

**ESTUDIO DEL APROVECHAMIENTO DEL RESIDUO SÓLIDO DE
SEMILLA DE ACAÍ (*Euterpe Precatoria Mart.*) EN LA INDUSTRIA
QUÍMICA**

ROSAURA INÉS GUERRA CALA

PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL, CIVIL Y
QUÍMICA**

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA



UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

PAMPLONA, Septiembre 11 del 2021.

**ESTUDIO DEL APROVECHAMIENTO DEL RESIDUO SÓLIDO DE
SEMILLA DE ACAÍ (*Euterpe Precatoria Mart.*) EN LA INDUSTRIA
QUÍMICA**

ROSAURA INÉS GUERRA CALA

**Trabajo de monografía presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO QUÍMICO**

Director: CARLA STEPHANNY CARDENAS BUSTOS

Mgtr. en Ingeniería Química

Co-director: SONIA ESPERANZA REYES GÓMEZ

Dra. en Ciencia e Ingeniería de Materiales

**PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL, CIVIL Y QUÍMICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA**

Pamplona, Septiembre 11 del 2021.

Dedicatoria

Se la dedico a mi padre celestial, el que me acompaña y siempre me levanta de mi continuo tropiezo, por permitirme tener vida y salud para poder realizar uno de mis sueños que es ser una profesional. A mis padres, por brindarme su apoyo, comprensión y estar siempre para mí, animándome cuando más lo necesite, su paciencia y su incondicionalidad hicieron posible este logro tan anhelado.

AGRADECIMIENTOS

Dios, tu amor y bondad no tienen fin, este trabajo de grado ha sido una gran bendición en todo sentido y te lo agradezco padre, y no cesan mis ganas de decir que es gracias a ti que esta meta está cumplida.

Agradezco a mis padres por su apoyo incondicional y confianza en mí, a mi asesora y a todas las personas que contribuyeron durante el desarrollo de este trabajo de investigación y sus aportes realizados.

Agradezco a mis profesores por todo el conocimiento otorgado a lo largo de mi carrera, a el campus que me ha forjado como profesional integra, y poder así, culminar gratificadamente este logro en mi vida.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION.....	10
2. JUSTIFICACIÓN.....	11
3. OBJETIVOS.....	12
3.1 Objetivo General.....	12
3.2 Objetivos Específicos.....	12
4. ASAÍ.....	13
4.1 ASPECTOS COMPOSICIONALES.....	14
4.1.1 Composición de la semilla.....	17
4.2 MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DEL ACEITE DE SEMILLA DE ASAÍ.....	21
4.2.1 Caracterización del extracto de aceite de semilla de asaí.....	28
4.3 ESTRATEGIAS DE VALOR AGREGADO.....	29
4.3.1.1 En la Industria Cosmética.....	28
4.3.1.2 En la Industria Química.....	29
5. CONCLUSIONES.....	31
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Morfología macroscópica del Asaí (<i>Euterpe Precatoria Mart.</i>)	14
Tabla 2. Análisis bromatológico del Asaí (<i>Euterpe precatoria Mart.</i>) en base seca de acuerdo con reportes literatura.....	16
Tabla 3. Sólidos totales de la semilla de Asaí	17
Tabla 4. Análisis composicional de la semilla de asaí de acuerdo con reportes en literatura.....	17
Tabla 5. Análisis comparativo de los métodos de extracción de aceite a partir de semilla de asaí a nivel laboratorio en base al extracto obtenido, el solvente y rendimiento del proceso.....	21
Tabla 6. Resultados de porcentaje de recuperación del aceite de asaí variando el disolvente.....	24
Tabla 7. Resultados del material extraído se la semilla de asaí por las tres variantes de extracción empelados y sus solventes.....	25
Tabla 8. Resultados de la prueba cualitativa para determinación de fitoquímicos que componen el extracto de la semilla de asaí.....	27

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de distribución geográfica de (<i>Euterpe Precatoria</i>) por densidad de acopio.....	13
Figura 2. Fruto de Asaí en el palmito, baya y semilla.....	15
Figura 3. Semilla desechada de Asaí luego del despulpado de la baya.....	19
Figura 4. Diagrama de bloques de la metodología utilizada para la extracción de aceite de semilla de asaí a nivel laboratorio.....	22
Figura 5. Extractor Soxhlet automático.....	23
Figura 6. Características y formulación de la crema humectante de semilla de asaí.....	29
Figura 7. Metodología y resultados obtenidos del estudio de la valorización de biomasa para producir biogás mediante el uso de tecnologías de pretratamiento de agua subcrítica y digestión anaeróbica.....	30

GLOSARIO

AOAC: AOAC es una asociación científica sin fines de lucro 501 con sede en Rockville, Maryland. Fue fundada en 1884 como la Asociación de Químicos Agrícolas Oficiales, esta institución posee una normativa para caracterizar materia vegetal.

Baya: Tipo de fruto carnoso con semillas rodeadas de pulpa; p. ej., el tomate y la uva.

Bromatología: Ciencia que trata de los alimentos. El análisis bromatológico incide en la composición centesimal de alimento.

Endospermo: De endo- y el griego spérma 'semilla'. Bot. Tejido del embrión de las plantas fanerógamas, que les sirve de alimento.

Epicarpio: Del lat. cient. epicarpium, y este del gr.- epi- 'sobre' y καρπός karpós 'fruto', formado a imit. de περικάρπιον perikárpion 'pericarpio'. Bot. Capa externa de las tres que forman el pericarpio de los frutos; p. ej., la piel del melocotón.

Epigeas: Del lat. cient. epigaeus, y este del gr epígaios 'que está sobre la tierra'. Bot. Dicho de una planta o de alguno de sus órganos: Que se desarrolla sobre el suelo.

Extracto Etéreo: El extracto etéreo está formado principalmente por aceites y grasas, aunque también incluye otro tipo de sustancias liposolubles como vitaminas, esteroides, pigmentos, ácidos orgánicos, etc.

Inflorescencia: Der. del lat. inflorescens, -entis, 'cubrirse de flores'. Bot. Forma en que aparecen colocadas las flores en las plantas. Inflorescencia en umbela, en espiga, en racimo, en ramillete.

Lignocelulósicos: Lignocelulosa se refiere a la materia seca vegetal, llamada biomasa lignocelulósica. Se refiere a la biomasa formada por los polímeros lignina y celulosa.

Mesocarpio: Del lat. cient. mesocarpium, y este del gr. meso- 'meso-' karpós 'fruto', formado a imit. de περικάρπιον perikárpion 'pericarpio'. Bot. Capa media de las tres que forman el pericarpio de los frutos; p. ej., la parte carnosa del melocotón.

NREL: El laboratorio nacional de energía renovable ubicado en Estados Unidos, que dicta protocolos para analizar y cuantificar biomasa.

Organoléptico: Del gr. órganon 'órgano' y 'receptivo'. Adj. Que puede ser percibido por los órganos de los sentidos.

Pedúnculo: Del lat. cient. pedunculus, y este dim. del lat. pes, pedis 'pie'. Bot. Pezón de la hoja, flor o fruto.

Péndula: Del lat. pendŭlus 'pendiente'. Adj. desus. Que pende, pendiente.

Pinnas: En botánica, se llama pinna o folíolo a cada una de las piezas separadas en que a veces se encuentra dividido el limbo de una hoja.

Polaridad: La polaridad química o sólo polaridad es una propiedad de las moléculas que representa la desigualdad de las cargas eléctricas en la misma. Esta propiedad se relaciona con otras propiedades químicas y físicas como la solubilidad, punto de fusión, punto de ebullición, fuerza intermolecular, etc.

Raquis: En las hojas compuestas eje en el que se insertan los foliolos.

Tomentoso: Es un término utilizado para describir los pelos de plantas que se doblan y son enmarañados, formando capas de lana. A menudo, los pelos son de color plata o gris.

INTRODUCCIÓN

El Asaí es una palma dominante endémica del Norte Sudamericano, este fruto como alimento funcional es ampliamente consumido en el mundo por sus beneficios antioxidantes, antiinflamatorios y farmacológicos (Rojano et al., 2011), en su estado de maduración la baya puede llegar a medir entre 1 a 2 cm, se compone de pulpa y una semilla de 6mm a 8mm de diámetro que corresponde al 60-80% de todo el volumen del fruto (Plan de negocios Acaí (Euterpe oleracea), 2015); el fruto de esta palma es muy apetecido a nivel global por sus propiedades, en Colombia, en su Amazonía se producen cerca de 353 toneladas anuales de fruto de asaí, del cual el 40% de las plantaciones se destinan a cubrir la demanda nacional e internacional (Reporte: Área, Producción y Rendimiento Nacional por Cultivo, 2018), de su pulpa se han derivado múltiples productos alimenticios como miel, polvo liofilizado ,etc., sin embargo, la semilla es desechada y no existe un destino específico para los remanentes de semilla (Sato et al., 2019), por lo que anualmente se generan muchas toneladas de este residuo sólido (Vanuza et al., 2020), a nivel regional, Brasil que es el mayor productor exportando 30.000 toneladas de asaí por año, provoca una cuantía de residuo que oscila entre 1,6 a 2 toneladas de semilla de asaí y cáscara del palmito (Contreras Murillo, 2017); estos residuos alimenticios generan un problema económico y ambiental, pues los desechos de fruta forman un contenido de materia orgánica con alto porcentaje de humedad y microorganismos, que se vuelven una amenaza potencial para el medio ambiente y sus recursos naturales (Banerjee et al., 2017). Con el propósito de analizar las posibles estrategias de valorización para los residuos de semilla de asaí, el objetivo de este trabajo pretende estudiar su composición a partir de la caracterización de biomasa, el potencial de extracción de compuestos fitoquímicos y la cuantificación de compuestos bioactivos, según lo reportado en la literatura, en primer lugar, se describen las propiedades y compuestos que conforman el fruto de asaí y su semilla, seguido de los métodos de extracción de las oleorresinas presentes en la semilla con el fin de analizar de acuerdo a sus bioactivos las posibles estrategias de aprovechamiento posibles del residuo, y, por último, analizar las tecnologías de recuperación que ya se han estudiado y planteado para este sólido.

JUSTIFICACIÓN

Esta investigación se realiza con el fin de organizar y analizar lo reportado en la literatura sobre el aprovechamiento del residuo sólido semilla de asaí, puesto que, se ha incrementado el consumo del fruto y producido un alto volumen de residuos. En el proceso de despulpado del asaí se desecha la semilla, lo que genera una gran cantidad de residuo sólido pues, la semilla ocupa más de la mitad del fruto, provocando contaminación no sólo es en términos de volumen sino en la producción de microorganismos en la etapa de descomposición, originando olores, plagas y demás, que impacta de manera negativa el entorno y el recurso natural.

Este estudio contribuye a la literatura reportada sobre este sólido, de forma comparativa y organizada, ya que, no se cuenta con mucha información específica sobre la semilla de asaí, las tecnologías empleadas para su aprovechamiento, y sus propiedades, de igual manera, proveer información para analizar en qué área se podría aprovechar el residuo y mitigar en cierta medida los impactos ambientales negativos.

Colombia es un gran productor de asaí y polvo liofilizado de asaí, está produciendo en el departamento de la Amazonía cerca de 353 toneladas anuales de fruto, (Reporte: Área, Producción y Rendimiento Nacional por Cultivo, 201) por lo tanto, se genera grandes volúmenes de residuo sólido que alteran el ecosistema de la gran riqueza colombiana como lo son sus bosques amazónicos, esperando que este estudio contribuya de forma positiva en la promoción de la recuperación de este contaminante alimenticio.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar las tecnologías y propuestas reportadas en literatura del aprovechamiento sostenible y valor agregado del residuo sólido semilla de Asaí (*Euterpe Precatoria Mart*) en el área de la industria química.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar la caracterización y análisis composicional de la semilla de Asaí (*Euterpe Precatoria Mart.*).
- Comparar los diferentes métodos de extracción del aceite de la semilla de Asaí y su rendimiento.
- Estudiar las áreas y estrategias de aprovechamiento y valor agregado que se le han dado en la industria química al residuo sólido semilla de Asaí.

4. ASAÍ

El fruto denominado Asaí o Acaí es originario del Centro y Norte de Sudamérica, este crece de manera abundante en dos especies de palma silvestre del género *Euterpe* (*E. Oleracea* Mart. y *E. Precatoria* Mart.), esta palma neotropical llega a medir aproximadamente entre 10-20 m de altura y entre 10-23 cm de diámetro, su base está compuesta por un cono de raíces epigeas rojizas muy juntas, que pueden alcanzar un metro de alto. Posee una corona compuesta por 10 a 20 hojas con un raquis de 2 a 3 m de largo y 60-90 pinnas angostas y colgantes que llegan hasta 80 cm de largo y entre 2 a 3 cm de ancho. La inflorescencia cuenta con un pedúnculo aproximado de 20 cm de largo y un raquis cerca de 40 cm de largo, que comprende entre 90 a 150 raquillas colgantes de color blanquecino y tomentosas, sus frutos son pulposos y esféricos de 1 a 2 cm de diámetro, de color negro y violáceos en su etapa madura, con semillas globosas rodeadas de fibras delgadas y con endospermo homogéneo. (Henderson, 1995; Galeano & Bernal, 2010). La especie *Euterpe Oleracea* y *Precatoria* se diferencian por mínimas características morfológicas y de distribución geográfica, la variedad *Precatoria* se localiza desde Centroamérica, las Antillas hasta en los bosques de la Amazonia, Brasil y Bolivia (Henderson et al., 1995). En Colombia crece en los bosques de los Llanos Orientales, las tierras bajas del Catatumbo, en el Magdalena medio, en Sinú, en el Pacífico, las cordilleras de los Andes, en la Sierra Nevada de Santa Marta y en la región Amazónica (Galeano & Bernal, 2010), por otra parte, la variedad *Oleracea* se diferencia por tener tallos cespitosos, semillas con endospermo agrietado y sus plántulas con hojas bífidas (Castro et al, 2015), crece en el norte de Brasil, Surinam, Guyana, Perú, Bolivia, en el norte del Ecuador y Venezuela, el este de Panamá, en el Magdalena Medio y las regiones de Pacífico y Amazonía en Colombia (Galeano & Bernal, 2010).

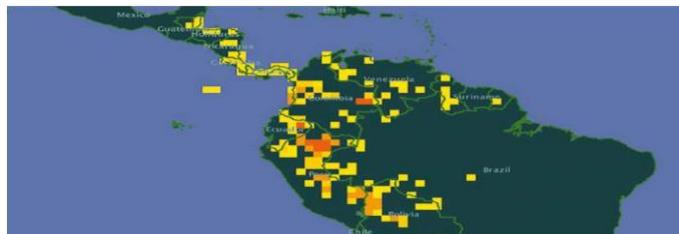


Figura 1. Mapa de Distribución Geográfica de *Euterpe Precatoria* por densidad de acopio (Fuente: Tomado de GBIF, 2013, <https://www.gbif.org/>).

4.1 ASPECTOS COMPOSICIONALES

La pulpa de Asaí es un alimento tradicional de los nativos amazónicos, esta baya tiene un alto contenido de carbohidratos, ácidos grasos monosaturados, antioxidantes fenólicos, niveles elevados de antocianinas y carotenos, (Kang et al., 2012), convirtiéndolo en un fruto beneficioso para el organismo; en los últimos años se ha divulgado información y se indaga más sobre sus propiedades, por consiguiente, su consumo, comercialización y derivados han aumentado y trascendido exponencialmente en diversas partes del mundo, consolidándose como un “súper-alimento” (Ellin, 2009).

En la Tabla 1, se muestran las características morfológicas del asaí, y se observa que la semilla ocupa aproximadamente el 83% en la baya, un porcentaje considerable, y ésta es normalmente desechada en el proceso de despulpado, generándose un residuo sólido con gran volumen, estos valores se aproximan a los reportados en “*Los ingredientes naturales de la Amazonia Colombiana, sus aplicaciones y especificaciones* (Carrillo et al., 2017)” del Instituto SINCHI que data un porcentaje de pulpa y cáscara del 31,5% y la semilla un 68,5% del volumen total del fruto.

Tabla 1. Morfología macroscópica del Asaí (*Euterpe precatoria* Mart.)

Longitud (cm)	1,324 ± 0,103
Diámetro (cm)	1,425 ± 0,069
Fruto (g)	1,797 ± 0,266
Pulpa (exocarpo y mesocarpo) (g)	0,412 ± 0,081
Semilla (g)	1,385 ± 0,215
Pulpa (%)	22,966 ± 3,227

Fuente: Tomado de Ortega Elizabeth, Jurado Bertha, Ramos Eva, Zamudio Karin, Aparicio Elvira. (marzo, 2015). Caracterización fisicoquímica y evaluación de la actividad antioxidante del aceite de *Euterpe precatoria* Mart. obtenido por diferentes métodos de extracción. Rev. Soc. Quím. Perú vol.81 no.1.

*Promedio ± desviación estándar *En total fueron 30 bayas evaluadas. *Método Gravimétrico.

En la Tabla 2, se observa el análisis composicional bromatológico del Asaí, esta tabla reúne la información de tres estudios realizados en distintas poblaciones de la Amazonía; según

lo reportado por Ortega et al. (2015) en su caracterización de la solo pulpa seca del fruto de *E. Precatoria Mart*, posee un bajo contenido en proteína (<3%), alto contenido en carbohidratos (>50%) y un contenido medio de lípidos totales (~28%), la metodología empleada para obtener los resultados fue bajo los criterios de los métodos oficiales de análisis de la “Asociación Oficial de Químicos Agrícolas” (AOAC), para este estudio que se comenta, los frutos de *Euterpe precatoria Mart*. fueron recolectados en la comunidad San Francisco cerca al río Amazonas y comunidades aledañas en la provincia de Maynas, Loreto - Perú.

Posteriormente, en la segunda columna de la tabla 2, se muestran los datos presentados por Sotero et al. (2013) dónde se usan la pulpa y cáscara de la baya para caracterizar, se obtuvieron resultados de 89% en carbohidratos, bajas sales minerales, bajo contenido de proteína y alrededor del 21% en grasas, la metodología empleada para la obtención de estos valores fue el análisis gravimétrico, y las muestras del fruto fueron recolectadas del Jardín de Frutales Nativos del "Centro de Investigaciones Allpahuayo", en la Reserva Allpahuayo Mishana, en Iquitos-Perú.

Por último, en la tercera y cuarta columna de la tabla 2, se acatan los valores que informó Carrillo et al. (2017) para el instituto amazónico de investigaciones científicas (SINCHI) aplicando las indicaciones de la AOAC y mediante el análisis gravimétrico, se determinó la caracterización para la cáscara y la semilla del asaí por separado (Figura 2), arrojando para el epicarpio un porcentaje de 40,76% de humedad, 37% de extracto etéreo y 42,43% en fibra, la semilla seca también muestra un alto contenido en fibra y ácidos grasos cerca al 25%, mostrando su potencial para ser aprovechado mediante la extracción de aceite, el fruto para esta investigación fue recaudado en la vereda el Resbalón de San José del Guaviare - Colombia.

De acuerdo a los datos recopilados en la Tabla 2, de estas tres investigaciones se puede decir que tanto la cáscara como la semilla del fruto son ricas en ácidos grasos, en fibra y carbohidratos, pero bajas en proteína y sales minerales, y que la posición geográfica del palmito a lo largo de la amazonia no denota una diferencia tan significativa en la composición del fruto, también se observa que el porcentaje de humedad presente en la cáscara es mucho mayor al de la pulpa.



Figura 2. Fruto de Asaí en el palmito, baya y semilla.

Nota: Fotografías tomadas de Asaí *Euterpe Precatoria* ARECACEAE, por Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas, SINCHI, (<https://www.sinchi.org.co/>).

Tabla 2. Análisis bromatológico del Asaí (*Euterpe precatoria* Mart.) en base seca de acuerdo con reportes en literatura.

Análisis Químico bromatológico del Asaí (<i>E. Precatoria</i> Mart.)	Pulpa Seca (Promedio ± desviación estándar)	Pulpa + Cáscara (% en peso seco) (Promedio ± desviación estándar)	Cáscara (%)	Semilla (%)
Humedad	8,5334 ± 0,005	42,8 ± 10,17	40,76	-
Extracto Etéreo	27,2809 ± 0,001	20,7 ± 0,25	36,96	24,07
Proteínas	2,3567 ± 0,1010	4,18 ± 0,023	0,03	0,06
Fibras	0,3220 ± 0,0006	-	42,43	36,26
Carbohidratos	56,6990 ± 0,099	89,45	18,28	-
Cenizas	5,1301 ± 0,00095	1,17 ± 0,01	2,29	2,6
Método	Humedad (AOAC 925.40) grasa (AOAC 948,22) cenizas (AOAC 950, 49) fibra (cruda) (AOAC 950,48) – Proteína y carbohidratos	Análisis gravimétrico; concentración de carbohidratos realizó por diferencia de peso. Para la caracterización de ácidos grasos, los	AOAC 930,15; 942, 05; 962, 09; 984, 13; 920,39/90.	AOAC 930,15; 942, 05; 962, 09; 984, 13; 920,39/90.

	(AOAC). Se aceites fueron realizó tres derivatizados y veces. esterificados.	
Fuente	Ortega Elizabeth, Jurado Bertha, Ramos Eva, Zamudio Karin, Aparicio Elvira. (marzo, 2015). Caracterización fisicoquímica y evaluación de la actividad antioxidante del aceite de Euterpe precatoria Mart. obtenido por diferentes métodos de extracción.	Sotero, V.; Maco, Carrillo, M.; Carrillo, M.; Merino-Cardona, J. E.; Cardona, J. E.; Zegarra, C.; Vela, Díaz, R.; Orduz, Díaz, R.; Orduz, L.; Mosquera, L.; Mosquera, L. E.; L. E.; García, D. (2013). L. E.; L. E.; Hernández, M. Hernández, M. Peña, L. y Peña, L. (2017). Los ingredientes naturales de la Amazonia colombiana, sus aplicaciones y especificaciones técnicas/ Natural ingredients from Amazonian plant species, uses and technical specifications.

Fuente: Propia.

4.1.1 Composición de la semilla.

Para preparar la muestra a caracterizar de semilla de asaí, primeramente, se seca la semilla a 45 °C, durante un periodo de tres días en un horno de convección, luego se hace pasar por un molino de cuchilla, con el fin de bajar su porcentaje de humedad a menos del 10% y reducir su tamaño de partícula (Hames et al., 2008). En la

investigación hecha por Ortega et al., (2015) se demuestra que la semilla de asaí tiene un contenido de sólidos totales de $94,8\% \pm 0,11$ y una humedad de $5,2\%$ (Tabla 3), estos valores se determinaron por el método de NREL, llevando a un horno de convección crisoles con 2,5 g de muestra, el proceso para este estudio se realizó tres veces.

Tabla 3. Sólidos totales de la semilla de Asaí.

	Muestra	%Sólidos Totales	%Humedad	% Sólidos Totales promedio	%Humedad Promedio
	1	94,7204	5,280	$94,828 \pm 0,11$	$5,1720 \pm 0,11$
Semilla de Asaí	2	94,8211	5,179		
	3	94,9424	5,089		

Fuente: Tomado de Ortega Elizabeth, Jurado Bertha, Ramos Eva, Zamudio Karin, Aparicio Elvira. (marzo, 2015). Caracterización fisicoquímica y evaluación de la actividad antioxidante del aceite de *Euterpe precatoria Mart.*
*Se realizó por triplicado el análisis.

Los resultados obtenidos por Ortega et al., (2015), varían un poco con los presentados por Maciel-Silva et al., (2019), en su estudio, data un porcentaje de sólidos totales del $88,5\%$ y una humedad del $11,5\%$, es probable que la desigualdad se deba a los tipos de especies de la palma de asaí, cómo se mencionó en las primeras páginas de este documento, la especie *Euterpe Precatoria* y *Euterpe Oleracea* son de la misma especie pero se reportan diferencias entre ellas en términos de composición fisicoquímica (Kang et al., 2012). Por otro lado, el valor de porcentaje de humedad difícilmente es preciso, ya que, este parámetro se altera fácilmente con la exposición de la muestra al ambiente y según sea las condiciones de su almacenamiento. En general, se observa que los residuos en este estudio tienen una alta disponibilidad de materia orgánica y un contenido medio de humedad bajo, por ende, se prolonga la vida útil de los residuos y facilita su implementación en posteriores procesos de extracción y aprovechamiento (Ortega et al., 2015).

Tabla 4. Análisis composicional de la semilla de asaí de acuerdo con reportes en la literatura.

Análisis Composicional de Semilla de Asaí	Ortega et al., 2020	Maciel-Silva et al., 2019	Rocha de Oliveira, 2014	Ferreira et al., 2016
Cenizas	1,41 ± 0,016	1,18 ± 0,04	3,5 ± 0,1	1,44 ± 0,001
Hemicelulosa	38,9 ± 1,8	25,89 ± 1,79	18,2 ± 0,8	--
Celulosa	28,7 ± 0,56	43,81 ± 0,56	45,3 ± 1,3	--
Carbohidratos	--	--	--	90,43 ± 0,62
Fibra dietaria	--	--	--	--
Lignina	14,4 ± 0,45	22,99 ± 0,45	20,37 ± 0,5	--
Proteína	5,25 ± 0,00	5,27 ± 0,00	4,3 ± 1,1	6,42 ± 0,04
Pectina	3,89 ± 0,00	--	--	--
Extractivos	9,31 ± 0,074	7,71 ± 0,06	9,5 ± 0,2	--
Lípidos	--	--	--	1,7 ± 0,01

Fuente: Propia. Valores obtenidos de composición según lo reportado en las investigaciones referenciadas.

En la Tabla 4, se reportan los valores en peso seco de los compuestos del residuo sólido semilla de asaí, de acuerdo a lo encontrado en la literatura, se observa una desviación estándar en los datos menor al 4% lo que significa una rigurosidad en la experimentación, el protocolo que se rige para determinar estos componentes es NREL (Hames et al., 2008). El contenido de cenizas presente es similar según lo reportado por Ortega et al., (2015) 1,41%, Maiciel-Silva et al., (2019) 1,18% y Ferreira et al., (2016) 1,44%, sin embargo, en lo informado por Rocha de Oliveira., (2014) no hay similitud, es mayor comparado con los demás aproximadamente un 4%, según investigaciones, esto puede ser por la presencia de un contenido alto de sílice que podría explicar contaminación de tierra en las muestras (Seye et al., 2003). La composición proteica de la semilla es un valor también con similitud, 6,42% (Ferreira et al., 2016), 5,27% (Maciel-Silva et al., 2019), 4,23% (Rocha de Oliveira, 2014), y 5,25% (Ortega et al., 2015), pero aun así resultan ser valores menores comparados con otros materiales lignocelulósicos como el pedúnculo de trigo con 17,01% y algodón con 14,97%, y el mismo porcentaje que el piñón de tempate (*Jatropha curcas*) que data un 4,9% (Dündar et al., 2010; Jiang et al., 2013).

La hemicelulosa es un polisacárido presente en las paredes celulares de muchas plantas y representa más de un tercio de la biomasa de dichas estructuras (Pauly et al., 2013), la semilla

de asaí posee un porcentaje elevado de este compuesto con 38,9% (Ortega et al., 2015), comparado con el contenido presente en la semilla de chontaduro de 25,6 % (Ortega et al., 2015), La celulosa es otro compuesto polisacárido presente en las paredes celulares de árboles y plantas, tiene una estructura lineal o fibrosa, dónde se posicionan muchas cadenas de glucosa yuxtapuestas, convirtiéndolas muy resistentes e insolubles al agua, (Fennema, O., 2000), según lo reportado por Ortega, et al., (2015), el contenido de celulosa es de 28,7% para Ortega et al., (2015), un valor más bajo de lo cuantificado por Maciel-Silva et al., (2019) y Rocha de Oliveira, (2014) con 43,8% y 45,3% respectivamente, cabe mencionar que estos análisis se desarrollaron por medio de cromatografía líquida y cuantificaron glucosa que es el monómero de la celulosa, la ausencia de arabinosa influye en el cálculo de hemicelulosa, la posición geográfica de las especies dónde se extrajo la muestra podrían también alterar los valores, errores humano aleatorios, etc. Al analizar el porcentaje de azúcares, que componen esta semilla, se ha propuesto como estrategia de aprovechamiento, la producción de etanol de segunda generación (Kim & Holtzaple, 2005).

El contenido de pectina reportado es bajo (Tabla 4), comparado con el rendimiento de pectina en presente en las paredes celulares de cítricos, como naranja y maracuyá, cuyos valores están entre 15% y 30%, en consecuencia, por lo tanto, no se aconseja utilizar la semilla, como fuente de pectina (Carbarcas Henao et al., 2012). En la tabla 4, hay un componente llamado Extractivos, este hace alusión a lípidos, resinas, colorantes, polifenoles, entre otros, estos compuestos orgánicos presentes garantizan un potencial de aprovechamiento y recuperación de compuestos bioactivos, para este caso, a la semilla de asaí, se aconseja la extracción de fitoquímicos, específicamente de compuestos fenólicos, (Pacheco-Palencia et al., 2008). En la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética son apetecidos en gran manera los compuestos fenólicos, ya que, estos compuestos de origen vegetal previenen enfermedades cardiovasculares, aportan beneficios funcionales y nutricionales a la piel y a la salud por sus propiedades antioxidantes (Gimeno,2004), por lo tanto, se convierte en una estrategia de aprovechamiento con valor agregado para este residuo sólido.

De la misma manera, la lignina contenida en la semilla data porcentajes de 22,9% y 20,4% (Maciel-Silva et al., 2019; Rocha de Oliveira, 2014), este componente cumple una función en el fortalecimiento del material lignocelulósico, y cuenta con carácter hidrofóbico

que facilita su hidratación (Boussarsar et al., 2009). Por último, se observa que la variación estándar en los resultados de las investigaciones no supera al 5%, este valor es permitido en el margen de error de los procedimientos de laboratorio de análisis de composición de biomasa NREL /TP-510-42619.

Este perfil composicional de la semilla de asaí permite determinar los usos potenciales de este desecho sólido en la producción sostenible, como productos energéticos, por su alta composición de carbohidratos, en la industria cosmética y farmacéutica por su propiedad antioxidante, en la industria alimenticia para bovinos y/o cerdos, fertilizantes y entre otros (Plan de negocios del asaí (*Euterpe Oleracea*), 2015), también, por su alto contenido de compuestos extractivos comparado con otros materiales lignocelulósicos más comunes como la madera, trigo, maíz, arroz, este residuo se convierte en una fuente realizable de aceites, ceras, resinas, compuestos antioxidantes y azúcares libres (Cortes William, 2011) . De igual manera, su composición de polisacáridos como la hemicelulosa y celulosa, permiten la obtención de azúcares, pues resisten la degradación por procesos químicos, físicos o biológicos que se realizan en la producción de azúcar y su posterior conversión a alcoholes (Ferrer, 2013). Para facilitar el proceso de extracción de componentes activos estructurales, se recomienda que la recuperación de compuestos bioactivos a través de métodos extractivos sea realizada antes de los procesos de fermentación de la semilla, pues de esta manera, es óptimo el aprovechamiento de estos residuos lignocelulósicos, para sus posteriores aplicaciones en la industria alimenticia con el uso de fibra insoluble, dado que los residuos con bajo contenido de lignina facilitan el pretratamiento para su extracción, así como su aplicación en la industria cosmética, química y textil (Montes & González, 2018).

En síntesis, este análisis sobre la composición de la semilla de asaí nos direcciona en los métodos, usos y aplicaciones de esta forma sostenible de su aprovechamiento conforme a los compuestos bioactivos que lo componen.

4.2 MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DEL ACEITE DE SEMILLA DE ASAÍ

En la literatura se encuentra abundante información sobre los procesos para la obtención de aceite a partir de materia vegetal, de manera más específica, hay muchos artículos,

informes, etc., respecto a la extracción de aceite a partir de la pulpa de asaí, pero aún no se encuentra variedad de información detallada sobre los procesos extractivos de aceite para la semilla de asaí. Por consiguiente, se estudian tres metodologías para la obtención del aceite a escala laboratorio, y un proceso de extracción por lixiviación conforme a lo encontrado en la literatura. Con el fin de evaluar el rendimiento de los procesos de obtención de aceite, Cortes Santiago, (2020) realizó un análisis entre los diseños de experimento de la hidrodestilación asistida por microondas, extracción Soxhlet y destilación por arrastre de vapor, además se evaluó la calidad del producto con un análisis organoléptico. En la Tabla 5, se compila la metodología, la cantidad de extracto y el porcentaje de rendimiento que obtuvo Cortes, S. (2020).

Tabla 5. Análisis comparativo de los métodos de extracción de aceite a partir de la semilla de asaí a nivel laboratorio en base al extracto obtenido, el solvente y rendimiento del proceso.

Procesos de Extracción de Aceite a partir de la semilla de Asaí.	Destilación por arrastre de vapor.	Extracción Soxhlet	Hidrodestilación asistida por microondas.
Metodología	Se pesan 30g de semillas secadas y molidas, y en un matraz se depositan 200 mL de solvente, donde se calienta hasta una T menor al punto de ebullición. El vapor generado se dirige al segundo matraz que contiene el material vegetal, la mezcla en fase vapor se hace pasar por un condensador de bolas para luego separar extracto y solvente, se le realiza una varianza al montaje, el cual permite realizar un reflujo asegurando así un lavado más adecuado para la extracción.	Se pesan 30g de semillas secadas y molidas, se llevan dentro de un cartucho de papel filtro, el cual se coloca en la cavidad del sifón soxhlet, luego, se calientan en un matraz 250 mL de solvente, a temperatura menor a su punto de ebullición, por un periodo de 4 horas, el vapor generado se hace pasar por un condensador de bolas y las gotas de solvente caen sobre el cartucho que contiene la muestra, el tubo capilar del sifón soxhlet se llena y empieza a devolver el solvente con extracto al balón para iniciar de nuevo, terminado el tiempo pasa la mezcla por un proceso de separación.	Este método es lento y para acelerarlo se le suministra energía con el microondas (T=82°C), en un matraz se mezcla 30 gr de muestra y 300 mL de solvente, se toman intervalos de 40 mins cada uno a una potencia de 60w, la temperatura del agua de refrigeración debe estar baja. La mezcla generada se va depositando dentro de una trampa tipo clavenger, el aceite flotará en el solvente y se separa manualmente. El solvente retoma al balón para mas extracción.

Cantidad de extracto obtenido con solvente ETANOL (g)	2,7521	3,7072	0,0884
Cantidad de extracto obtenido con solvente ISOPROPANOL (g)	1,0619	5,9267	0,0811
Rendimiento con solvente ETANOL (%)	9,1616	13,455	0,2949
Rendimiento con solvente ISOPROPANOL (%)	3,5398	19,7557	0,2706

Fuente Propia.

Al terminar los procesos de extracción, el producto es una mezcla entre aceite y solvente, para separarlos, se llevan a un rotaevaporador para retirar el solvente, el remanente se pesa y se obtiene el producto final (Cortes Santiago, 2020). Para la óptima extracción del aceite, el material vegetal debe estar en permanente contacto con el solvente para un mejor arrastre de los compuestos bioactivos que están contenidos en la oleorresina (Salamanca y Sánchez, 2009).

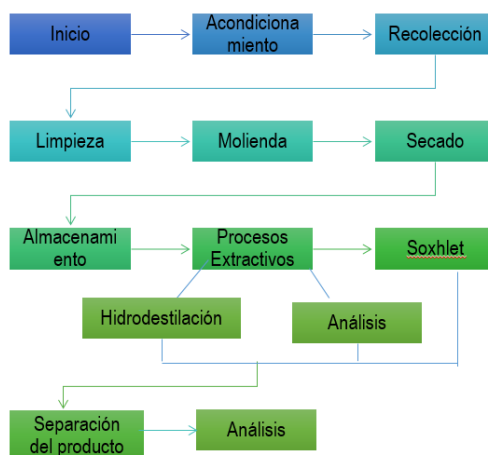


Figura 4. Diagrama de bloques de la metodología utilizada para la extracción de aceite de semilla de asaí a nivel laboratorio. Fuente: propia. adaptado de Cortes Falla Santiago, (2020).

La semilla del asaí según afirma Rodríguez y Ramírez, (s.f) en su artículo sobre el potencial de recuperación de aceite a partir de pulpa de asaí (*Euterpe oleracea Mart.*) producido en el pacífico colombiano, no es un material oleaginoso, y el mayor potencial de recuperación

de aceite está dado en la pulpa, sin embargo, la semilla contiene importantes cantidades de compuestos antioxidantes que pueden ser recuperados en la oleorresina particularmente en los extractos alcohólicos.

Conforme a los valores de la tabla 5, se afirma que el método de extracción con mayor rendimiento fue el de Soxhlet usando el solvente Isopropanol, que arrojó un 19,7% de recuperación, este resultado es próximo a lo descrito por Rodríguez y Ramírez, (s.f.), ellos afirman que, si se toma la semilla del asaí como materia principal para la extracción de oleorresinas, se puede obtener un porcentaje de recuperación próximos al 20%. El método Soxhlet es empleado para la separación sólido-líquido, comúnmente se usa en la industria para la determinación de contenido graso en muestras de diferente naturaleza, en la actualidad hay equipo soxhlet automático, funciona para extraer sustancias de baja solubilidad por medio de un disolvente de extracción, primeramente la muestra se empapa de un solvente caliente que se extrae repetidamente, se destila y se devuelve la muestra, luego de muchas veces de este ciclo, el compuesto deseado se concentra en un recipiente ya sea matraz u otro de destilación, en esta mezcla se evapora el disolvente y se obtiene la masa del lípido deseado (Fakirov, S., 2006).



Figura 5. Extractor Soxhlet automático.

Fuente: Imagen tomada del catálogo de Tecnilab, <https://www.tecnilab.es/soxhlet-automatico/>

Además, el solvente utilizado durante el proceso cumple un papel importante, ya que, según los resultados descritos se nota que influye directamente en los productos de recuperación, en cada proceso de separación mencionada en la tabla 5, el solvente determina el rendimiento máximo que se puede extraer, para este caso, en la destilación por arrastre de

vapor y la hidrodestilación por microondas, el etanol funciono mejor que el isopropanol a la hora de obtener la mayor capacidad posible de aceite y para el método Soxhlet, el isopropanol mostró el mayor rendimiento de recuperación que según la literatura es lo posible de extraer, lo cual indica que este disolvente arrastra de manera óptima los compuestos polifenólicos presentes en la semilla. Para la extracción del aceite de asaí se pueden usar disolventes polares-próticos como etanol y apolares-apróticos como pentano, hexano, etc., para la determinación del solvente más afín al proceso de extracción que se requiere, se evalúa la naturaleza química, polaridad, volatilidad, etc. (Ríos, L. et al., 2006).

En la tabla 6, extraída del artículo “Obtención de pulpa y aceite de asaí (*Euterpe Precatoria Mart*) en la Amazonia Norte Colombiana” por Peña, L. et al.; (2012), se muestran los porcentajes de recuperación obtenidos en la extracción de oleorresinas específicamente de la pulpa de asaí, dónde evaluaron diferentes solventes en términos de su rendimiento, se llevó a cabo mediante un diseño tipo Box-Behnken para ajustar una superficie de respuesta., a condiciones de temperatura de 20, 40 y 60 °C, la relación másica entre el disolvente y la muestra se realizó a niveles de 1:50, 1:75 y 1:100 y la fracción de hexano en isopropanol a niveles 0, 0.5.

Tabla 6. Resultados de porcentaje de recuperación del aceite de asaí variando el disolvente.

Disolvente	Factores experimentales		Variable de respuesta
	Temperatura (°C)	Relación semilla-solvente	%Recuperación
Hexano-isopropanol	20	1:50	1,38
Hexano-isopropanol	60	1:100	4,32
Hexano-isopropanol	60	1:50	2,16
Hexano-isopropanol	20	1:100	1,57
Hexano	40	1:100	4,70
Hexano	60	1:75	3,40
Hexano	40	1:50	2,00
Hexano	20	1:75	1,40
Isopropanol	20	1:75	6,60
Isopropanol	60	1:75	34,20
Isopropanol	40	1:100	23,20
Isopropanol	40	1:50	16,40
Hexano-isopropanol	40	1:75	2,76
Hexano-isopropanol	40	1:75	2,76
Hexano-isopropanol	40	1:75	2,75
Hexano-isopropanol	40	1:75	3,14
Hexano-isopropanol	40	1:75	2,78

Fuente: Tomado de Peña, L.; Bernardo, G.; Barrera, J. & Hernández, M. (2012). Obtención de pulpa y aceite de asaí (*euterpe Precatoria Mart*) en la Amazonia Norte Colombiana Vitae, vol. 19, núm. 1, p. 147-149. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.

De acuerdo a la tabla 6, el mayor porcentaje de recuperación es con el uso del solvente isopropanol, esto es, igual a lo obtenido por Rodríguez y Ramírez, (s.f), por lo que se puede afirmar que el disolvente isopropanol es el mejor y más adecuado para obtener mayor producto extractivo en el proceso de recuperación de oleorresinas presentes en la pulpa y semilla de asaí, este compuesto con polaridad alta es el más apto por su naturaleza química para arrastrar de forma adecuada los compuestos polifenólicos contenidos en la semilla, según lo descrito, todo esto a una temperatura de 60°C, la cual no destruye las oleorresinas presentes para un futuro aprovechamiento con valor agregado del residuo sólido, semilla de asaí.

Otro método de extracción del aceite contenido en la semilla de asaí que se estudia reportado en la literatura, es la extracción por lixiviación, según lo descrito por Ortega, B. & Valderrama, J. (julio,2020), se evaluó el rendimiento variando el solvente, la metodología empleada fue tres procesos de extracción, usándose hexano y etanol como disolventes, el primer proceso de extracción se realizó en una etapa, el segundo en una etapa cruzada con adición de solvente y el último en una etapa cruzada invertida con adición de muestra, cada procedimiento fue a nivel laboratorio donde se usaron balones de 250 mL y 8g de muestra con 120 mL del solvente, posterior a la extracción se filtró al vacío para recuperar el solvente rico en extracto y el sólido remanente, por último se secó, luego al producto se le caracterizó.

Tabla 7. Resultados del material extraído de la semilla de asaí por las tres variantes de extracción empleados y solventes.

Etapa Única					
Muestra	Solvente	Réplica	Peso inicial (g)	Peso final (g)	% Materia extraída
SA	Etanol	1	8,0010	7,272	9,11
		2	8,0013	7,181	10,26
		3	8,0012	7,142	10,74
	Hexano	1	8,0013	7,687	3,93
		2	8,0008	7,834	2,08
		3	8,0013	1,918	76,03
Muestra	Solvente	Réplica	Peso inicial (g)	Peso final (g)	% Materia extraída
SA	Etanol	1	7,867	7,079	9,51
		2	7,601	6,946	8,18
		3	7,833	7,001	10,09
	Hexano	1	8,001	7,528	5,92
		2	8,014	7,593	5,25
		3	8,000	12,910	-61,36

Etapa cruzada invertida					
Muestra	Solvente	Réplica	Peso inicial (g)	Peso final (g)	% Materia extraída
SA	Etanol	1	16,076	14,309	10,9913
		2	16,059	14,638	8,8504
		3	16,066	14,953	6,9258
	Hexano	1	16,044	15,054	6,1701
		2	16,024	14,698	8,2740
		3	16,034	14,778	7,8357

Nota: Fuente: Extraído de Ortega, B. V. & Valderrama, J. J. (julio,2020). Aprovechamiento de los residuos sólidos de cáscara y semilla de *bactris gasipaes* y *euterpe oleracea* mediante el análisis composicional.

De acuerdo a la tabla 7, la cantidad de extraíbles fue de 9,31%, un valor bajo, esto puede ser porque la materia utilizada para procesar era mínima, de igual manera en el estudio se determinó que el etanol fue el mejor solvente para la extracción en etapa única y extracción inversa, pero, para la extracción cruzada el mejor resultado se obtuvo con el solvente hexano, este último compuesto permite una mayor saturación en la concentración del solvente debido a su naturaleza química. Ahora bien, si es de notar que el etanol para el caso específico del asaí, maximiza el rendimiento de recuperación de oleorresinas que componen la semilla, debido a su naturalidad química, al ser un compuesto polar favorece la remoción de los compuestos bioactivos contenidas en la semilla, corroborando con los resultados de Cortes, (2020) que la elección más óptima del solvente para la extracción de aceite de semilla de asaí debe ser de naturaleza polar.

De igual manera se observa que la extracción cruzada fue la metodología donde el rendimiento fue mayor y entre las otras dos técnicas de extracción descritas no hubo una diferencia significativa, los resultados variaban entre sí a no más del 3% por lo tanto, una extracción inversa no es factible y recomendable ya que se obtiene lo mismo por así decirlo de la extracción con etapa única, dónde el gasto energético es menor. Además, Ortega, B. & Valderrama, J. (julio,2020) determinaron que en el extracto del aceite de semilla de asaí, se recupera casi la totalidad de los extraíbles u oleorresinas presentes, esto significa que, aunque el valor de recuperación de masa obtenido es bajo pues la muestra empleada para el procedimiento es muy pequeña, el proceso de lixiviación es eficiente, un resultado muy acorde a lo obtenido por Cortes, (2020).

En conclusión, se puede afirmar que para extraer oleorresinas del residuo sólido semilla de asaí, el solvente debe ser polar y volátil, los métodos de extracción aquí estudiados

son a nivel laboratorio ya que no se cuenta con investigaciones de recuperación de aceite a gran escala de este material, por lo que sería impreciso decir cuál es el más óptimo, pero a nivel de laboratorio el método Soxhlet presento el mayor porcentaje de recuperación, en suma se destaca el desempeño tan positivo en la fracción de recuperación posible de la remoción de oleorresinas en la semilla, un resultado favorable y motivante en una estrategia de aprovechamiento del desecho.

4.2.1 Caracterización del extracto de aceite de semilla de asaí.

Con el fin de proponer métodos de valorización para el residuo sólido generado en el despulpado de la baya de asaí, se estudia la composición posible extraíble de compuestos benéficos presentes en el extracto de oleorresina de la semilla.

En la tabla 8, se observan los resultados obtenidos de la caracterización cualitativa de los fitoquímicos, realizada por de Ortega, B. & Valderrama, J. (julio,2020), donde se aplicó pruebas de colorimetría y para identificar los compuestos de interés del extracto de etapa única obtenido por lixiviación, para identificar los fitoquímicos se observó el cambio de color y precipitación de la muestra evaluada, y en la investigación lo clasificaron así (-) ausente, (+) baja o reducida y (++) abundante.

Tabla 8. Resultados de la prueba cualitativa para determinación de fitoquímicos que componen el extracto obtenido de la semilla de asaí.

Fitoquímicos	Semilla de Asaí
Flavonoides	+
Leucoantocianidinas	++
Taninos	++
Saponinas	-
Alcaloides	-
Esteroles	-
Naftoquinonas y Antroquinonas	+
Carotenoides	-

Fuente: Tomado de Ortega, B. V. & Valderrama, J. J. (julio,2020). Aprovechamiento de los residuos sólidos de cáscara y semilla de *bactris gasipaes* y *euterpe oleracea* mediante el análisis composicional.

En primer lugar, los compuestos fitoquímicos son de origen vegetal y varios de ellos se clasifican en el grupo de compuestos fenólicos (Bobbio FO et al., 2000) que según se puede evidenciar son los más presentes en la semilla, puesto que las leucoantocianidinas y los taninos se hallaron de forma abundante, mientras que los fitoquímicos que pertenecen a compuestos de tipo terpenos, nitrogenados y fitoesteroles no fueron encontrados presentes en la muestra, acerca de estos compuestos fitoquímicos identificados se les atribuyen que hacen parte de la gama de compuestos bioactivos de fuentes vegetales que constituyen sustancias beneficiosas para la salud y la prevención de enfermedades (Chasquibol S et al., 2003), en efecto, por la cantidad de fracción de extraíbles y su alta composición en compuestos fenólicos por eso su color violáceo, la obtención de bioactivos se considera una estrategia de valorización con oportunidad de desarrollo en el área médica, farmacéutica, cosmética y alimenticia. Con base en los tipos de fitoquímicos reconocidos, según Kang, et al., (2010) en la pulpa de asaí se encuentran los principales polifenoles como orientin, vitexina, etc., a los cuales se le atribuyen propiedades antiinflamatorias y antioxidantes que da protección al organismo contra enfermedades asociadas al estrés oxidativo como el cáncer (Jatunov, et al., 2010).

El tercer y último objetivo de este estudio se enfoca en estudiar las posibles estrategias de valor agregado que se le puede atribuir a este desecho sólido conociendo su composición a fondo y según lo reportado en la literatura para su aprovechamiento y recuperación, ya que, este sólido tiene un impacto negativo en el medio dónde repose pues ocupa una gran cantidad de volumen que favorece la propagación de plagas, olores y contaminación. Por otra parte, no existe aún una empresa u industria, que recupere a gran escala este residuo sólido, por lo tanto, lo encontrado en la literatura son propuestas de aprovechamiento estudiadas y evaluadas a nivel de laboratorio.

4.3 PROPUESTAS DE VALOR AGREGADO A LA SEMILLA DE ASAÍ

4.3.1 En la Industria Cosmética:

Por su alto contenido en compuestos fenólicos y por ende su función antioxidante una estrategia de valor agregado para su aprovechamiento es sin duda la industria cosmética, puesto

que, según a lo informado por Garzón et al., (2017), el contenido de fenoles totales encontrados en la semilla es mayor en comparación a lo datado de la pulpa de asaí, aproximadamente en una relación de 1,5 veces mayor la cantidad de fitoquímicos en la semilla que en la pulpa, lo que convierte este residuo en un potencial contra el envejecimiento prematuro y prevención de enfermedades.

La principal propiedad y característica de acuerdo a lo estudiado que aportan los extractos de este residuo sólido a un producto cosmético es la capacidad antioxidante, la cual actúa como mecanismo para inhibir y prevenir la producción de radicales libres, es decir, el envejecimiento prematuro y sus consecuencias secundarias en la salud de la piel (Coronado, H. et al., 2015).

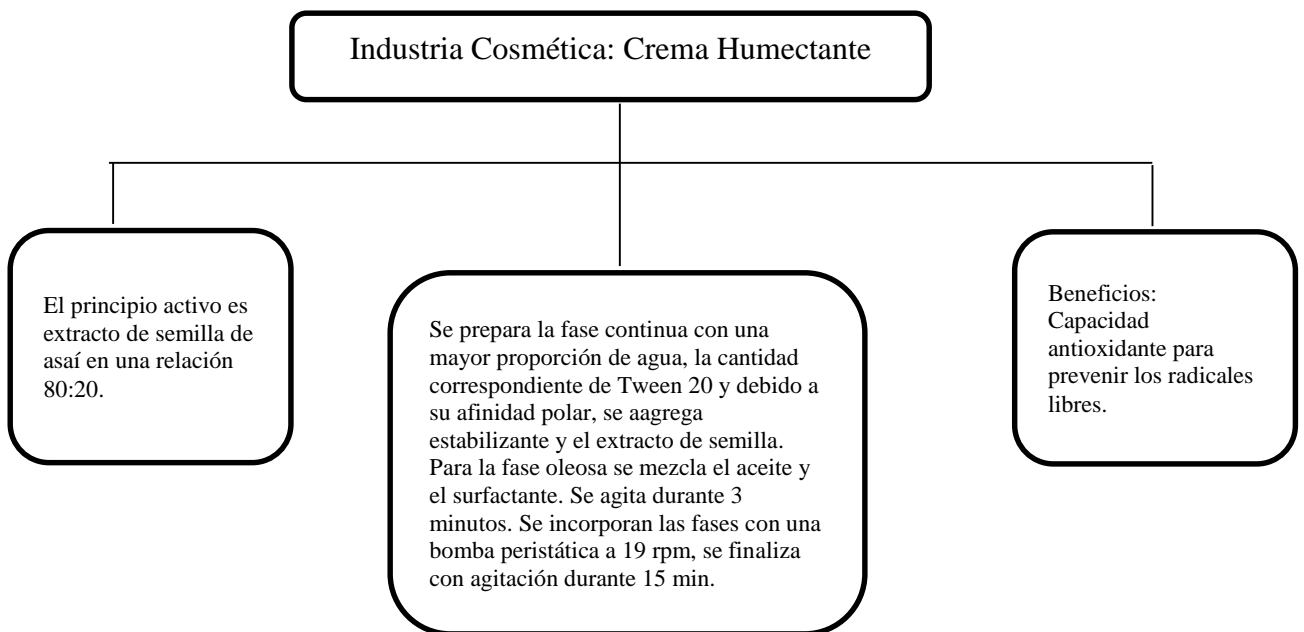


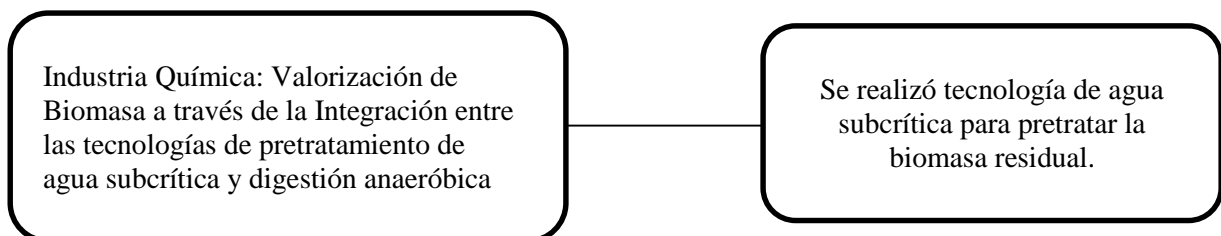
Figura 6. Características y formulación de la crema humectante de semilla de asaí propuesta por Ortega, B. V. & Valderrama, J. J. (julio,2020). Fuente: Propia.

La figura 6, condensa la característica que tiene la crema, la formulación química con la que se desarrolló y su componente principal y activo que es el extracto de semilla de asaí.

4.3.2 En la Industria Química:

Las cantidades de desecho de semilla de asaí apiladas que se generan en el despulpado de la baya ocupan un gran volumen, por lo que una estrategia para el aprovechamiento de los residuos en descomposición lo plantea Maciel-Silva, F. W. et al., (2019), al contribuir en la literatura con un artículo dónde se estudió la valorización de la biomasa residual y las aguas residuales del procesamiento de la fruta de açai para obtener productos energéticos y un mayor valor agregado de dichos residuos, a través de la integración entre las tecnologías de pretratamiento de agua subcrítica y digestión anaeróbica.

La energía que se genera en la biomasa de este residuo lignocelulósico se puede aprovechar mediante la tecnología de la digestión anaeróbica con la producción de biogás. El biogás se utiliza en el proceso de combustible para vehículos, energía eléctrica y térmica, para producirse, la materia orgánica debe pasar por las etapas de hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis. (Deepanraj et al., 2014; Risberg et al., 2013; Zhang et al., 2014). No obstante, en la digestión anaeróbica, los materiales lignocelulósicos podrían limitarse con la hidrólisis ya que la estructura polimérica del material dificulta su conversión a moléculas más biodegradables (Hendriks y Zeeman, 2009; Martinez-Jimenez et al., 2017; Pinto et al., 2018). Entonces, se usó una tecnología más amigable con el medio ambiente y para el buen funcionamiento del material, llamado Hidrotermal que es básicamente hidrólisis de agua sub / supercrítica, Según lo dicho por Cocero et al., (2018) el agua en estado sub / supercrítico se transforma en un solvente alternativo para la disolución de la biomasa puesto que tiene baja viscosidad y alta difusividad, lo que facilita la interacción con la estructura del material lignocelulósico, el agua supercrítica realiza una hidrólisis a la biomasa de manera rápida y selectiva sin causar impactos ambientales y operativos.



Para este proceso, el reactor se alimentó con 5 g de residuo de açai y relación de masa de disolvente a biomasa de 80 gramos de agua por gramo de residuo de açai. El proceso se llevó a cabo a 170 y 200 ° C, durante 20 min, con caudal de agua de 20 mL.min⁻¹ a 15 Mpa..

La biomasa residual se sometió al proceso de digestión anaeróbica mediante un reactor con pretratamiento (integración) y un reactor de control, tanto en régimen semicontinuo como en condiciones mesofílicas (35 °C).

La digestión anaeróbica usando el hidrolizado de asaí obtenido por pretratamiento con agua subcrítica mostró una ventaja significativa sobre la digestión de control, resultando en un 30% más de metano en el biogás y un rendimiento 100 veces mayor.

Figura 7. Metodología y resultados obtenidos del estudio de la valorización de biomasa para producir biogás mediante el uso de tecnologías de pretratamiento de agua subcrítica y digestión anaeróbica. Fuente: Propia. Adaptado de: Maciel-Silva, F. W; Mussatto, S.I. & Forster-Carneiro T. (2019). Integración de tecnologías de pretratamiento de agua subcrítica y digestión anaeróbica para la valorización de residuos de las industrias de procesamiento de asaí.

Los resultados que se obtuvieron en esta investigación fueron: la piedra de açai tenía una alta concentración de carbohidratos que se compone así 43,81% de celulosa y 25,89% de hemicelulosa, para determinar estos valores se realizó por cromatografía líquida de alta resolución. El volumen obtenido acumulado durante todo el proceso de biogás fue de 3.71 y 4.64 L, el rendimiento fue de 7.79 y 791.81 L.KgTVS⁻¹ para el reactor de control e integración, respectivamente. En conclusión, los valores obtenidos en el pretratamiento con hidrólisis subcrítica del residuo semilla de asaí demuestran que el proceso fue muy eficiente, pues se aumentó el rendimiento de producción de biogás en más de 100 veces y cualitativamente más rico en gas metano.

Por otro lado, la extracción de aceite de semilla de asaí también se convierte en una propuesta para el aprovechamiento de este residuo, ya que, como se estudió el contenido de recuperación en relación a los compuestos bioactivos es eficiente y posee propiedades antioxidantes que son beneficiosas para la salud, por lo que el aceite se convierte en un producto potencial a comercialización para investigación, uso cosmético y/o medicinal.

También se notó que la alta composición en fibra presente en la semilla y su porcentaje bajo de humedad puede ser favorable para estudiar una estrategia de aprovechamiento en la creación de un material derivado de este desecho. En definitiva, la semilla de asaí que ocupa casi el 80% del fruto, es un residuo con mucho potencial aprovechable por su composición rica de antioxidantes, su alto contenido de fibra, su contenido de azúcar y entre otros, al cual se debería aprovechar, estudiar y así contribuir en la mitigación del problema grande de contaminación que atravesamos como sociedad.

5. CONCLUSIONES

Por el alto contenido en carbohidratos que está presente en la semilla de asaí, se propone la producción de azúcares y alcoholes como etanol de segunda generación.

Por la naturaleza química de la semilla de asaí, se concluye que para la extracción del aceite es más eficiente un solvente polar y volátil, el de mayor rendimiento reportado es el ISOPROPANOL, se propone una investigación del rendimiento de extracción de oleorresina con una solvente verde.

El uso del aceite de la semilla de asaí en productos cosméticos es una estrategia eficaz para valorizar este residuo.

La producción de biogás por medio de digestión anaeróbica es muy eficiente cuando se realiza el pretratamiento de agua subcrítica de las aguas residuales del proceso de despulpado de semilla de asaí, pero este proceso adicional eleva los costos de producción, por lo que se propone un análisis de diseño de plantas para la mencionada estrategia de aprovechamiento con energía como valor agregado.

Se propone analizar estrategias de aprovechamiento en la producción de biomateriales dado el alto contenido de fibra y el bajo contenido de humedad de la semilla.

Se propone realizar diseños de planta de tratamiento de semilla de asaí en la extracción de su aceite y contenido de oleorresina.

El método de extracción de aceite a nivel de laboratorio con mayor rendimiento y eficiencia reportado fue el de Soxhlet, este método obtuvo una diferencia significativa de más del 6% en todos los casos, por lo tanto, se concluye que entre más ciclos de destilación se le aplique al proceso de extracción, mejores resultados de obtención de aceite se obtendrán.

No existe aún una empresa que trate a gran escala este residuo sólido, no se halla información sobre un proceso de recuperación de la semilla de asaí a gran escala, se propone analizar una estrategia de aprovechamiento a nivel industrial.

Se propone estudiar una estrategia de aprovechamiento de la semilla en la producción de un biomaterial por el alto contenido de fibra encontrado y el bajo porcentaje de humedad que contiene.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AOAC. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 15th. Ed. Pub. By A.O.A.C., Washington, DC. 2000.
- Bobbio FO, Druzian JI, Abrao PA, Bobbio PA, Fadelli S. (2000). Identificação e quantificação das antocianinas do fruto do açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart). *Cienc Tecnol Aliment*; V. 20 N. 3. p. 388-390
- Boussarsar, H., Rogé, B., & Mathlouthi, M. (2009). Optimization of sugarcane bagasse conversion by hydrothermal treatment for the recovery of xylose. *Bioresource Technology*, 100(24), 6537–6542. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.07.019>
- Carbarcas Henao, E., Guerra Benedetti, A. F., & Henao Balseiro, C. A. (2012). Extracción y caracterización de pectina a partir de cáscaras de plátano para desarrollar un diseño general del proceso de producción. Trabajo de Grado, Universidad de Cartagena. Recuperado el 15 de agosto de: <http://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/109/Trabajo%20de%20gradoExtraccion%20y%20caracterizacion%20de%20pectina%20a%20partir%20de%20cascaras%20de%20platanos%20para%20desarrollar%20un%20dise%C3%B1o%20general%20del%20proceso%20de%20produccion.pdf?sequence=1>
- Carrillo, M.; Cardona, J. E.; Díaz, R.; Orduz, L.; Mosquera, L. E.; Hernández, M. y Peña, L. (2017). Los ingredientes naturales de la Amazonia colombiana, sus aplicaciones y especificaciones técnicas/ Natural ingredients from Amazonian plant species, uses and technical specifications. Bogotá, Colombia: Instituto de Investigaciones Científicas-Sinchi, 16,17 p.
- Castro, Y.; Barrera, J.A.; Carrillo, M. y Hernández, M. (2015). Asaí (*Euterpe precatoria*) Cadena de valor en el sur de la región amazónica. Bogotá, Colombia: Instituto de Investigaciones Científicas-Sinchi, 16,17 p.
- Chasquibol S, N., Lengua C, L., Delmás, I., Rivera C, D., & Bazán, D. (2003). Alimentos funcionales o fitoquímicos. Clasificación e importancia. *Revista Peruana De Química e Ingeniería Química*, V. 5 N. (2), p. 9–20.

- Cocero, MJ, Cabeza, Á., Abad, N., Adamovic, T., Vaquerizo, L., Martínez, CM, Pazo-Cepeda, MV, (2018). Comprensión del fraccionamiento de biomasa en aguas subcríticas y supercríticas. *J. Supercrit. Fluidos* 133, 550–565. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2017.08.012>
- Contreras Murillo, M. (2017). Proyecto diseño de unidad de procesado de Açai (Euterpe Oleracea Mart.) [Universidad Politécnica de Valencia, Universidad Federal de Santa Catarina]. <https://pdfs.semanticscholar.org/5a41/b14b4ede3e88870f7a875079d647b381240f.pdf>
- Coronado H, M., Vega y León, S., Gutiérrez T, R., Vázquez F, M., & Radilla V, C. (2015). Antioxidantes: Perspectiva actual para la salud humana. *Revista chilena de nutrición*, p. 206–212. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182015000200014>
- Cortes F. Santiago, (2020). Evaluación tecnicofinanciera para la producción del aceite de açai partiendo de los residuos del proceso de despulpado para Green and Inclusive Group SAS. Trabajo de grado. Fundación Universidad de América. -Bogotá, Colombia.
- Cortes, William. (2011). Materiales lignocelulosicos como fuente de biocombustibles y productos químicos. *TecnoESUFA –Revista de tecnología aeronáutica*. v. 16. p 42.
- Deepanraj, B., Sivasubramanian, V., Jayaraj, S., (2014). Biogas Generation through/ Proceso de digestión anaeróbica: una descripción general. *Res. J. Chem. Reinar*. 18, p. 80–93.
- Dündar, A., Acay, H., & Yildiz, A. (2010). Effect of using different lignocellulosic wastes for cultivation of *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm. On mushroom yield, chemical composition and nutritional value. 8.
- Ellin, A. (2009). Presionando açai para obtener respuestas. *New York Times* 11 de marzo. Recuperado el 5 de agosto de 2021, de http://www.nytimes.com/2009/03/12/fashion/12skin.html?_r=0.
- Fakirov, S. (2006). Aparato Soxhlet modificado para extracción a alta temperatura. *Applied Polymer science*. V.102, Número 2. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/app.23397>
- Fennema, O. (2000). *Química de los Alimentos*. 2ª Ed., Acribia, 246 p.

- Ferreira, D. de S., Gomes, A. L., Silva, M. G. da, Alves, A. B., Agnol, W. H. D., Ferrari, R. A., Carvalho, P. R. N., & Pacheco, M. T. B. (2016). Antioxidant Capacity and Chemical Characterization of Açai (*Euterpe oleracea* Mart.) Fruit Fractions. [versión electrónica] de la base de datos Springer Open. Recuperado el 13 de agosto del 2021 de <https://doi.org/10.13189/fst.2016.040502>
- Ferrer, Ana. (2013). Aprovechamiento integral del residuo de la industria del aceite de palma (EFB). Obtención de derivados de las hemicelulosas, pastas celulósicas y celulosa nanofibrilar. Tesis de pregrado. Universidad de Córdoba-España. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=68899>
- Galeano, G. & Bernal, R. (2010). Palmas de Colombia. Guía de campo. Bogotá: Editorial Universidad Nacional de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales, Facultad de ciencias- Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 688 p.
- Garzón, G. A., Narváez-Cuenca, C.-E., Vincken, J.-P., & Gruppen, H. (2017). Polyphenolic composition and antioxidant activity of açai (*Euterpe oleracea* Mart.) from Colombia. *Food Chemistry*, p. 364–372. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.107>
- Gimeno, Eva Creus. (2004). Compuestos fenólicos. Un análisis de sus beneficios para la salud. *Offarm*. Vol. 23. Núm. 6. p. 80-84. <https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-articulo-compuestos-fenolicos-un-analisis-sus-13063508>
- Hames, B., Ruiz, R., Scarlata, C., Sluiter, A., Sluiter, J., & Templeton, D. (2008). Determination of Ash in Biomass. National Renewable Energy Laboratory (NREL). <https://www.nrel.gov/docs/gen/fy08/42622.pdf>.
- Henderson, A. (1995). *The palms of the Amazon*. Oxford University press. NY. 362 p.
- Hendriks, A. & Zeeman, G., (2009). Pretratamientos para mejorar la digestibilidad de biomasa lignocelulósica. *Bioresour. Technol.* 100, p. 10-18. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.05.027>
- Jatunov, S., Quesada, S., Diaz, C., & Murillo, E. (2010). Carotenoid composition and antioxidant activity of the raw and boiled fruit mesocarp of six varieties of *Bactris gasipaes*. *Archivos latinoamericanos de nutrición*, 60, p. 99–104.

- Jiang, L., Fang, Z., Li, X.-K., & Luo, J. (2013). Production of 2,3-butanediol from cellulose and *Jatropha* hulls after ionic liquid pretreatment and dilute-acid hydrolysis. *AMB Express*, Springer Open, 3, 48. Recuperado el 13 de agosto del 2021 <https://doi.org/10.1186/2191-0855-3-48>
- Kang, J., Li, Z., Wu, T., Jensen, G. S., Schauss, A. G., & Wu, X. (2010). Anti-oxidant capacities of flavonoid compounds isolated from acai pulp (*Euterpe oleracea* Mart.). *Food Chemistry*, V. 12 ,p. 610–617. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.03.020>
- Kang, J., Xie, C., Schauss, AG, Kondo, M., Ou, B., Jensen, G. y Wu X. (2012). Bioactividades de la pulpa de la fruta de acai (*Euterpe precatoria* Mart.), Propiedades antioxidantes y antiinflamatorias superiores a *Euterpe oleracea* Mart. *Química de los alimentos*, 133, 671-677.
- Kim, S., & Holtzapfle, M. T. (2005). Lime pretreatment and enzymatic hydrolysis of corn stover. *Bioresource Technology*, 96(18), 1994–2006. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.01.014>
- Maciel-Silva, F. W., Mussatto, S. I., & Forster-Carneiro, T. (2019). Integration of subcritical water pretreatment and anaerobic digestion technologies for valorization of açai processing industries residues. *Journal of Cleaner Production*, 228, 1131–1142. Recuperado el 9 de agosto del 2021 de <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.362>
- Maciel-Silva, F. W; Mussatto, S.I. & Forster-Carneiro T. (2019). Integración de tecnologías de pretratamiento de agua subcrítica y digestión anaeróbica para la valorización de residuos de las industrias de procesamiento de açai. *Revista de producción más limpia*, doi: 10.1016 / j.jclepro
- Martínez-Jiménez, FD, Macie Pinto, MP, Mudhoo, A., De Alencar Neves, T., Rostagno, MA, Forster-Carneiro, T., (2017). Influencia del pretratamiento de irradiación con ultrasonidos en la generación de biohitano a partir de la codigestión anaeróbica termofílica de residuos de producción de azúcar. *J. Environ. Chem. Ing.* 5, p. 3749–3758. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.07.030>

- Montes, C. F., & González, A. F. R. (2018). Aprovechamiento potencial de residuos de la agroindustria caldense según su composición estructural. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 14(2), 143–151. <https://doi.org/10.18359/rfcb.3411>
- Ortega, B. V. & Valderrama, J. J. (julio,2020). Aprovechamiento de los residuos sólidos de cáscara y semilla de *bactris gasipaes* y euterpe oleracea mediante el análisis composicional. Tesis de pregrado. Universidad de los Andes. Bogotá-Colombia.
- Ortega, E.; Jurado, B.; Ramos, E.; Zamudio, K. & Aparicio, E. (marzo, 2015). Caracterización fisicoquímica y evaluación de la actividad antioxidante del aceite de Euterpe precatoria Mart. obtenido por diferentes métodos de extracción. *Rev. Soc. Quím. Perú* vol.81 no.1. [versión electrónica] Recuperado el 03 de agosto del 2021 de la base de datos SciELO.
- Pacheco-Palencia, L. A., Talcott, S. T., Safe, S., & Mertens-Talcott, S. (2008). Absorption and Biological Activity of Phytochemical-Rich Extracts from Açai (*Euterpe oleracea* 78 Mart.) Pulp and Oil in Vitro. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(10), 3593–3600. De la base de datos de SciELO. <https://doi.org/10.1021/jf8001608>
- Pauly, M., Gille, S., Liu, L., Mansoori, N., de Souza, A., Schultink, A., & Xiong, G. (2013). Hemicellulose biosynthesis. *Planta*, 1–16.
- Peña, L.; Bernardo, G.; Barrera, J. & Hernández, M. (2012). Obtención de pulpa y aceite de asai (*euterpe Precatoria Mart*) en la Amazonia Norte Colombiana *Vitae*, vol. 19, núm. 1, pp. S147-S149. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.
- Pinto, MPM, Mudhoo, A., de Alencar Neves, T., Berni, MD, Forster-Carneiro, T., (2018). Codigestión de residuos de café y vinaza de caña de azúcar para la generación de biohitano. *J. Environ. Chem. Ing.* 6, 146-15 <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.11.064>
- Plan de negocios del Asaí (*Euterpe Oleracea*). (2015). Reporte de Consultoría. para Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional. USAID. Este documento fue preparado por 2M Consultores en Estrategia y Desarrollo S.A.S bajo el Contrato No AID-514-0-15-0019 de 2015

- Reporte: Área, Producción y Rendimiento Nacional por Cultivo. (2018). Agronet: Red de información y comunicación del sector Agropecuario Colombiano. <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1>
- Ríos, L.; Lopera, G.; Caicedo, R.; Granda, F.; Montoya, A.; Restrepo, G. y Suárez, R. (2006). Extracción y caracterización de aceite de cardamomo. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia, Dyna, Año 74, Nro. 151, pp. 47-52. Recuperado de la base de datos SciELO: <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v74n151/a05v74n151.pdf>
- Risberg, K., Sun, L., Lev, L., Horn, SJ, Schnrer, A., (2013). Producción de biogás a partir de paja y estiércol de trigo - Impacto del pretratamiento y los parámetros operativos del proceso. *Bioresour. Technol.* 149, p. 232-237. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.09.054>
- Rocha de Oliveira, J. A. (2014). Investigaçãõ das etapas para o processo de produçãõ de etanol de segunda geraçãõ a partir da biomassa do caroço de açai (Euterpe oleracea). Recuperado el 9 de agosto del 2021 de <http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/266070>
- Rodríguez, I., & Ramírez L. H. (s.f). Potencial de recuperación de aceite a partir de pulpa de asaí (Euterpe olerácea Mart.) producido en el pacífico colombiano. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá, Colombia. Recuperado en agosto del 2021 de: <https://alimentos hoy.acta.org.co/index.php/hoy/article/viewFile/154/148>
- Rojano, B., Zapata, C., Alzate-Arbelaez, A. F., & Mosquera, A. (2011). Polifenoles y Actividad Antioxidante del Fruto Liofilizado de Palma Naidi. *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín*, 64(2), 6213–6220.
- Salamanca, M., & Sánchez, M. Y. (2009). Extracción y Caracterización de la Oleorresina del Orégano (*Origanum vulgare*). Trabajo de grado. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia. Recuperado de: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1839/6650282S159.pdf;jsessionid=06958E10EF909BAF8AA17EF42D174DFD?sequence=1>
- Sotero, V.; Maco, M.; Merino-Zegarra, C.; Vela, E.; Dávila, E. y García, D. (2013). Caracterización química y evaluación antioxidante de frutos y raíces de Euterpe

oleracea y Euterpe precatoria. Revista de la Sociedad Química del Perú. vol.79 no.3. [versión electrónica] Recuperado el 07 de agosto del 2021 de la base de datos SciELO.

Vanuza O. Santos, Leandro S. Queiroz, Rayanne O. Araujo, Flaviana C.P. Ribeiro, Mariana N. Guimarães, Carlos E.F. da Costa, Jamal S. Chaar, Luiz K.C. de Souza, (2020). Pyrolysis of acai seed biomass: Kinetics and thermodynamic parameters using thermogravimetric analysis, Bioresource Technology Reports, Volume 12, 100553, SSN 2589-014X, <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2020.100553>.

Zhang, C., Su, H., Baeyens, J., Tan, T., (2014). Revisión de la digestión anaeróbica de Residuos de alimentos para la producción de biogás. Renovar. Sostener. Energy Rev. 38, p. 383–392. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.038>