 11(4), 346-351. https://dx.doi.org/10.4103/pr.pr_13_19
- Gimeno, D. (2015). *Optimización de la extracción de compuestos de interés en subproductos de frutas tropicales para su aplicación en matrices alimentarias* [tesis de maestría, Universidad de Zaragoza]. Repositorio Institucional. <https://zaguan.unizar.es/record/31661>
- GinShiCel. (2013). Éteres de celulosa para uso industrial. Consultado el 15 Junio 2021. <https://bit.ly/42QePdi>.
- Gómez, R., Campos, D. A., Oliveira, A., Aguilar, C. N., Madureira, A. R. y Pintado, M. (2021). A chemical valorisation of melon peels towards functional food ingredients: Bioactives profile and antioxidant properties. *Food Chemistry*, 335. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127579>
- González, K. D., Daza, D., Caballero, P. A. y Martínez, Ch. (2016). Evaluación de las propiedades físicas y químicas de residuos sólidos orgánicos a emplearse en la elaboración de papel. *Revista Luna Azul*, 43, 499-517. <https://doi.org/10.17151/luaz.2016.43.21>
- Gutiérrez, F., Rojas, A., Dormond, H., Poore, M. y Wing, R. (2003). Características nutricionales y fermentativas de mezclas ensiladas de desechos de piña y avícolas.

- Agronomía Costarricense*, 27(1), 79–89. http://www.mag.go.cr/rev_agr/v27n01_079.pdf
- Han, J. S. y Rowell, J. S. (1997). Chemical composition of fibers. En Rowell, R. M., Young, R. A., Rowell, J. K., *Paper and Composites from Agro-Based Resources* (pp. 83-134). Boca Ratón: CRC press.
- Helkar, P. B., Sahoo, A. K. y Patil, N. J. (2016). Review: Food industry by-products used as a functional food ingredients. *International Journal of Waste Resources*, 6(3), 1-6. <https://doi.org/10.4172/2252-5211.1000248>
- Hernández, S. y Vera, N. G. (2010). Efecto de la adición de harina de cáscara de naranja sobre las propiedades fisicoquímicas, texturales y sensoriales de salchichas cocidas. *NACAMEH*, 4(1), 23–36. <https://dialnet.unirioja.es/ejemplar/279561>
- Hernández-Rodas, M. C., Morales, J., Valenzuela, R., Morales, G. y Valenzuela, A. (2016). Beneficios de los ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga n-3 en la enfermedad por hígado graso no alcohólico. *Revista Chilena de Nutrición*, 43(2), 196-205. 10.4067/S0717-75182016000200013
- Hincapié, G., Vásquez, D., Galicia, V. e Hincapié, C. (2014). Propiedades técnico-funcionales de la fibra dietaria de cáscaras de mango variedad hilacha (*Mangifera indica* L.): efecto del secado por convección. *Bioteología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial: BSAA*, 12(1), 153-160.
- Ibrahim, A., Yusof, L., Beddu, N. S., Galasin, N., Lee, P. Y., Lee, R. N. S. y Zahrim, A. Y. (2016). Adsorption study of Ammonia Nitrogen by watermelon rind. *Earth and Environmental Science*, 36, 1-6. <https://doi.org/doi:10.1088/1755-1315/36/1/012020>
- Instituto Tomas Pascual Sanz. (2010). Las proteínas. *Vive Sano*, 3(3866), 1-4. <https://bit.ly/431s5fh>
- Jacob, E., Ramírez, L. G., De Menezes, C. R. y Zepka, L. Q. (2015). Microalgas: potencial para la producción de compuestos bioactivos nanoencapsulados. *Ciência e Natura*, 37, 07-17. <https://doi.org/10.5902/2179460X19690>
- Jara, H. (2009). Biomasa y sus propiedades como combustible. *Revista Celulosa y Papel*, 1(1), 24-28.
- Jedvert, K. y Heinze, T. (2017). Cellulose modification and shaping. A review. *Journal of Polymer Engineering*, 37(9), 1-16. <https://doi.org/10.1515/polyeng-2016-0272>
- Jibaja, L. M. (2014). Determinación de la capacidad antioxidante y análisis composicional de harina de cáscara de mango, mangífera indica, variedad “Criollo”. *Cientifi-K*, 2(1), 62-69. <https://revistas.ucv.edu.pe/index.php/cientifi-k/article/view/1358>

- Jiménez, L. y González, F. (1991). Study of the physical and chemical properties of lignocellulosic residues with a view to the production of fuels. *Fuel*, 70(8), 947-950. [https://doi.org/10.1016/0016-2361\(91\)90049-G](https://doi.org/10.1016/0016-2361(91)90049-G)
- Kaith, B. S., Mittal, H., Jindal, R. y Kalia, S. (2011). *Cellulose fibers: Bio- and nano-polymer composites* (pp. 425-451) Springer..
- Kamau, J. M., Mbui, D. N., Mwaniki, J. M. y Mwaura, F. B. (). Proximate analysis of fruits and vegetables wastes from Nairobi County, Kenya. *Research Journal of Food Science and Nutrition*, 5(1), 9-15. <https://doi.org/10.31248/RJFSN2019.088>
- Kim, D. O., Jeong, S. W. y Lee, C. Y. (2003). Antioxidant capacity of phenolic phytochemicals from various cultivars of plums. *Food Chemistry*, 81(3), 321-326. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00423-5](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00423-5)
- Kin, Y. I. (2000) Aga technical review: Impact of dietary fiber on colon cancer occurrence. *Gastroenterology*, 118, 1235-1257. [https://doi.org/10.1016/s0016-5085\(00\)70377-5](https://doi.org/10.1016/s0016-5085(00)70377-5)
- Klemková, T., Slaný, O., Šišmiša, M., Marcinčák, S. y Čertíka, M. (2020). Dual production of polyunsaturated fatty acids and beta-carotene with *Mucor wosnessenskii* by the process of solid-state fermentation using agro-industrial waste. *Journal of Biotechnology*, 311, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2020.02.006>
- Kris-Etherton, P. M., Hecker, K. D., Bonanome, A., Coval, S. M., Binkoski, A. E. y Hilpert, K. F. (2002). Bioactive compounds in food: their role in the prevention of cardiovascular disease and cancer. *Am J Med*, 113, 71s-88s
- Kumar, K., Yadav A. N., Kumar, V., Vyas, P. y Dhaliwal, S. (2017). Food waste: a potential bioresource for extraction of nutraceuticals and bioactive compounds. *Bioresources and Bioprocessing*, 4(18), 1-14. <https://doi.org/10.1186/s40643-017-0148-6>
- Kuprianov, V. I. y Arromdee, P. (2013). Combustion of peanut and tamarind shells in a conical fluidized-bed combustor: A comparative study. *Bioresource Technology*, 140, 199-210. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.04.086>
- Lattanzio, V. (2013). Phenolic compounds: Introduction. En: Ramawat, K. G y Merillón, J. M. (Eds.). *Natural Products*. Berlin: Springer. 1543-1580.
- LEIA, Centro de Desarrollo Tecnológico. (2007). *Industria química basada en biomasa. Implicaciones tecnológicas*. Centros Tecnológicos de España.
- Li, Y., Yao, J., Han, C., Yang, J., Chaudhry, M. T., Wang, S., Liu, H. y Yin, Y. (2016). Quercetin, inflammation, and immunity. *Nutrients*, 167(8), 1-14. <https://doi.org/10.3390/nu8030167>

- López, A. (2017). *Caracterización de compuestos bioactivos en productos y subproductos vegetales mediante técnicas cromatográficas acopladas a espectrometría de masa*. [Tesis doctoral, Universidad de Granada]. Repositorio institucional.
- Maftoonazad, N. y Ramaswamy, H. S. (2019). Application and evaluation of a pectin-based edible coating process for quality change kinetics and shelf-life extension of lime fruit (*Citrus aurantifolium*). *Coatings*, 285(9), 1-14. <https://doi.org/10.3390/coatings9050285>
- Martínez-Navarrete, N., Camacho, M. M. y Martínez, J. J. (2008). Los compuestos bioactivos de las frutas y sus efectos en la salud. *Actividad Dietética*, 12(2), 64-8.
- Martínez-Valverde, I., Periago, M. J. y Ros, G. (2000). Significado nutricional de los compuestos fenólicos de la dieta. *Archivos latinoamericanos de nutrición*, 50(1), 5-18.
- Mata, C. A., Melara, E. y Rodríguez, R. S. (2003). *Cuantificación del contenido de proteína total en el bagazo de la naranja valencia (Citrus sinensis) al ser enriquecida con el Aspergillus niger*. [Tesis de pregrado, Universidad de El Salvador]. Repositorio institucional.
- Matos, A. y Chambilla, E. (2010). Importancia de la fibra dietética, sus propiedades funcionales en la alimentación humana y en la industria alimentaria. *Revista de Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(1), 4-17. https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/ri_alimentos/article/view/813
- Medina, G. B. (1997). *Bromatología: notas de clase*. Universidad de Antioquía. <https://bit.ly/3G29MMV>
- Mejía, L. F., Martínez, H. A., Betancourt, J. E. y Castrillón, C. E. (2007). Aprovechamiento del residuo agroindustrial del mango común (*Mangifera indica* L.) en la obtención de azúcares fermentables. *Revista Ingeniería y Ciencia*, 3(6), 41-62.
- Melissari, B. (2012). Comportamiento de cenizas y su impacto en sistemas de combustión de biomasa. *Memoria de Trabajos de Difusión Científica y Técnica*, 10, 69-82.
- Moncada, J., Aristizábal, V. y Cardona, C. A. (2016). Design strategies for sustainable biorefineries. *Biochemical Engineering Journal*, 116, 122-134. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2016.06.009>
- Moncada, M., Giraldo, A. y Landazuri, P. (2012). Actividad antioxidante de los extractos etanólicos y acuosos de la cáscara y la semilla de *Annona muricata* y de las hojas *Brownea ariza*. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 24, 143-151.
- Morais, D., Rotta, E., Sargi, S., Schmidt, E., Gutendorfer, E., Eberlin, M., Sawaya, A. y Visentainer, J. (2015). Antioxidant activity, phenolics and UPLC-ESI(-)-MS of

- extracts from different tropical fruits parts and processed peels. *Food Research International*, 77, 392-399. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.08.036>
- Moreira, K. (2013). *Reutilización de residuos de la cáscara de bananos (musa paradisiaca) y plátanos (musa sapientum) para la producción de alimentos destinados al consumo humano*. [Tesis de pregrado, Universidad de Guayaquil]. Repositorio institucional. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/3666/1/1113.pdf>
- Mosquera, O. M., González, L. M., Cortes, Y. J. y Camargo, J. C. (2015). Caracterización fitoquímica, determinación del contenido de lignina y la actividad antioxidante de los culmos de *Guadua angustifolia* KUNTH. *Revista Facultad de Ciencias Básicas, Universidad Militar Nueva Granada*, 11(2), 124-135. <https://doi.org/10.18359/rfcb.1301>
- Oberoi, H. S., Babbar, N., Dhaliwal, S. S., Kaur, S., Vadlani, P. V., Bhargav, V. K. y Patil, R. T. (2012). Enhanced oil recovery by pre-treatment of mustard seeds using crude enzyme extract obtained from mixed-culture solid-state fermentation of kinnow (*Citrus reticulata*) waste and wheat bran. *Food Bioprocess Technol*, 5, 759-767. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11947-010-0380-y>
- Oliveira, A. C., Barros, L., Silva, C., Henriques, E., Paes, M., Marinho, C. y Oliveira, M. (2009). Total phenolic content and free radical scavenging activities of methanolic extract powders of tropical fruit residues. *Food Chemistry*, 115, 469-475.
- Orozco, R. S., Hernández, P. B., Morales, G. R., Núñez, F. U., Villafuerte, J. O., Lugo, V. L., Ramírez, N. F., Díaz, C. E. B. y Vázquez, P. C. (2014). Characterization of lignocellulosic fruit waste as an alternative feedstock for bioethanol production. *BioResources*, 9(2), 1873-1885.
- 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, 4619-4626. <https://doi.org/10.1021/jf010586o>.
- Panesso, E. A., Calle, M. C. y Meneses, E. J. (2012). Salud bucal y xilitol: usos y posibilidades en caries y enfermedad periodontal en poblaciones “PEPE”. *Revista Universidad y Salud*, 14 (2), 205-215.
- Pantoja, A., Cuatin, M. y Muñoz, D. (2015). Efecto del pretratamiento químico y enzimático en la deslignificación de biomasa agroindustrial típica del caucho. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 13(1), 45-53. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v13n1/v13n1a06.pdf>

- Pastillo, A. V. (2014). Identificación de la composición química y nutricional de los confites y snacks. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte, Ibarra]. Repositorio institucional.
- Patel, R. V., Mistry, B. M., Shinde, S. K., Syed, R., Singh, V. y Shin, H. S. (2018). Therapeutic potential of quercetin as a cardiovascular agent. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 115, 889-904. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2018.06.053>
- Pérez, Á. T., Batista, M. A., Velásquez, J. C. y García, J. M. (2013). Acetato de celulosa del bagazo de la caña de azúcar: plastificación y evaluación de propiedades. *Ciencias Holguín*, 19 (4), 1-9. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181529931001>
- Petkowicz, L. O. y Williams, P. A. (2020). Pectins from food waste: Characterization and functional properties of a pectin extracted from broccoli stalk. *Food Hydrocolloids*, 107. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105930>
- Prinsen, P. (2010). Composición química de diversos materiales lignocelulósicos de interés industrial y análisis estructural de sus ligninas. [Tesis de Maestría, Universidad de Sevilla]. Repositorio institucional.
- Prior, R. L. (2015). Oxygen radical absorbance capacity (ORAC): New horizons in relating dietary antioxidants/bioactives and health benefits. *Journal of functional foods*, 18, 797-810. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.12.018>
- Puentes, L. H. y Joya, E. (2005). *Reconocimiento de las características, obtención y utilización de la estopa de coco*. Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, Gobierno de Colombia. <https://bit.ly/3KiOIo6>
- Quideau, S., Deffieux, D., Douat-Casassus, C. y Pouységu, L. (2011). Plant polyphenols: chemical properties, biological activities, and synthesis. *Angewandte Chemie International Edition*, 50(3), 586-621. <https://doi.org/10.1002/anie.201000044>
- Ramírez, M. G. (2005). *Carbohidratos*. Documento de trabajo. https://fmvz.unam.mx/fmvz/p_estudios/apuntes_bioquimica/Unidad_3.pdf
- Ramírez, S. y Reyes, M. C. (2017). *Aprovechamiento de residuos lignocelulósicos de la ananas comosus (piña) para la producción de xilitol por hidrólisis enzimática* [tesis de pregrado, Fundación Universidad de América]. Repositorio institucional. <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6575/1/6122855-2017-2-IQ.pdf>
- Revuelta, D., Mosquera, D. y Cuba, F. (2008). Ensiling potential of orange fruit wastes (*Citrus sinensis*). *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 17(2), 4-44. <https://www.redalyc.org/pdf/932/93217209.pdf>
- Rincón, A. M., Vásquez, M. y Padilla, F. C. (2005). Composición química y compuestos bioactivos de las harinas de cascaras de naranja (*Citrus sinensis*), mandarina (*Citrus*

- reticulata) y toronja (*Citrus paradisi*) cultivadas en Venezuela. *ALAN*, 55(3), 305-310. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222005000300013
- Rivas-Gonzalo, J. C. y García-Alonso, M. (2002). Flavonoides en alimentos vegetales: estructura y actividad antioxidante. *Alimentación, Nutrición y Salud*, 9, 31-8. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=255272>
- Roda, A. y Lambri, M. (2019). Food uses of pineapple waste and by-products: a review. *International Journal of Food Science and Technology*, 54(4), 1009-1017. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14128>
- Rohm, H., Brennan, C., Turner, C., Günther, E., Campbell, G., Hernando, I., Struck, S. y Kantogiorgos, V. (2015). Adding value to fruit processing waste: Innovative ways to incorporate fibers from berry pomace in baked and extruded cereal-based foods. *Foods*, 4(4), 690-697. <https://doi.org/10.3390/foods4040690>
- Rojas, A. F. (2018). *Introducción al aprovechamiento de residuos*. Primera Edición. Editorial Universidad Nacional de Colombia.
- Rojas-González, A. F., Flórez-Montes, C. y López-Rodríguez, D. F. (2019). Prospectivas de aprovechamiento de algunos residuos agroindustriales. *Revista Cubana de Química*, 31(1), 2019, 31-52.
- Ruales, A. V. (2015). Evaluación del potencial energético y bioactivo de los residuos generados por la producción y transformación de la uva, [tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales]. Repositorio institucional. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/54210>
- Ruales-Salcedo, A. V; Rojas-González, A. F. y Cardona-Alzate, C. A. (2017). Obtención de compuestos fenólicos a partir de residuos de uva isabella (*Vitis labrusca*). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 15(2), 72-79. <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/598>
- Ruiz-Torrallba, A., Guerra-Hernández, E. J. y García-Villanova, B. (2018). Antioxidant capacity, polyphenol content and contribution to dietary intake of 52 fruits sold in Spain. *CyTA Journal of Food*, 16(1), 1131-1138. <https://doi.org/10.1080/19476337.2018.1517828>
- Saleem, M., Tanvir, M., Akhtar, M.F., Iqbal, M. y Saleem, A. (2019). Antidiabetic potential of *Mangifera indica* L. Cv. anwar ratol leaves: Medicinal Application of Food Wastes. *Medicina (Kaunas)*, 353(55), 1-9. <https://doi.org/10.3390/medicina55070353>
- Sánchez, W. F., Murillo, E. y Méndez, J. J. (2010). Potencial antioxidante de residuos agroindustriales de tres frutas de alto consumo en el Tolima. *Scientia et Technica*, 17(46), 138-143. <https://doi.org/10.22517/23447214.273>

- Sandak, A., Sandak, J., Waliszewska, B., Zborowska, M. y Mleczec, M. (2017). Selection of optimal conversion path for willow biomass assisted by infrared spectroscopy. *Forest Biogeosciences and Forestry*, 10, 506-514. <https://doi.org/10.3832/ifot1987-010>
- Santos, L. P., Morais, D. R., Souza, N. E., Cottica, S. M., Boroski, M. y Visentainer, J. V. (2011). Phenolic compounds and fatty acids in different parts of *Vitis labrusca* and *V. vinifera* grapes. *Food Research International*, 44, 1414-1418. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.02.022>
- Serna, L. y Torres, C. (2015). Potencial agroindustrial de cáscaras de mango (*Mangifera indica*) variedades Keitt y Tommy Atkins. *Acta Agronómica*, 64(2), 110-115. <https://doi.org/10.15446/acag.v64n2.43579>
- Shahidi, F. y Ambigaipalan, P. (2018). Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids and Their Health Benefits. *Annual Review of Food Science and Technology*, 9(1) 345-381. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-111317-095850>
- Shojaeiarani, J., Bajwa, D. S. y Bajwa, S. G. (2019). Properties of densified solid biofuels in relation to chemical composition, moisture content, and bulk density of the biomass. *BioResources*, 14(2), 4996-5015. <https://doi.org/10.15376/biores.14.2.Shojaeiarani>
- Shokri, J. y Adibkia, K. (2013). Application of Cellulose and Cellulose Derivatives in Pharmaceutical Industries. En: *Cellulose - Medical, Pharmaceutical and Electronic Applications*. Theo Van de Ven and Louis.
- Singh, D. S., Siddiq, M., Greiby, I. y Dolan, K. D. (2013). Total phenolics, antioxidant activity, and functional properties of 'Tommy Atkins' mango peel and kernel as affected by drying methods. *Food Chemistry*, 141, 2649-2655. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.05.053>
- Sluiter, A., Hames, B., Hyman, D., Payne, C., Ruiz, R., Scarlata, C., Sluiter, J., Templeton, D., Wolfe, J. (2008). Determination of total solids in biomass and total dissolved solids in liquid process samples. *National Renewable Energy Laboratory*, 9, 1-6. <https://www.nrel.gov/docs/gen/fy08/42621.pdf>
- Sluiter, A., Hames, B., Ruiz, R., Scarlata, C., Sluiter, J., Templeton, D. y Crocker, D. (2012). Determination of structural carbohydrates and lignin in biomass, NREL/TP-510-42618. Colorado: National Renewable Energy Laboratory, 1617(1), 1-16. <https://www.nrel.gov/docs/gen/fy11/42618.pdf>
- Sluiter, A., Hames, B., Ruiz, R., Scarlata, C., Sluiter, J. y Templeton, D. (2005a). Determination of ash in biomass. *National Renewable Energy Laboratory*. <https://www.nrel.gov/docs/gen/fy08/42622.pdf>

- Sluiter, A., Ruiz, A., Scarlata, C., Sluiter, J. y Templeton, D. (2005b). Determination of extractives in biomass. *Laboratory analytical procedure*, 1617(4), 1-16. <https://www.nrel.gov/docs/gen/fy08/42619.pdf>
- Soliman, G. A. (2019). Dietary fiber, atherosclerosis, and cardiovascular disease. *Nutrients*, 11(5), 1-11. <https://doi.org/10.3390/nu11051155>.
- Spatafora, C., Barbagallo, E., Amico, V. y Tringali, C. (2013). Grape stems from Sicilian *Vitis vinifera* cultivars as a source of polyphenol-enriched fractions with enhanced antioxidant activity. *Food Science and Technology*, 54, 542-548. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.06.007>
- Sucroal S.A. (2015). Ácido acético natural. *Ciencia e innovación para un futuro sostenible*. Disponible en: <https://sucroal.com.co/producto/acido-acetico-natural/>
- Suleria, H. A. R., Barrow, C. J. y Dunshea, F. R. (2020). Screening and Characterization of Phenolic Compounds and Their Antioxidant Capacity in Different Fruit Peels. *Foods*, 9(9), 1-26. <https://doi.org/10.3390/foods9091206>.
- Tejada, L., Tejada, C., Marimón, W. y Villabona, Á. (2014). Estudio de modificación química y física de biomasa (*Citrus sinensis* y *Musa paradisiaca*) para la adsorción de metales pesados en solución. *Revista Luna Azul*, 39, 124-142. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=321732142008>
- Tlili, I., Hdider, C., Salvatore, M., Riadh, I., Jebari, H. y Delessandro, G. (2011). Bioactive compounds and antioxidant activities of different watermelon (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Mansfeld) cultivars as affected by fruit sampling area. *Journal of food Composition and Analysis*, 24, 307- 314.
- Tomás-Barberán, F. A. (2003). Los polifenoles de los alimentos y la salud. *Revista Alim Nutr Salud*, 10, 41-53.
- Trapero, Y. M., (2013). Farmacocinética y toxicología del 4-hidroxi-3-metoxibenzaldehído (vainillina) en modelos in vivo, [tesis de doctorado, Universidad de Oriente]. Repositorio institucional.
- Valgimigli, L.; Baschieri, A. y Amorati, R. (2018). Antioxidant activity of nanomaterials. *Journal of Materials Chemistry B*, 6, 2036-2051.
- Ververis, C., Georghiou, K., Danielidis, D., Hatzinikolaou, D. G., Santas, P., Santas, R. y Corleti, V. (2006). Cellulose, hemicelluloses, lignin and ash content of some organic materials and their suitability for use as paper pulp supplements. *Bioresource Technology*, 98(2), 296-301. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.01.007>
- Viganó, J., Assis, B. F., Náthia-Neves, G., Dos Santos P. A., Meireles, M. A., Carvalho, P. y Martínez, J. (2020). Extraction of bioactive compounds from defatted passion fruit

- bagasse (*Passiflora edulis* sp.) applying pressurized liquids assisted by ultrasound. *Ultrasonics-Sonochemistry*, 64, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.104999>
- Vilcanqui, F. y Vilchez, C. (2017). Fibra dietaria: nuevas definiciones, propiedades funcionales y beneficios para la salud. *Revisión. Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 67(2), 146-156.
- Vit, P., Santiago, B. y Pérez, E. (2014). Composición química y actividad antioxidante de pulpa, hoja y semilla de guanábana. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 39(5), 350-353.
- Wall-Medrano, A., Olivas-Aguirre, F. J., Velderrain-Rodríguez, G. R., González-Aguilar, A., De La Rosa, L. A., López-Díaz, J. A. y Álvarez-Parrilla, E. (2015). El mango: aspectos agroindustriales, valor nutricional/funcional y efectos en la salud. *Nutrición Hospitalaria*, 31(1), 67-75. <https://doi.org/10.3305/nh.2015.31.1.7701>
- Yepes, S. M., Montoya, L. J. y Orozco, F. (2008). Valorización de Residuos Agroindustriales en el Valle de Aburrá, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 61(1), 4422-4431. <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v61n1/a18v61n1.pdf>

GLOSARIO

Agroindustria moderna

En este tipo de industria se incorporan técnicas, metodologías y equipos para la transformación de las materias primas y productos agropecuarios, que generan una diferenciación respecto a los demás productos, con el propósito de ser más competitivos en los mercados nacionales e internacionales (Castrillón, 2007).

Agroindustria tradicional

Se caracteriza porque los productos obtenidos en esta no tienen ninguna clase de diferenciación entre los productos agropecuarios o materias primas que se encuentran en el comercio (Castrillón, 2007).

Alimentos funcionales

Contienen componentes biológicamente activos empleados por el cuerpo al ser ingeridos, para obtener efectos beneficiosos y nutricionales básicos con el propósito de mejorar la salud y disminuir el riesgo de sufrir enfermedades. También proporcionan beneficios fisiológicos adicionales (Fuentes-Berrio *et al.*, 2015).

Biocombustibles

Son combustibles de origen biológico. Algunos ejemplos son: leña, residuos forestales, carbón vegetal, residuos agrícolas (paja, bagazo, frutas, semillas, cáscaras, etc.), biogás, residuos de crianza, sacrificio, procesamiento de animales, entre otros (Islas y Martínez, 2010).

Bioenergía

Concepto empleado para designar la energía obtenida al quemar o procesar el material orgánico de origen biológico (biomasa). La bioenergía puede ser utilizada para sustituir en gran parte las fuentes de energía fósil y nuclear existentes (Islas y Martínez, 2010).

Biofertilizantes

Son sustancias o preparados que contienen microorganismos vivos, que son aplicados al suelo o a la planta (semillas, hojas o tallos). Se aplican con el fin de que los microorganismos colonicen la rizósfera o el interior de la planta para promover el incremento del suministro o disponibilidad de nutrientes primarios que favorecen su crecimiento y el aumento de sus frutos. Los biofertilizantes permiten sustituir parcial o totalmente el uso de fertilizantes sintéticos, por lo que disminuyen la contaminación generada por los agroquímicos. Erróneamente se utiliza el término biofertilizante como sinónimo de fertilizantes orgánicos, compost y estiércol de animales (Afanador, 2017).

Bioindustria

Es un tipo de industria basada en el proceso y transformación de materia prima de origen biomásico (Ministerio de Economía, Industria y Competitividad, 2017).

Biomasa residual

Es un tipo de biomasa que se produce como resultado de cualquier proceso natural o antropogénico, donde se consume biomasa y se generan residuos, que son llamados biomasa residual. Este tipo de biomasa se deriva de las explotaciones agrícolas, forestales o ganaderas, al igual que de las actividades industriales y de los núcleos urbanos que producen residuos orgánicos (Patiño, 2014).

Biomasa

Es todo material orgánico de origen biológico, llamada también masa biológica. La biomasa se puede utilizar como fuente de materia prima para obtener energía, alimentos, fertilizantes, compuestos de alto valor agregado, biomateriales, entre otros (Islas y Martínez, 2010).

Biomateriales

Son un tipo de material compuesto, constituido por dos o más tipos de materiales distintos de origen orgánico e inorgánico, procedentes de la explotación de recursos naturales, o del aprovechamiento de residuos biomásicos. En su mayoría son aprovechados para aplicaciones biomédicas y en el desarrollo de materiales de ingeniería (Sáenz, 2004).

Bioproductos

Se derivan total o parcialmente de materiales de origen vegetal o animal, no fosilizados (Ministerio de Economía, Industria y Competitividad, 2017).

Biorrefinería

Es un sistema integrado y complejo de procesos, plantas y tecnologías, reunidas en una misma instalación, donde se ofrece una estrategia de transformación sustentable de la materia prima (biomasa y residuos de varias industrias: forestal, papelera, agrícola, ganadera, de origen urbano, microalgas, etc.) para producir bioenergía (calor, electricidad o biocombustibles) y una amplia gama de bioproductos (*bio-based products*, materiales, productos químicos, fertilizantes, alimentos y piensos) (Ministerio de Economía, Industria y Competitividad, 2017).

Capacidad citotóxica

Las sustancias con capacidad citotóxica generan alteraciones a nivel citoplasmático, cambios en el ciclo celular y progresión de tumores, entre otros efectos negativos en la salud (Muñoz y Cuca, 2016).

Compuestos bioactivos

Son sustancias de origen vegetal y animal que presentan efectos farmacológicos y terapéuticos, provienen de alimentos funcionales y tienen el propósito de tratar o prevenir enfermedades. Los compuestos bioactivos de origen vegetal son llamados fitoquímicos o fitonutrientes, mientras que los que provienen de animales son conocidos como zooquímicos (Drago *et al.*, 2006; Martínez-Navarrete *et al.*, 2008).

Fracción comestible

Es la porción de una hortaliza o fruta que se puede consumir por su facilidad de masticar e ingerir, y que presenta atributos nutricionales importantes y cualidades benéficas para la salud.

Fracción no comestible

Es la porción de una hortaliza o fruta que no se puede consumir por las dificultades que se pueden presentar al masticarla o ingerirla, porque pueden contener sustancias que no aportan cualidades nutricionales ni benéficas para la salud, o porque poseen sustancias tóxicas (toxinas) que pueden afectar la salud e incluso provocar la muerte.

Frutas climatéricas

Son las frutas que siguen su proceso de maduración después de que son cosechadas. Esto ocurre debido a la producción de etileno en la fruta, una hormona vegetal que estimula la maduración, que es causado por la respiración. Algunas frutas climatéricas son: manzana, piña, pera, plátano, banano, papaya, entre otras (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), 2013).

Frutas no climatéricas

Son las frutas que no maduran después de que son retiradas de la planta, como ocurre con las frutas cítricas (IICA, 2013).

Fruticultura

Es el cultivo y mantenimiento de árboles que producen frutas, llamados también árboles frutales, y que presentan diferentes características morfológicas. Los cultivos frutícolas más representativos en Colombia son los de: uva, cítricos, banano, guayaba, mango, piña, manzana, entre otros (Gobierno Departamental autónomo de Santa Cruz, 2011).

Madera plástica

Es un tipo de material compuesto, constituido por dos fases diferentes: una conformada por residuos plásticos y la otra de residuos biomásicos. La mezcla de estos dos materiales no excede el 10 % del material biomásico, hasta solo obtener materiales con el 100 % de plástico reciclado (Rincón *et al.*, 2016).

Masa corporal grasa

Es la medida de la masa de grasa en el cuerpo. El conocimiento de este parámetro permite emplearlo como indicador del nivel de sobrepeso y obesidad. Un valor alto en la masa corporal grasa es una alarma de riesgo sobre la salud, debido a que las personas pueden presentar enfermedades coronarias, hipertensión arterial y diabetes mellitus (Cardozo *et al.*, 2016).

Masa corporal magra

Es la masa de materia presente en el cuerpo (huesos, músculos, órganos y grasa esencial) diferente a la grasa (Del Campo *et al.*, 2015).

Perfil fitoquímico

Es un análisis preliminar con el que se busca evaluar la presencia de los principales grupos de metabolitos secundarios asociados con la actividad biológica. El análisis determina el contenido e identificación de los diferentes flavonoides, taninos, saponinas, derivados antracénicos, esteroides o triterpenoides, cumarinas, glicósidos cardiotónicos y lactonas terpénicas (Carvajal *et al.*, 2009).

Sector Hortofrutícola

Se encarga de las actividades económicas (que tienen en cuenta la demanda mundial) relacionadas con el cultivo, producción y transformación de toda clase de frutas y hortalizas para el consumo directo o para su procesamiento en la agroindustria de frutas y hortalizas. Este sector está constituido por cultivadores, transformadores y procesadores, proveedores e intermediarios, y comercializadores (Rocha, 2013).

Bibliografía

- Afanador, L. N. (2017). Biofertilizantes: conceptos, beneficios y su aplicación en Colombia. *Revista Ingeciencia de la Universidad Central, Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas*, 2(1), 65-76. <https://bit.ly/3FZAaqK>
- Cardozo L. A., Cuervo Y. A. y Murcia J. A. (2016). Porcentaje de grasa corporal y prevalencia de sobrepeso - obesidad en estudiantes universitarios de rendimiento deportivo de Bogotá, Colombia. *Revista Nutrición Clínica y Dietética Hospitalaria*, 36(3), 68-75. <https://doi.org/10.12873/363cardozo>
- Carvajal, L., Hata, Y., Sierra, N. y Rueda, D. (2009). Análisis fitoquímico preliminar de hojas, tallos y semillas de Cupatá (*Strychnos Schultesiana* Krukoff). *Revista Colombia Forestal*, 161-170. <http://www.scielo.org.co/pdf/cofo/v12n1/v12n1a11.pdf>
- Castrillón, F. I. (2007). *Teoría económica y algunas experiencias latinoamericanas relativas a la agroindustria*. –Universidad de Caldas. <https://www.eumed.net/libros-gratis/2007b/304/index.htm>
- Del Campo, J.M., González, L. y Gómez, A. (2015). Relación entre el índice de masa corporal, el porcentaje de grasa y la circunferencia de cintura en universitarios. *Revista Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascaliente*, 65, 26-32. <https://www.redalyc.org/pdf/674/67443217004.pdf>

- Drago, M. E., López, M. y Saíenz, T. R. (2006). Componentes bioactivos de alimentos funcionales de origen vegetal. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 37(4), 58-68. <https://www.redalyc.org/pdf/579/57937408.pdf>
- Fuentes-Berrio, L., Acevedo-Correa, D. y Gelvez- Ordoñez, V. M. (2015). Alimentos funcionales: impacto y retos para el desarrollo y bienestar de la sociedad colombiana. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 13(2), 140-149. <https://doi.org/10.18684/BSAA>
- Gobierno Departamental autónomo de Santa Cruz. (2011). *Cultivos Frutícolas*. Dirección de Productividad y Competitividad. <https://frutales.files.wordpress.com/2011/01/o18-cultivos-frut3adcolos.pdf>.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura - IICA. (2013). *Postcosecha y Buenas Prácticas de Producción orientadas a la Agricultura Familiar, Módulo 2*. OEA. <http://mfiles.iica.int/CTL/CPC/LEC/M2.pdf>
- Islas, J. y Martínez, A. (2010). Bioenergía. *Revista Ciencias, abril-junio*, 30-39. https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/61_2/PDF/Bioenergia.pdf
- Martínez-Navarrete, N., Camacho, M. Martínez, J. (2008). Los compuestos bioactivos de las frutas y sus efectos en la salud. *Revista Actividad Dietética*, 12(2), 64-68. [https://doi.org/10.1016/s1138-0322\(08\)75623-2](https://doi.org/10.1016/s1138-0322(08)75623-2)
- Ministerio de Economía, Industria y Competitividad. (2017). *Manual sobre las Biorrefinerías en España*. Ministerio de Economía, Industria y Competitividad. Gobierno de España. <https://bit.ly/3Kizu24>
- Muñoz, D. R. y Cuca, L. E. (2016). Compuestos citotóxicos de origen vegetal y su relación con proteínas inhibidoras de apoptosis (IAP). *Revista Colombiana de Cancerología*, 20(3), 124-134. <https://doi.org/10.1016/j.rccan.2015.10.002>
- Patiño, P. E. (2014). Biomasa residual vegetal: tecnologías de transformación y estado actual. *Revista Innovaciencia de la Universidad de Santander*, 2(1), 45-52. <https://doi.org/10.15649/2346075X.255>
- Rincón, L., Rodríguez, E. y Espitia, A. (2016). Madera plástica: Un producto amigo del planeta. *Revista Semilleros*, 3(5), 41-48. ISSN: 2343-6395. <https://bit.ly/3nwQIQm>
- Rocha R. (2013). *Potencial competitivo del sector hortofrutícola colombiano*. Informe de resultados, 1-55. <https://bit.ly/3JW7mkc>
- Sáenz, A. (2004). Biomateriales. *Revista Tecnología en Marcha*, 17(1), 34-45. https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/1432/1315

Índice temático

A

- Agrícola 23, 25, 29, 31, 54, 229
- Agroindustria 19-21, 23-27, 29-30, 39, 42-48, 49-50, 59, 87, 90, 119, 167, 185, 193, 199
- Análisis
 - bromatológico 67, 199, 203, 204, 206-210
 - elemental 21, 67, 119-120, 133-137, 139, 140, 143, 149, 152
 - estructural 67, 173, 177, 179
 - próximo(s) 21, 66, 68, 119, 120, 123-132, 134, 136, 139, 143, 149-150, 154, 167, 174, 206
 - último 133, 136, 138, 140

B

- Bioaceite(s) 63-64, 178-179
- Biocombustibles 20, 52, 68, 169
- Biodegradable 49-50, 59-60, 63-64
- Biofertilizantes 20, 23, 51, 60, 66, 68, 167
- Biomasa residual 20, 50, 59, 119, 131, 155

C

- Caldas 24, 28-29, 40, 41, 43-47
- Capacidad
 - antioxidante 53, 62, 65, 66-68, 119, 167, 177, 182, 184-185, 187, 189, 192-196, 198-199, 210
- Características
 - físicas 21, 25, 65, 67, 167
 - químicas 21, 159, 167
- Carbono
 - fijo 21, 66, 199, 120, 122-123, 126-128, 130-131, 133, 144, 150, 155-156, 159,
- Carbohidrato(s) 60, 67, 102, 200, 203-204, 206-210
- Celulosa 53, 67, 143, 150, 168-170, 173-181, 201-202, 210
- Ceniza 21, 66, 119, 120, 122, 126-128, 131, 136, 151-152, 154, 159, 171-174, 177-178, 181, 203, 206, 207, 209, 210

Comestibilidad 48-49, 55, 57

Compuestos

- bioactivo 22, 51, 60, 64-68, 119, 167, 177, 182-183, 185, 189, 210
 - polifenólico 52-53, 62-64, 67, 183, 186-189, 193, 198, 199, 210
- Consumo 21, 23-27, 32, 35, 38-39, 42-44, 47, 53, 57, 68, 91, 102, 121, 196, 206-207, 209
- Cultivo 21, 24, 39, 42, 59, 65, 68, 87, 95, 98, 101, 109, 119, 132, 167, 193

D

- Densidad
 - a granel 103-105, 107-109
 - de partícula 103-107
- Despulpado 65-66, 87, 93, 98
- Diagrama
 - de Van Krevelen 120, 133, 136, 142
- Diámetro
 - equivalente 58, 93,
 - de Feret 21, 87, 93, 94-96
 - martín 93-94
 - medio aritmético 87, 93-96,
 - medio geométrico 21, 87, 93-96, 104
- Dureza 21, 32, 47-49, 67, 87, 98-101, 109

E

- Emisiones 23, 133, 137, 139, 141-142
- Endocarpio 32, 33, 36
- Esfericidad 21, 66, 87, 93-97, 109
- Extractivos
 - totales 67, 174-175, 177, 180-181, 198, 210

F

- Fibra
 - dietética 53, 67, 201-202, 204-210,
- Flavonoides 53, 62-64, 67, 170, 183-185, 187, 189-192, 210

G

Gases 23, 122, 134, 137, 142, 171-172, 176, 179, 201

Grasa 37, 53, 67, 102, 199, 200, 204, 205, 206, 207, 209-210

H

Hemicelulosa 67, 143, 168-170, 173-181, 201, 202, 210

Hojas 19, 23, 39, 45-46, 56, 167, 219

Holocelulosa 168, 173-174, 176-178, 181

Hortaliza 24, 30-31, 40-41, 98, 182, 202, 231

Hortofrutícola 24, 31, 41, 68, 231

Humedad 21, 37, 56, 66, 98, 104, 120-122, 124-128, 131, 133, 136, 159, 168, 171, 173, 206

I

Índice

de Combustibilidad 65, 119, 120, 123-124, 129-133, 143, 145-146, 147, 154-156, 159

de Generación de residuos 21, 51, 60, 87-92, 103, 109

L

Lignina 67, 143, 150, 168, 170, 173-181, 201-202

M

Madurez 19, 32, 98, 102, 102

Materia

Volátil 119-123, 125-131, 133, 137, 143, 144-147, 150, 154-155, 159,

N

Nutrientes 19, 23, 32, 37, 202

P

Pedúnculo 39-40, 46-47, 88

Pirólisis 63, 133-134, 157-158, 171, 179-180, 182

Procesamiento 20-21, 23-24, 38, 40, 53, 68, 87, 91, 95, 109, 167, 203, 206, 209,

Producción 19-21, 23-28, 30-31, 39-45, 50, 52-54, 57, 59, 62-63, 66, 88, 128, 133, 137, 169-170, 178, 180, 199, 201-202, 208

Propiedad(es)

térmica 20, 66, 135, 148, 181

antioxidantes 19, 23-24, 53, 57, 64, 68, 181, 182, 183, 190, 194, 196, 198

estructurales 66, 143, 168, 170, 178, 180, 182, 202

físicas 65-67, 87, 119

químicas 66, 68, 119, 120

Proteína 23, 63-64, 67, 204, 205-207, 209

Pulpa 19, 23, 32, 54, 56-57, 65, 87, 91, 167, 203

R

Relaciones

atómicas 119-120, 133, 136-137, 139, 142-143, 154

Rendimiento 21, 23, 24, 39, 41-43, 122, 178-180, 182

Residuos

biomásicos 119-122, 130

de frutas 23, 39, 44, 119, 128, 147-148, 150, 168, 173, 177, 189, 192, 194, 198-199, 204, 206,

S

Sector

Industrial 25, 44, 64

Hortofrutícola 24, 41, 231

Primario 27, 49, 50, 59

Semilla 32-33, 35-36, 45, 47, 54, 58, 61, 65, 89-90, 93, 96, 104-105, 107, 124, 135, 142, 194

Subproducto 23-24, 65

T

Tallos 45-46, 167, 228

Transformación 20, 25-26, 29, 39-40, 98

V

Velocidad

De calentamiento 121-122, 125

Valorización 20, 51, 61-62, 65-66, 68, 88, 103, 119, 133, 167, 193

Sobre el autor

ANDRÉS FELIPE ROJAS GONZÁLEZ

Ingeniero químico egresado de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales, donde actualmente es profesor asociado en el Departamento de Ingeniería Química en las áreas de Balances de Materia y Energía, Fenómenos de Transferencia, Mecánica de Fluidos, Fisicoquímica, Cinética y Catálisis, Laboratorio de Operaciones Unitarias, y Tratamiento, Valorización y Aprovechamiento de Residuos. Es magister en Ingeniería Química y doctor en Ingeniería con énfasis en Ingeniería Química de la Universidad del Valle. Es director del Grupo de Investigación en Aprovechamiento de Residuos (GIAR) y se ha desempeñado como profesor en la Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira y en la Universidad del Valle. Es autor de los libros Energía y Ambiente, Fundamento de Procesos Químicos, Introducción al Aprovechamiento de Residuos y Balances de Materia y Energía en Estado Transitorio, y por su amplia producción científica, con más de 100 artículos científicos publicados y autor de varios capítulos en libros, fue reconocido como Investigador Sénior por Minciencias, La gobernación de Caldas, la Alcaldía de Manizales y SUMA. Así mismo, ha sido director y evaluador de múltiples trabajos de grado, tesis de maestría y de doctorado, propuestas de investigación y artículos científicos, en las áreas de la ingeniería química, ambiental, agroindustrial y energía.



**Facultad de
Ingeniería y
Arquitectura**

**VIE - Vicedecanatura
de Investigación y
Extensión**

**MANIZALES
2023**

**Caracterización física y química de residuos de
frutas: cáscaras y semillas**

Fue editado por la

Editorial Universidad Nacional de Colombia.

El libro se digitalizó en formato PDF enriquecido en julio de 2023.

Bogotá, D. C., Colombia.

Los residuos generados en la agroindustria del procesamiento y transformación de frutas representan el 50% de estas, lo cual indica que la mitad de la fruta procesada se desperdicia. Una forma de reducir la cantidad de estos residuos, es implementar sistemas de aprovechamiento. Sin embargo, antes de establecer qué procedimiento se debe realizar al residuo para su aprovechamiento, es necesario determinar sus características físicas y químicas.

Esta obra ofrece una guía de las técnicas de análisis de propiedades físicas y químicas, y presenta los resultados experimentales de estas caracterizaciones para 50 residuos de frutas, entre cáscaras y semillas. A través de las características físicas se determinó: el índice de generación de residuos, tamaño, espesor, forma, dureza, densidad, humedad total y color. En tanto que, por medio de los análisis químicos, se estableció: el análisis próximo, elemental, contenido energético, composición estructural, bromatológica, compuestos bioactivos y capacidad antioxidante.

Los resultados de estos análisis permitieron identificar posibles alternativas de aprovechamiento de los residuos de frutas. Entre estas alternativas están: la obtención de carbón activado, generación de energía por combustión directa, producción de combustibles por pirólisis, producción de alimento para animales, extracción de compuestos antioxidantes, entre otras.