

EXTRACCIÓN DE ANTIOXIDANTES A PARTIR DE CÁSCARA DE CHONTADURO
(BACTRIS GASIPAES) USANDO DIÓXIDO DE CARBONO SUPERCRÍTICO

Por:

JUAN DAVID RIVERA ANTOLINEZ
CARLOS ESTEBAN ZAPATA ORTÍZ

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DEL VALLE
CALI-COLOMBIA

EXTRACCIÓN DE ANTIOXIDANTES A PARTIR DE CÁSCARA DE CHONTADURO
(BACTRIS GASIPAES) USANDO DIÓXIDO DE CARBONO SUPERCRÍTICO

Por:

JUAN DAVID RIVERA ANTOLINEZ

CARLOS ESTEBAN ZAPATA ORTÍZ

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Químico

Director:

GUSTAVO BOLAÑOS
Ingeniero Químico, M. Sc., Ph. D.

Codirector:

ISABEL MEJÍA VILLARREAL
Ingeniera Química, M. Sc., Ph. D.

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DEL VALLE
CALI-COLOMBIA
2025

RESUMEN

El chontaduro (*Bactris gasipaes*) es un producto vegetal de origen amazónico cuyo fruto se comercializa en varios departamentos de Colombia, e incluso se exporta. Sin embargo, la cáscara constituye un residuo agroindustrial cuyo aprovechamiento tendría implicaciones económicas y ambientales favorables. Por ejemplo, se conoce que la cáscara de chontaduro contiene cantidades valorizables de carotenoides, sustancias que poseen importante actividad como antioxidantes y que son de gran interés para las industrias alimenticia, nutracéutica y farmacéutica.

Este proyecto propone la extracción de carotenoides y otros componentes bioactivos presentes en la cáscara de chontaduro, mediante la utilización de bióxido de carbono supercrítico como solvente. Para ello, se realizaron extracciones supercríticas a escala de laboratorio de acuerdo con un diseño experimental factorial 2^2 aumentado con cuatro tratamientos centrales, para evaluar el efecto de las variables del proceso sobre el rendimiento y capacidad antioxidante de los extractos. Los factores considerados fueron temperatura y densidad del CO_2 , que se estudiaron entre 35 y 55 °C, y 700 y 900 kg/m^3 , respectivamente.

La capacidad antioxidante se determinó mediante dos métodos estándar: el método de DPPH y el método de Folin-Ciocalteu. El primer método permite determinar la capacidad de un extracto para actuar como secuestrante de radicales libres, de modo que los resultados se presentan como la concentración de extracto capaz de reducir la concentración de un radical libre (DPPH) a la mitad, valor que se conoce como EC_{50} . El segundo método permite conocer la cantidad de fenoles presentes en el extracto, expresados como cantidad equivalente a un compuesto fenólico de referencia (ácido gálico), en mg/L.

Los resultados mostraron que en el intervalo de temperatura estudiado el rendimiento de extracto solo se ve afectado por la densidad del CO_2 , con un nivel de significancia del 5%. La capacidad antioxidante de los extractos no se vio afectada por la temperatura, la densidad del CO_2 , ni por su interacción, a niveles de significancia inferiores al 22%. Con estos resultados,

Se efectuó una corrida de extracción supercrítica a 35 °C y una densidad de CO₂ igual a 900 kg/m³ (es decir, a una presión de 3500 psia) para conocer la cinética de la extracción y así realizar el diseño preliminar de una planta industrial de extracción de antioxidantes de cáscara de chontaduro.

Finalmente, un análisis financiero preliminar de un proyecto de inversión para este proceso, que permita tratar 100 ton/año de cáscaras de chontaduro (correspondientes al 20% de la producción del Valle del Cauca), indicó que la producción de antioxidantes a partir de esta materia prima sería rentable, teniendo en cuenta que, para diferentes márgenes brutos, se obtuvo un índice de rentabilidad mayor a 1, y un periodo de recuperación de la inversión menor a 5 años para los casos en donde el precio del extracto tuviera un valor similar al de un extracto diluido.

Palabras clave: *Extracción supercrítica, Evaluación financiera, Capacidad antioxidante, CO₂ supercrítico, rendimiento de extracto.*

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al profesor Gustavo Bolaños por sus enseñanzas, su disposición y tiempo dedicado en los momentos más difíciles del proyecto; sus sugerencias e ideas fueron fundamentales para realización de este.

A la profesora Isabel Mejía por todas las horas dedicadas enseñándome a manejar los instrumentos de laboratorio y por su infinita paciencia.

A mi mejor amigo, Juan David Rivera, por su apoyo, amistad y por hacer de este trayecto una experiencia amena.

Por último, agradecer a mis padres y hermanas, quienes fueron un apoyo incondicional durante todo mi proceso de formación.

Carlos Esteban Zapata Ortiz

Agradezco al grupo de investigación en termodinámica aplicada por el espacio, los recursos y la compañía durante mi estancia en mi último periodo de la universidad.

Al profesor Gustavo Bolaños, por su disposición, sus enseñanzas, sus consejos y sus palabras de ánimo para esforzarme durante la elaboración del proyecto.

A la profesora Isabel Mejía, por todo el tiempo que estuvo conmigo en el laboratorio, donde compartió todos sus conocimientos para un buen manejo de los instrumentos. Su apoyo no solo fue de manera práctica: supo comprenderme en muchos casos donde no me sentía en mis mejores ánimos y ella me motivaba a esforzarme, resaltando muchas cosas que podía mejorar y ser mejor persona.

A mi compañero y mejor amigo Carlos Esteban Zapata, por su sincera amistad, compromiso y apoyo, siendo una persona muy influyente en mi vida.

A mis padres y hermano, quienes me motivan diariamente a siempre perseguir mis sueños y me comparten mucho de su amor.

Por último, agradezco a Diana Carolina Salazar por ser una persona muy especial en mi vida, una mujer comprensiva, amable y atenta que siempre confió en mí y me acompañó en mi etapa de universidad.

Juan David Rivera Antolinez

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de grado a mis padres, quienes se esfuerzan diariamente para que nunca me falte nada, se preocupan por mí y buscan constantemente mi felicidad. A ellos, quienes le debo muchas cosas maravillosas, son los seres que más respeto y admiro.

A mi hermano, quien me sabe comprender, aconsejar y acompañar; le muestro todo mi cariño en esta sección de mi trabajo de grado y le deseo un gran futuro donde yo pueda estar para acompañarlo, compartiendo y celebrando cada logro que hemos conseguido en la vida.

Y a todos mis compañeros, amigos y profesores, que constantemente puedo aprender de ellos, les dedico estas palabras para que sepan la alta estima y aprecio que tengo hacia ustedes.

Juan David Rivera Antolinez

Dedico este trabajo a mis padres, quienes son un apoyo en mi vida y siempre están en los momentos donde más los necesito, su preocupación por mi bienestar y desarrollo personal han hecho de mí una mejor persona.

A mis profesores de la facultad, quienes han sido un pilar fundamental en mi aprendizaje y formación académica, a ellos los admiro por sus logros y sabiduría en el campo el cual me he formado, he aprendido mucho de ellos y les deseo lo mejor a cada uno.

Carlos Esteban Zapata Ortiz

NOTA DE ACEPTACIÓN

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
TÍTULO.....	i
RESUMEN	iii
AGRADECIMIENTOS.....	v
DEDICATORIA.....	vii
NOTA DE ACEPTACIÓN	viii
TABLA DE CONTENIDO	ix
LISTA DE TABLAS	xiii
LISTA DE FIGURAS	xiv

CAPÍTULOS

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	ANTECEDENTES	2
1.2	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	4
1.3	JUSTIFICACIÓN	5
1.4	OBJETIVOS.....	7
	1.4.1 Objetivo general	7
	1.4.2 Objetivos específicos	7
2.	MARCO TEÓRICO	8
2.1	EL FRUTO DEL CHONTADURO	8
2.2	COMPUESTOS FENÓLICOS.....	10
	2.2.1 Oxidación de compuestos fenólicos por acción enzimática	10
	2.2.2 Degradación térmica.....	11

Tabla de contenido (continuación)

2.3	EXTRACCIÓN SUPERCRTICA	11
2.4	CUANTIFICACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE	13
2.4.1	Prueba de DPPH	13
2.4.2	Prueba de Folin-Ciocalteu	14
2.5	MERCADO DE ANTIOXIDANTES	15
3.	METODOLOGÍA.....	17
3.1	ADECUACIÓN DE LA MATERIA PRIMA	17
3.2	DISEÑO EXPERIMENTAL	18
3.3	MONTAJE EXPERIMENTAL	20
3.4	DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE MEDIANTE LA PRUEBA DE DPPH	21
3.5	DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE POR PRUEBA DE FOLIN-CIOCALTEU.....	23
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	25
4.1	RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN	25
4.2	RESULTADOS DE LA PRUEBA DE DPPH	27
4.3	RESULTADOS DE LA PRUEBA DE FOLIN-CIOCALTEU.....	29
4.4	CINÉTICA DE EXTRACCIÓN	31

Tabla de contenido (continuación)

5.	ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD ECONÓMICA	34
5.1	DISEÑO PRELIMINAR DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN SUPERCRÍTICA	34
5.1.1	Descripción de la zona 100.....	36
5.1.2	Descripción de la zona 200.....	39
5.1.3	Descripción de la zona 300.....	43
5.2	DIMENSIONAMIENTO Y COTIZACIÓN DE LOS EQUIPOS	45
5.3	EVALUACIÓN FINANCIERA.....	53
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	57
6.1	CONCLUSIONES.....	57
6.2	RECOMENDACIONES	58

APÉNDICES

A	COTIZACIONES	60
A.1	Cotización del tanque Dewar TK-101	60
A.2	Cotización del horno secador EQ-101	61
A.3	Cotización del tamiz EQ-102.....	65
A.4	Cotización del molino CR-101	70
A.5	Cotización del enfriador E-301	73
A.6	Cotización de las barras de acero inoxidable para los equipos de alta presión	80
A.7	Cotización de los tanques de almacenamiento TK-301 y TK-302	81

Tabla de contenido (continuación)

A.8 Cotización de las bombas centrífugas P-301 y P-302.....	82
A.9 Cotización del intercambiador de calor E-301.....	84
REFERENCIAS	86

LISTA DE TABLAS

Tabla	Pág.
1. Compuestos bioactivos presentes en el fruto del chontaduro	9
2. Condiciones de operación para cada corrida experimental	19
3. Porcentaje de rendimiento de extractos a las condiciones de operación.....	25
4. Tabla ANOVA para el rendimiento de extracción.....	26
5. Resultados del EC ₅₀ obtenidos mediante la prueba de DPPH.....	27
6. ANOVA para la prueba de DPPH a 560 nm.....	28
7. ANOVA para la prueba de DPPH a 580 nm.....	29
8. Resultados de la capacidad antioxidante obtenidos mediante la prueba de Folin-Ciocalteu	30
9. Tabla ANOVA para la prueba de Folin-Ciocalteu.....	31
10. Parámetros y condiciones de operación para escalar el proceso de extracción	35
11. Flujos máscicos por componente para la zona 100.....	39
12. Flujos máscicos por componente para la zona 200.....	42
13. Flujos máscicos por componente para la zona 300.....	45
14. Especificaciones y costos de los equipos de la zona 100.....	47
15. Especificaciones y costos de los equipos de la zona 200.....	50
16. Especificaciones y costos de los equipos de la zona 300.....	52

LISTA DE FIGURAS

Figura	Pág.
1. Acción de la PFO en los compuestos fenólicos.....	11
2. Reacción redox de la prueba Folin-Ciocalteu	15
3. Esquema ilustrativo del tratamiento de la materia prima	18
4. Diagrama ilustrativo del diseño experimental.....	19
5. Diagrama de flujo para las pruebas de extracción supercrítica usando CO ₂	20
6. Espectros del DPPH y del extracto, cada uno en la mezcla solvente	22
7. Cinética de extracción supercrítica de cáscaras de chontaduro	32
8. Rendimiento de extracción normalizado con respecto al tiempo de operación.....	35
9. Diagrama de flujo de la zona 100.....	37
10. Diagrama de bloques de la zona 100	38
11. Diagrama de flujo de la zona 200.....	40
12. Diagrama de bloques de la zona 200	41
13. Diagrama de flujo de la zona 300.....	44
14. Diagrama de bloques de la zona 300	44
15. Valores de TIR, PBR y PI para cada escenario	56
16. Diagrama de flujo de caja descontado para el proyecto	56

1. INTRODUCCIÓN

El presente proyecto propone el aprovechamiento y valorización de las cáscaras de chontaduro (*Bactris gasipaes*) utilizando CO₂ supercrítico como medio de extracción. Las cáscaras de chontaduro son un residuo agroindustrial el cual representa un problema para las industrias procesadoras de este fruto, debido a la alta cantidad y baja utilidad que posee, además de la contaminación generada en ríos y quebradas (UNAL, 2020).

El chontaduro es un fruto tropical originario de la región amazónica de América del sur, crece en ambientes tropicales y forma parte fundamental de la dieta de diversos países de la región. Además de su valor alimenticio, el chontaduro tiene aplicaciones en sectores como la construcción y la artesanía. Por ejemplo, sus hojas se aprecian particularmente por su resistencia y flexibilidad, lo que las convierte en un recurso valioso para la creación de elementos decorativos duraderos y techos de hogares (González-Jaramillo et al., 2022; Fedepalma, 2023).

Diversos estudios realizados revelan que el fruto del chontaduro contiene compuestos bioactivos y nutrientes esenciales como carbohidratos, minerales y vitaminas, los cuales aportan a la obtención de energía y funcionamiento del cuerpo humano; además de diversos antioxidantes del tipo carotenoides y fenólicos, los cuales poseen potencial antiinflamatorio y analgésico, junto a ácidos grasos insaturados que resultan ser beneficiosos para la regulación del colesterol (Ferrari et al., 2020).

Teniendo en cuenta las cantidades cultivadas del chontaduro, se desea realizar la extracción de compuestos bioactivos presentes en el residuo principal (la cáscara) mediante CO₂ supercrítico. Realizando un diseño experimental se busca obtener el mayor porcentaje de rendimiento posible, variando los diferentes parámetros que afectan el proceso, los cuales son: temperatura y densidad del CO₂. Además, se busca caracterizar los extractos evaluando su actividad antioxidante mediante dos métodos cuantitativos como lo son: la prueba de 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) y la prueba con el reactivo de Folin-Ciocalteu.

Al utilizar CO₂ como solvente de extracción se contribuye en el aspecto ambiental, debido a que el CO₂ se considera un solvente GRAS (*Generally recognized as safe*), el cual no deja trazas de disolventes tóxicos y por ello es de mucho interés para su uso en las industrias alimentaria y cosmética (Universidad complutense de Madrid, 2017).

1.1 ANTECEDENTES

En las últimas décadas, ha crecido el interés por el estudio de antioxidantes naturales, especialmente aquellos derivados de plantas, debido a su capacidad para neutralizar los radicales libres, que son responsables de una variedad de enfermedades crónicas y degenerativas como el cáncer, enfermedades cardiovasculares y el envejecimiento prematuro (Pham-Huy et al., 2008). En respuesta a esta tendencia, múltiples investigaciones se han enfocado en identificar fuentes naturales de antioxidantes, siendo los polifenoles, flavonoides y carotenoides los compuestos más estudiados.

El uso de extractos vegetales como fuentes de antioxidantes ha ganado relevancia debido a su bajo costo, disponibilidad y menor toxicidad en comparación con antioxidantes sintéticos, lo cual los hace opciones atractivas para su inclusión en alimentos y productos farmacéuticos (Shahidi, F., y Ambigaipalan, P., 2015). Entre las especies vegetales más investigadas se encuentran los frutos tropicales como el chontaduro (*Bactris gasipaes*), que como se mencionó, se reconoce por su alto contenido en carotenoides y compuestos fenólicos (Ferrari et al., 2020). En efecto, el fruto del chontaduro, presenta una composición de macronutrientes como carbohidratos (18-23%), proteínas (1-4%), y grasas (5-11%), además de aportar vitaminas como A y C, fibra dietética y minerales (dos Santos et al, 2022).

En cuanto a los compuestos bioactivos, estudios recientes han demostrado que el chontaduro, en sus variedades de pulpa amarilla y naranja, contiene una alta concentración de carotenoides, entre los cuales el β -caroteno es el compuesto predominante, y constituye un 20% de los carotenoides totales en la pulpa naranja y un 24% en la amarilla. La luteína, por

su parte, es el carotenoide predominante en el fruto de color amarillo, y contribuye al color característico de esta variedad. Este compuesto representa el 14% de los carotenoides totales en la pulpa amarilla, según lo reportado por Chisté et al. (2021).

Los métodos de evaluación de capacidad antioxidante como el DPPH y Folin-Ciocalteu son esenciales para estudiar estas propiedades. El método del DPPH mide la capacidad de una sustancia para donar electrones y neutralizar radicales libres, mientras que el método de Folin-Ciocalteu se utiliza para cuantificar el contenido total de compuestos fenólicos. Este último es de particular importancia dado que los fenoles contribuyen significativamente a la actividad antioxidante general del fruto (Singleton y Rossi, 1965).

No obstante, aún se requiere explorar más a fondo las propiedades antioxidantes de extractos obtenidos a partir de partes no comestibles de los frutos, como las cáscaras. Este subproducto agrícola se desecha en su mayor parte; sin embargo, estudios preliminares sugieren que podría contener una concentración significativa de compuestos bioactivos (Pérez et al., 2018). La presente investigación busca evaluar el potencial antioxidante del extracto de cáscaras de chontaduro mediante los métodos de DPPH y Folin-Ciocalteu, con el fin de determinar tanto la capacidad de neutralizar radicales libres como el contenido total de fenoles y contribuir a la valorización de estos residuos orgánicos vegetales, promoviendo alternativas sostenibles en la industria alimentaria y farmacéutica.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En Colombia los residuos orgánicos provenientes de las frutas representan un problema para las industrias agrícola y alimentaria. En el caso de las cáscaras de chontaduro, un residuo muy común en departamentos como Valle del Cauca, Putumayo y Cauca, la falta de investigación sobre métodos eficientes para añadir valor a estos residuos impide reducir la gran cantidad de desechos que se destinan a ríos, quebradas y suelos, generando un impacto medioambiental negativo (UNAL, 2020). Por esta razón, se presenta una oportunidad para investigar la valorización de estos residuos mediante métodos no convencionales, como la extracción supercrítica de los compuestos bioactivos presentes en las cáscaras de chontaduro, con el objetivo de mitigar dicho impacto.

Según el ministerio de agricultura, para el año 2022 la producción de chontaduro en el Valle del Cauca fue 1436 ton/año y se estima que por cada tonelada de chontaduro producida se genera media tonelada de residuos provenientes de las cáscaras y semillas del fruto (MinAgricultura, 2023; UNAL, 2020).

La acumulación de residuos se debe a que no se proponen métodos eficientes para contrarrestar los efectos negativos de estos, más allá de destinar cierta parte a la alimentación animal. Actualmente, los residuos de chontaduro se utilizan como alimento para cerdos, que si bien resulta beneficioso, no es suficiente para reducir significativamente la cantidad de estos desechos (UNAL, 2020).

Debido a la actividad biológica de algunas de las sustancias presentes en el chontaduro, tales como ácidos grasos, vitaminas A y B, antioxidantes (carotenoides tipo alfa y beta) y fenoles totales, sería de interés extraer estos compuestos para aprovechar y valorizar los residuos de este fruto (Ferrari et al., 2020). Los métodos de extracción de antioxidantes más utilizados son: ultrasonido, microondas, soxhlet y líquido presurizado. Estos dos últimos utilizan solventes orgánicos tóxicos como metanol, hexano, tolueno y xileno (Merck, 2023), por lo

cual es necesario eliminar completamente las trazas de estos solventes orgánicos de extractos cuyo destino es el consumo humano.

1.3 JUSTIFICACIÓN

El fruto del chontaduro está compuesto por tres partes: la semilla, la pulpa y la cáscara. La combinación de cáscara y pulpa constituye el 92% del peso total del fruto. En este porcentaje, la cáscara (epicarpio), representa el 11%, mientras que la pulpa (mesocarpio) constituye el 81%. El 8% restante corresponde a la semilla, que puede tener un peso de 3 a 4 g (Vargas-Avila y Jorge, 2000).

Según la cifra estimada del ministerio de agricultura colombiano, para el 2022 la producción de chontaduro en el Valle del Cauca fue 1436 ton/año (MinAgricultura, 2023). De las composiciones mencionadas se puede estimar la cantidad de cáscaras y semillas que se producen a partir del fruto: 158 ton/año corresponden a los residuos de cáscaras y 115 ton/año a las semillas, para un total de 273 ton/año de residuos de chontaduro.

Estas estimaciones no tienen en cuenta los residuos generados por la pulpa en descomposición debido a acción biológica y enzimática. Dicha descomposición puede aumentar la cantidad de residuos de chontaduro, aproximándose a la cifra de media tonelada que han reportado los estudios realizados por la Universidad Nacional sede Manizales (UNAL, 2020).

En la industria cosmética, la inclusión de antioxidantes en los productos cosméticos y fotoprotectores resulta ser la principal estrategia para prevenir el fotoenvejecimiento. Estos compuestos tienen la capacidad de neutralizar la acción de los radicales libres e inhiben la síntesis acelerada de metaloproteinasas, degradadoras del colágeno, inducidas por la radiación UV (Castaño y Hernández, 2018).

La extracción supercrítica permitiría valorizar los residuos de las cáscaras de chontaduro, mediante la separación de los componentes bioactivos de la materia orgánica para obtener productos con alta pureza y calidad. Este método elimina la presencia de trazas de solventes orgánicos tóxicos en el extracto, y es una alternativa relevante frente a los demás métodos de extracción.

La implementación de un proceso de extracción supercrítica de componentes bioactivos a partir de cáscara de chontaduro resulta de interés para las industrias farmacéutica, cosmética y alimentaria debido a que el extracto sirve de materia prima para la elaboración de aditivos alimenticios, productos cosméticos y formulaciones de medicamentos. Para ello, se requiere determinar las condiciones de operación del proceso de extracción que permiten obtener rendimientos de extractos y comparar la calidad del extracto con otros antioxidantes comerciales, de tal manera que al elaborar una evaluación económica del proceso para una posible producción de extractos antioxidantes se determine si este es un método competente para su implementación a nivel industrial, en comparación con otros métodos de extracción.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Estudiar la valorización de los residuos de las cáscaras de chontaduro mediante la extracción de componentes bioactivos, usando CO₂ supercrítico.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el rendimiento de extractos de cáscara de chontaduro como función de las condiciones de operación de la extracción, tales como: temperatura y densidad del CO₂.
- Evaluar la actividad antioxidante de los extractos de la cáscara del chontaduro.
- Elaborar un análisis económico preliminar para un posible proceso industrial de obtención de extractos con valor agregado a partir de cáscaras de chontaduro.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 EL FRUTO DEL CHONTADURO

El fruto del chontaduro, científicamente conocido como *Bactris gasipaes*, es un fruto perteneciente al género de plantas *Bactris Jacq. ex Scoop.* de la familia de palmeras espinosas Arecaceae, tribu Cocoseae (González-Jaramillo et al., 2022). Posee altos contenidos de compuestos nutricionales, carotenoides y fenoles totales, y contiene además minerales como cobre, manganeso y zinc, cuyo consumo representa del 30 al 80% de las dosis diarias recomendadas, junto con los lípidos (7.80%), la fibra (10.37%) y las proteínas (5.35%). La planta contiene una cantidad adecuada de selenio (10%) y tiene una cantidad baja de sodio (1%). Su aceite es rico en ácidos insaturados como linolénico (ω -3) y linoleico (ω -6), por lo cual se considera de alta calidad y funcionalidad, con un predominio de triacilgliceroles de cadena larga y una alta estabilidad termogravimétrica (350 °C) (dos Santos et al, 2022).

Chisté et al. (2021) llevaron a cabo un estudio sobre los compuestos bioactivos presentes en el fruto del chontaduro. Para ello, analizaron dos tipos de muestras de chontaduros cocidos, de color naranja y amarillo. Mediante la técnica analítica HPLC, realizaron el perfil de composición de dichos frutos y cuantificaron cada componente. La Tabla 1 muestra los resultados obtenidos en dicho estudio. Se evidencian diferencias significativas en el perfil de carotenoides entre los frutos de chontaduro de color naranja y amarillo. Estas diferencias pueden atribuirse a variaciones genéticas inherentes a las variedades de chontaduro, que influyen en la presencia de las enzimas responsables de las vías biosintéticas de los carotenoides. También, algunos factores ambientales como la intensidad lumínica, la composición del suelo y la temperatura durante el crecimiento de los frutos pueden modificar la acumulación de carotenoides (Mínguez et al., 2024).

Tabla 1. Compuestos bioactivos presentes en el fruto del chontaduro (Chisté et al 2021).

Carotenoide	Concentración relativa	
	Fenotipo naranja (%)	Fenotipo amarillo (%)
(all-E)-Neocromo	nd	1
(9Z)-Neocromo	nd	1
5',6'-Epoxi-luteína	nd	3
13Z-Epoxi-carotenoide	nd	3
(all-E)-Luteína	2	14
(all-E)-Zeaxantina	1	5
(all-E)-Fitoeno	< 1	< 1
9Z-Luteína	nd	2
(all-E)-Fitoflueno	< 1	< 1
(all-E)- β -Criptoxantina	1	4
Z- β -Caroteno	1	1
Z-carotenoide no identificado	3	3
(13Z)- β -Caroteno	6	4
9Z,13Z- β -Caroteno	2	2
(all-E)- β -Caroteno	20	24
Z-carotenoide no identificado	3	7
(9Z)- β -Caroteno	8	3
di-Z- δ -Caroteno	3	nd
No identificado	nd	5
Z- γ -Caroteno (isómero 1)	5	11
(all-E)- δ -Caroteno	11	3
di-Z- γ -Caroteno (isómero 2)	3	nd
(all-E)- γ -Caroteno	11	1
9Z- γ -Caroteno (isómero 3)	14	3
Z-Licopeno	6	1

La cáscara del chontaduro posee de igual manera alto contenido de compuestos bioactivos, incluyendo antioxidantes y fenoles totales. Se conoce que la concentración de fenoles totales es 23 mg de ácido gálico/100 g de muestra y la de carotenoides totales es 59 mg β -caroteno/100 g, la actividad antioxidante es 33 ORAC (μ mol equivalentes de Trolox/100 g de muestra). Estos contenidos hacen que sea potencialmente relevante su utilización como aditivos alimenticios (Martínez-Girón et al, 2017).

2.2 COMPUESTOS FENÓLICOS

Los fenoles son compuestos con uno o más anillos aromáticos y al menos un grupo hidroxilo, y podrían tener algún otro grupo funcional distintivo. Hasta ahora se han identificado más de 8000 compuestos fenólicos en diferentes plantas. Dentro del mismo grupo de compuestos se encuentran siete clasificaciones tales como: flavonoides, ácidos fenólicos, taninos, estilbenos, cumarinas, lignanos y ligninas (Luna-Guevara et al., 2018).

Los fenoles pueden realizar diferentes funciones en las plantas, aunque la mayoría de estas tienen que ver con su protección y estabilidad, como la astringencia, olor, apariencia y estabilidad oxidativa. Además, los compuestos fenólicos han mostrado tener diferentes actividades fisiológicas, como propiedades antiinflamatorias, antibacterianas y antioxidantes. Esta última se debe a su capacidad de retardar la oxidación relacionada con el daño celular, como la peroxidación lipídica y la desintegración oxidativa del ADN (Luna-Guevara et al., 2018).

2.2.1 Oxidación de compuestos fenólicos por acción enzimática

La Figura 1 muestra la reacción de oxidación de compuestos fenólicos por acción de la enzima polifenol oxidasa (PFO). Una amplia mayoría de frutas y vegetales contienen esta enzima, la cual es la encargada de catalizar la oxidación de los compuestos fenólicos cuando un alimento o extracto ha sido expuesto al aire. La PFO reacciona convirtiendo los compuestos fenólicos a quinonas, las cuales, al polimerizar, producen un color marrón oscuro

en muchas frutas y vegetales. Estas reacciones terminan dañando las propiedades organolépticas de muchos productos orgánicos. (Morante-Carriel et al., 2014).

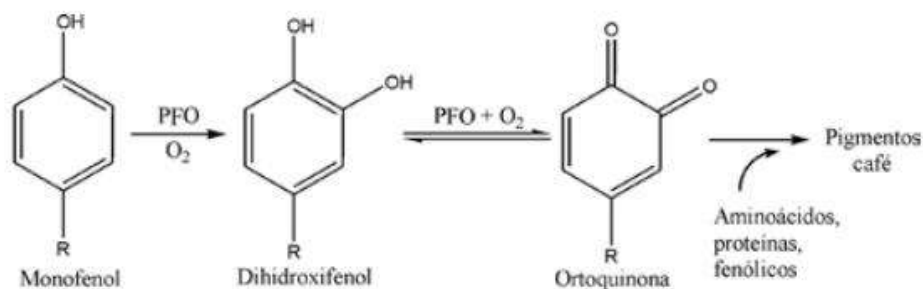


Figura 1. Acción de la PFO en los compuestos fenólicos (García et al., 2006).

2.2.2 Degradación térmica

Los compuestos fenólicos no sólo son susceptibles a la degradación enzimática. El efecto de la temperatura durante la extracción y almacenamiento disminuye lentamente la capacidad antioxidante de un extracto al reducir el contenido total de fenoles (Ayala-Zabala et al., 2004). Volf et al. (2014) comprobaron experimentalmente que la reducción de compuestos fenólicos por degradación térmica ocurre a largos tiempos de exposición a temperaturas por encima de los 60 °C; por ejemplo, para polifenoles estándares como el ácido vanílico, ácido gálico y catequina, una temperatura de extracción de 60 °C, una concentración inicial de 100 mg/L y un tiempo de exposición de 250 minutos, son suficientes para disminuir en más del 20% el contenido total de fenoles, lo cual influye significativamente en la capacidad antioxidante del extracto.

2.3 EXTRACCIÓN SUPERCRÍTICA

La extracción supercrítica (SFE) es un método de separación que utiliza como solvente un fluido a temperaturas y presiones por encima de las de su punto crítico gas-líquido. A estas condiciones el fluido presenta alto poder de solvatación, baja viscosidad y alta difusividad,

propiedades que permiten lograr con facilidad una alta tasa de transferencia de masa. Las propiedades de disolución de los fluidos supercríticos dependen en gran parte de la densidad, la cual se puede ajustar mediante el control de la temperatura y presión (Cvejić et al., 2017).

El dióxido de carbono (CO_2) es el fluido supercrítico más usado debido a su baja temperatura crítica ($31\text{ }^{\circ}\text{C}$) y baja presión crítica (74 bar). Una gran ventaja que presenta el CO_2 a estas condiciones es que minimiza la degradación térmica de los componentes bioactivos presentes en materias primas vegetales, lo que lo hace interesante para la extracción de compuestos valiosos presentes en diferentes matrices sólidas como semillas, cáscaras, raíces, etc (Maroun et al., 2018).

La extracción con CO_2 supercrítico se considera una alternativa ecológica a los métodos de extracción que usan solventes líquidos orgánicos. Se ha desarrollado principalmente para la recuperación de compuestos bioactivos presentes en materias primas vegetales. Es una extracción sostenible y de alto rendimiento, que opera con a lo sumo pequeñas concentraciones de cosolventes orgánicos (Ou et al., 2024).

Todos los procesos de extracción supercrítica de materias sólidas consisten en dos etapas: la extracción y la separación del extracto del disolvente. En la etapa de extracción, el CO_2 en estado supercrítico fluye a través de un lecho fijo que contiene el material sólido, solubilizando los componentes extraíbles. Posteriormente, el disolvente cargado con el extracto se transfiere a un separador, donde se reduce la presión para disminuir la solubilidad del soluto en el CO_2 supercrítico, lo que permite la recuperación del disolvente y la precipitación del extracto. Alternativamente, la separación del soluto puede realizarse mediante técnicas como adsorción, absorción o procesos de membrana, manteniendo el sistema a una presión constante en el circuito de disolvente (Universidad complutense de Madrid, 2021).

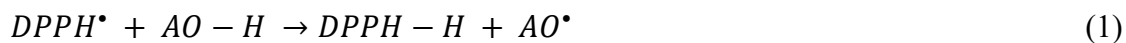
2.4 CUANTIFICACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE

Existen diversas maneras de evaluar la capacidad antioxidante de un extracto. Por ejemplo, se encuentra la prueba *2,2-difenil-1-picrilhidracilo* (DPPH), el cual es un radical libre estable de color púrpura, que tiene la capacidad de aceptar un átomo de hidrógeno por parte de un agente antioxidante. Cuando el DPPH entra en contacto con el antioxidante, este compuesto reacciona a su forma reducida, perdiendo su color característico y tornándose amarillo. De esta manera, al medir la absorbancia a 515 nm, es posible determinar la capacidad antioxidante por espectrometría (Molyneux, P., 2004).

Otra manera de determinar la actividad antioxidante es por medio del reactivo de Folin-Ciocalteu, el cual consiste en una mezcla de los ácidos fosfomolibdato y fosfotungstico, utilizado para medir la cantidad de antioxidantes fenólicos y polifenólicos presentes en el extracto. Este método mide la concentración de dichos compuestos mediante la reducción del reactivo Folin-Ciocalteu, el cual torna de un color amarillo a azul. De esta manera, al medir la absorbancia a 760 nm, es posible determinar el contenido total de fenoles. En este ensayo se utiliza como referencia una curva de calibración preparada con ácido gálico, y por ello la concentración de fenoles se reporta como mg de ácido gálico equivalentes/L (Malta y Liu, 2014).

2.4.1 Prueba de DPPH

La prueba de DPPH es un método colorimétrico utilizado para evaluar la capacidad de un compuesto para captar radicales libres o donar electrones. Este método permite cuantificar la capacidad antioxidante de alimentos y otros sistemas biológicos complejos mediante el EC_{50} , el cual indica la concentración de compuesto necesaria para reducir la cantidad de DPPH inicial a la mitad (Plank, et al. 2012). Fue desarrollado por Marsdens S. Blois en 1958. Las reacciones químicas que describen la reducción del DPPH se muestran a continuación:



Donde AO es el antioxidante presente en la reacción, $AO^{\bullet}$ es el antioxidante después de donar un electrón al reactivo DPPH y $R^{\bullet}$ representa un radical libre.

El DPPH se considera un radical estable gracias a la deslocalización del electrón libre a lo largo de toda la molécula. A diferencia de otros radicales libres que pueden formar dímeros o reaccionar rápidamente con otros compuestos, el DPPH no dimeriza y mantiene su estabilidad (Gulcin et al., 2023). Dicha deslocalización de electrones provoca el color violeta oscuro en la molécula y una absorción máxima en metanol a 515 nm. El color intenso se pierde a medida que se reduce la molécula adquiriendo átomos de hidrógeno de algún compuesto donador de hidrógenos presente en la solución, y la intensidad del color resultante depende de la estequiometría de la reacción (Gulcin et al., 2023).

La capacidad antioxidante se calcula determinando la reducción de la concentración de DPPH, determinada mediante la lectura de absorbancia en el medio de reacción hasta alcanzar el estado estable usando un espectrofotómetro a la longitud de onda 515 nm, de acuerdo con la ecuación:

$$y = 100 \times \frac{[DPPH]_{rem}}{[DPPH]_{t=0}} \quad (3)$$

donde: y = Porcentaje de DPPH remanente,

$[DPPH]_{rem}$ = Concentración de DPPH remanente,

$[DPPH]_{t=0}$ = Concentración inicial de DPPH.

2.4.2 Prueba de Folin-Ciocalteu

La prueba de Folin-Ciocalteu es uno de los métodos más empleados para realizar una cuantificación de compuestos fenólicos. El principio del ensayo es la reducción del reactivo de Folin-Ciocalteu en presencia de fenoles, lo cual resulta en la producción de un complejo color azul. La intensidad del color aumenta linealmente con la concentración de compuestos antioxidantes en el medio de reacción (Malta y Liu, 2014).

La Figura 2 presenta el proceso de óxido - reducción de la prueba de Folin-Ciocalteu (Pérez et al., 2023). El método está basado en la transferencia de electrones en la cual las especies antioxidantes actúan como donadores de electrones, mientras el reactivo de Folin-Ciocalteu actúa como agente oxidante. La reducción de los derivados aniónicos de los ácidos fosfotúngstico y fosfomolibdico causado por los antioxidantes causa un cambio de color amarillo a azul. El método es adecuado para analizar mezclas fenólicas complejas que se encuentran en alimentos y extractos naturales; además, a diferencia de otros métodos, suele ser adaptable a casi cualquier laboratorio, ya que no requiere de altos costos para su implementación (Pérez et al., 2023).

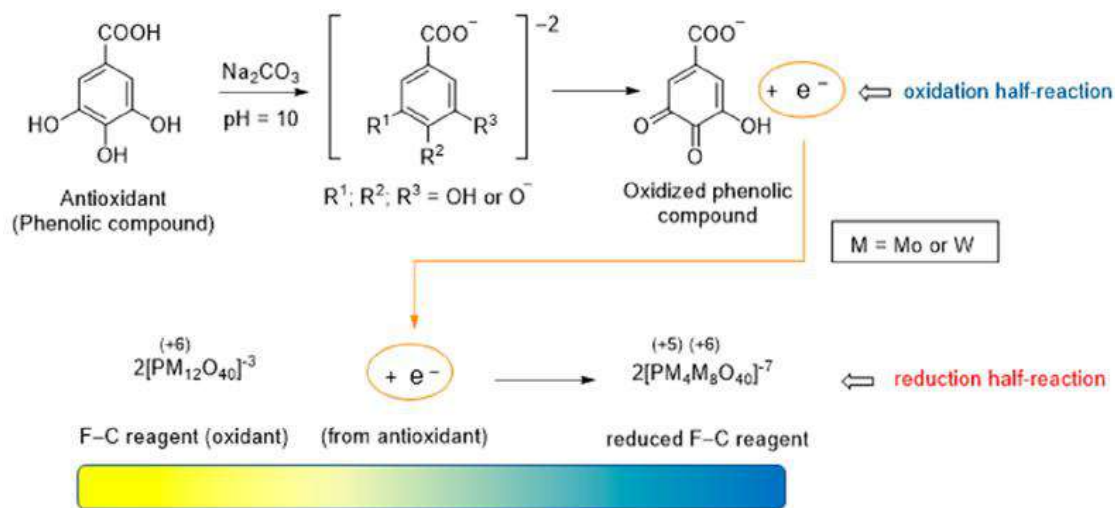


Figura 2. Reacción redox de la prueba Folin-Ciocalteu (Pérez, M. et al. 2023).

2.5 MERCADO DE ANTIOXIDANTES

La creciente demanda por productos para el cuidado de la piel ha generado un aumento en el mercado de antioxidantes. En efecto, en la industria cosmética se usan estos compuestos en productos como shampoos, cremas, lociones, etc. Los antioxidantes que se usan comúnmente en este sector suelen ser las vitaminas A, C y E, las cuales se pueden extraer de fuentes naturales. En este orden de ideas, el β -caroteno reviste importancia al ser un precursor de la vitamina A.

El mercado global de antioxidantes en el año 2023 fue 4.59 mil millones de dólares y se espera un crecimiento de 4.84 mil millones de dólares en 2024 a 7.64 mil millones de dólares en 2032 con una tasa de crecimiento anual de 5.87% (Fortune business insights, 2024). Por otro lado, tomando solo el segmento de los antioxidantes naturales, se tiene que el tamaño de mercado de estos en el año 2022 fue 1.4 mil millones de dólares en ingresos totales y se espera un crecimiento con una tasa anual de 6.66% para alcanzar cerca de 2.2 mil millones para el año 2029 (Maximize market research, 2022).

3. METODOLOGÍA

3.1 ADECUACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

La Figura 3 muestra un esquema ilustrativo del tratamiento de la materia prima. 4.5 kg de cáscaras de chontaduro fueron suministradas por la empresa colombiana “Frutos del pacífico” (Cali, Colombia). Este material se trató inicialmente con hipoclorito de sodio al 0.1 %v/v para eliminar microorganismos y posteriormente se secó a 40 °C por 24 horas en un horno convectivo (Memmert UF55), para disminuir el porcentaje de humedad hasta 7% en base húmeda.

Las cáscaras de chontaduro secas se sometieron entonces a molienda criogénica utilizando nitrógeno líquido, lo que previene la posible degradación de los antioxidantes tanto por exposición a la luz como por calentamiento mecánico durante la molienda. Se emplearon tamices estándares ASTM 16, 30 y 35 para clasificar el material particulado, y se seleccionó la fracción pasante malla 16 retenida malla 30, que corresponde a un tamaño de partícula entre 1.18 mm y 0.6 mm (0.046 y 0.024 pulgadas). Las muestras se empacaron al vacío en bolsas de *mylar* con secuestrantes de oxígeno, y se mantuvieron a -10°C. De esta manera se evita la posible oxidación y degradación térmica que podrían afectar a los resultados de capacidad antioxidante.



Figura 3. Esquema ilustrativo del tratamiento de la materia prima.

3.2 DISEÑO EXPERIMENTAL

La Tabla 2 y la Figura 4 muestran los valores de temperatura, presión y densidad de CO_2 escogidos para cada corrida experimental. Se propuso un experimento factorial 2^2 aumentado con 4 puntos centrales, teniendo como factores la temperatura de extracción y la densidad del CO_2 . Considerando que la temperatura crítica del CO_2 es 31°C y la presión crítica es 74 bar, es conveniente seleccionar una temperatura de extracción que evite la degradación de los antioxidantes y que a su vez esté por encima del punto crítico del CO_2 ; por esta razón, el intervalo de temperatura se estableció de 35 a 55°C para los niveles bajo y alto respectivamente. Una vez establecido el rango de temperatura de estudio, se calculó la presión necesaria para alcanzar una densidad de CO_2 de 0.7, 0.8 y 0.9 g/cm^3 a cada temperatura, utilizando la base de propiedades termodinámicas del NIST (*National Institute of Standards and Technology*).

Tabla 2. Condiciones de operación para cada corrida experimental

Corrida	T [°C]	P [psi]	Densidad de CO ₂ [g/cm ³]
(-1,-1)	35	1400	0.7
(-1,1)	35	3600	0.9
(0,0)	45	2800	0.8
(1,1)	55	4600	0.9
(1,-1)	55	2500	0.7

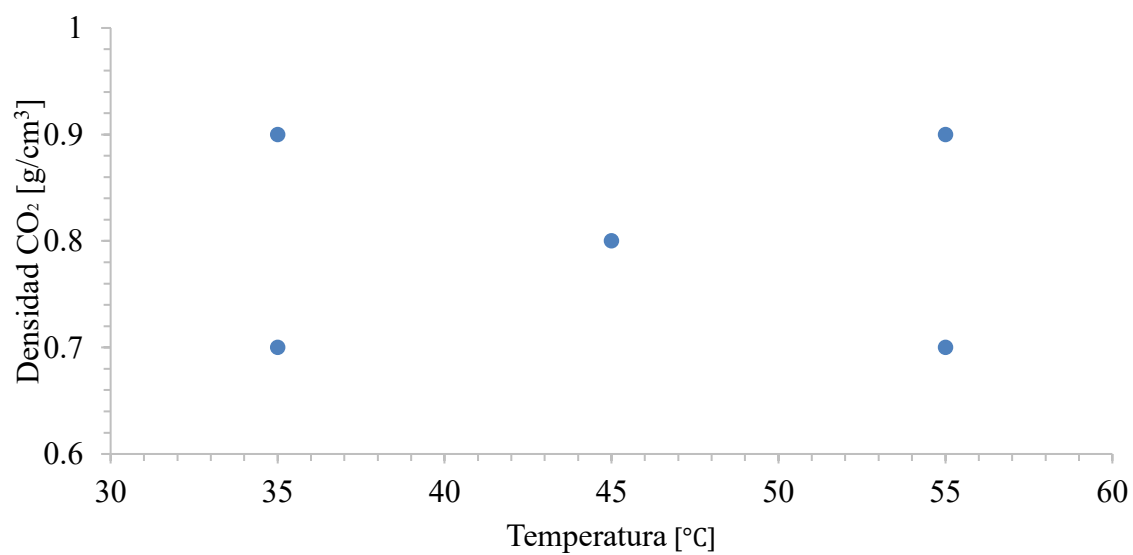


Figura 4. Diagrama ilustrativo del diseño experimental.

3.3 MONTAJE EXPERIMENTAL

La Figura 5 muestra el diagrama de flujo del proceso de extracción utilizando CO₂ supercrítico para obtener extractos de valor agregado a partir de cáscaras de chontaduro. El equipo de extracción supercrítica se encuentra en el laboratorio de alta presión de la Universidad del Valle en la Escuela de Ingeniería Química.

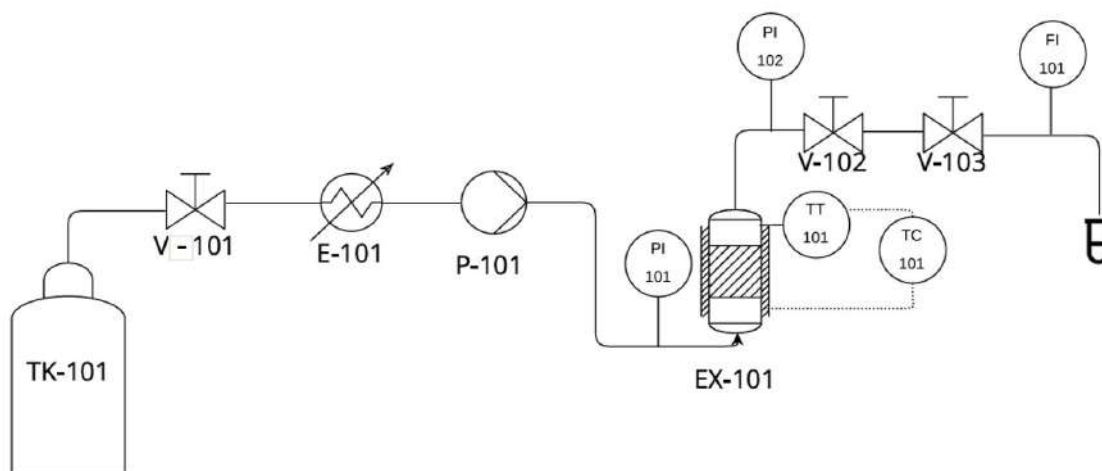


Figura 5. Diagrama de flujo para las pruebas de extracción supercrítica usando CO₂. TK-101: Cilindro de CO₂. V-101, V-102, V-103: Válvulas de compuerta 1, 2 y 3. P-101: Válvula neumática de alta presión. EX-101: Extractor. PI-101, PI-102: Indicadores de presión. TT-101: Transmisor de temperatura. TC-101: Controlador de temperatura. FI-101: Indicador de flujo (Rotámetro).

En este equipo se utiliza CO₂ contenido en un cilindro estándar para alimentar una bomba neumática de alta presión. Antes de llegar a la bomba, el CO₂ pasa por un sistema de refrigeración que funciona con etilenglicol para bajar la temperatura hasta -10 °C y mantener el CO₂ en fase líquida a la entrada de la bomba. El CO₂ presurizado se lleva a un extractor de acero inoxidable 316L de 80 mL previamente cargado con el material vegetal. El extractor está diseñado para 7250 psia, y posee una chaqueta de calentamiento eléctrico en donde se realiza el control de la temperatura usando un sistema PID con las lecturas de

una termocupla tipo K y una resistencia de 1000 W como elemento final de control. Para el control de la presión, a la salida del extractor se encuentra un manómetro Bourdon que registra esta variable. La tasa de flujo de CO₂ y la presión se regulan utilizando las válvulas V-102 y V-103. Se utiliza un rotámetro para determinar la tasa de flujo de CO₂, la cual se mantiene constante durante toda la extracción. Los componentes extraídos se recogen en un tubo de ensayo recubierto con cinta adhesiva de aluminio para hacerlo opaco.

3.4 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE MEDIANTE LA PRUEBA DE DPPH

Para la determinación de la capacidad antioxidante de los extractos mediante la prueba de DPPH se utilizó una modificación del método planteado por Brand-Williams et al, (1995). Al ser los extractos obtenidos mayormente apolares, fue necesario cambiar el metanol como solvente estándar por una mezcla de dos solventes, 95% v/v acetona con 5% v/v isopropanol. Se midió la absorbancia de esta mezcla de solventes y se encontró que no existe ninguna interferencia en la absorbancia de estos. Por otro lado, como la prueba de DPPH convencional está basada en medidas espectrofotométricas a 515 nm, al analizar independientemente el espectro del DPPH y el de los extractos, se observó que la presencia de carotenoides hace que exista una fuerte interferencia a esa longitud de onda, lo cual imposibilita el seguimiento en la reducción del DPPH en la prueba de Brand-Williams.

Por este motivo, se optó por considerar en la prueba longitudes de onda de 560 y 580 nm, a las cuales se encontró una interferencia mínima entre las absorbancias de los extractos y del radical DPPH. A estas longitudes de onda se puede hacer un seguimiento adecuado de la concentración del radical a lo largo del tiempo de reacción entre los antioxidantes y el DPPH.

La Figura 6 muestra los espectros del DPPH y del extracto, cada uno en la mezcla solvente. Observe que a una longitud de onda de 580 nm hay una baja interferencia del extracto en el solvente (curva negra) respecto al radical DPPH en el mismo solvente (curva roja).

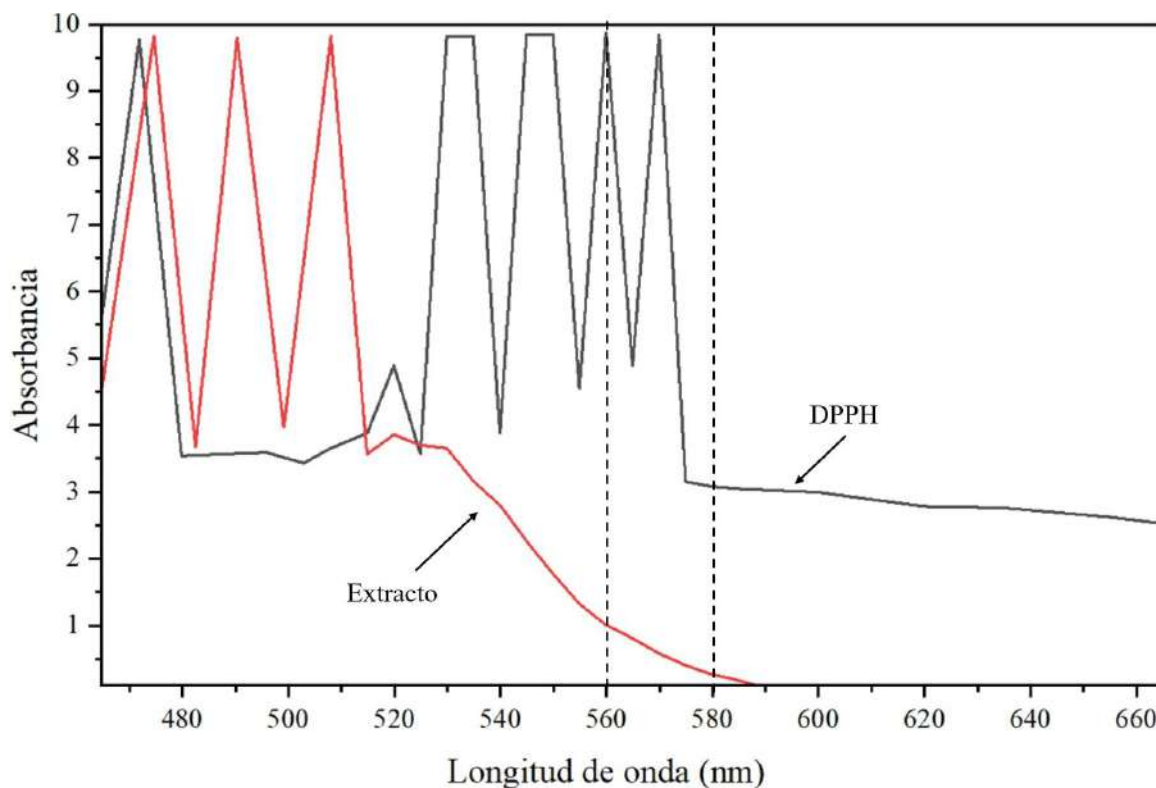


Figura 6. Espectros del DPPH y del extracto, cada uno en la mezcla solvente.

Inicialmente se preparó una solución madre de DPPH en la mezcla de solventes acetona-isopropanol tomando 1.7 mg de DPPH en 25 mL de solvente, para obtener una concentración de DPPH de 1.72×10^{-4} M; posteriormente se realizaron 6 diluciones de la solución madre con el objetivo de construir una curva de calibración que representa la absorbancia frente a las diferentes concentraciones del radical.

Por otro lado, se realizó un procedimiento similar para la solución madre de extracto. Se tomó una masa del extracto y se diluyó en un volumen de solvente hasta alcanzar una concentración del 20% p/v. Esta solución madre se diluyó en 5 concentraciones diferentes agregando 0, 0.5, 0.75, 0.9 y 0.95 mL de solvente en diferentes tubos de ensayo y se completó con el extracto para obtener en cada caso un volumen de 1 mL de solución.

Para determinar la capacidad antioxidante de un extracto, se agregaron 3.9 mL de solución madre de DPPH a 0.1 mL de cada una de las cinco soluciones del extracto. Estas mezclas se dejaron reaccionando en cinco tubos roscados durante aproximadamente 24 horas para luego medir su absorbancia en el espectrofotómetro, a 560 y 580 nm. Este procedimiento se realizó de igual manera para cada uno de los extractos.

3.5 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE MEDIANTE LA PRUEBA DE FOLIN-CIOCALTEU

Para la prueba de Folin-Ciocalteu, inicialmente se preparó una solución madre de ácido gálico analítico (marca Fagalab, pureza 98.7%) en una mezcla al 95% de acetona en isopropanol, para lograr una concentración de ácido gálico de 100 mg/L. Para ello se pesaron 25 mg de ácido gálico en un balón aforado de 25 mL, los cuales se diluyeron en la mezcla solvente acetona-isopropanol hasta llegar al aforo. Posteriormente se realizó una dilución a razón 1:10 con más solvente para llegar a la concentración de 100 mg/L.

De mismo modo se preparó una solución de carbonato de sodio (Na_2CO_3) al 20% p/v en la mezcla solvente pesando 5 g de carbonato de sodio en un matraz aforado de 25 mL y completando este volumen con el solvente. Se mezcló la solución con ayuda de un agitador magnético durante 5 minutos. Finalmente, se preparó una solución 1N del reactivo Folin-Ciocalteu (marca SRL), mezclando en proporción 1:2 el reactivo con el solvente acetona-isopropanol.

Posterior a esto, se tomó la solución madre de ácido gálico y se realizaron las disoluciones necesarias con el fin de obtener la curva de calibración. Este procedimiento se realizó con 6 viales ámbar de 1.5 mL, donde se tomaron 0, 20, 40, 60, 80 y 100 μL de ácido gálico, 750 μL de solución de carbonato de sodio, 250 μL de reactivo Folin-Ciocalteu, los cuales se añadieron a cada vial, y se terminó de llenar cada vial con solvente hasta 1.5 mL.

Se realizó la disolución de cada extracto tomando una masa de entre 0.3 a 0.4 g según la cantidad de extracto disponible, el cual posteriormente se diluyó con un volumen de solvente tal que la concentración de la disolución fuera del 20% p/v. Por último, se tomó 0.5 mL de cada extracto, 0.5 mL de solución de carbonato de sodio al 20% p/v y 0.5 mL de reactivo Folin-Ciocalteu 1N, los cuales se llevaron a los viales ámbar donde se mezclaron por 5 minutos y se dejaron reaccionar en reposo y en oscuridad durante 2 horas.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN

La Tabla 3 presenta el porcentaje de rendimiento de extractos a las condiciones de operación para cada corrida experimental. Para obtener el mayor rendimiento posible de extracto, es necesario realizar la extracción supercrítica a 35 °C y a 3600 psi, que según la base de propiedades termodinámicas del NIST, corresponde a una densidad de CO₂ 0.9 g/cm³. Además, se puede observar un aumento en la densidad del CO₂, logrado mediante una mayor presión cerca de su temperatura crítica, el cual favorece al rendimiento de extracción. Esto se debe a que, con una mayor densidad, el CO₂ aumenta el poder de solvatación, lo que permite una mayor solubilidad de los compuestos en el fluido supercrítico (Brunner G, 2013).

Tabla 3. Porcentaje de rendimiento de extractos a las condiciones de operación

Punto	T [°C]	P [psi]	Densidad de CO ₂ [g/cm ³]	Rendimiento %
(-1,-1)	35	1400	0.7	1.68
(-1,1)	35	3600	0.9	7.28
(0,0)	45	2800	0.8	6.50
(0,0)	45	2800	0.8	6.12
(0,0)	45	2800	0.8	5.79
(0,0)	45	2800	0.8	5.79
(1,1)	55	4600	0.9	7.11
(1,-1)	55	2500	0.7	3.47

Se realizó un análisis de varianza a los resultados obtenidos de rendimiento y capacidad antioxidante para determinar el efecto de las condiciones de operación sobre la calidad y cantidad de extracto obtenido por tratamiento. Dicho estudio estadístico se realizó en el software libre de JMP. (SAS Institute Inc, 2018).

La Tabla 4 muestra los resultados del análisis de varianza para el rendimiento de extracción a las condiciones de operación planteadas en el diseño experimental 2^2 con cuatro puntos centrales. Se observa que para el factor densidad se tiene un *p-value* de 0.6%, lo cual indica que este factor es significativo en el porcentaje de rendimiento de extracción. Por otro lado, tanto para la temperatura como para la interacción entre los dos factores se tienen *p-values* mayores al 5%, lo cual indica que estos no tienen un efecto significativo sobre el rendimiento para este nivel de significancia.

Tabla 4. Tabla ANOVA para el rendimiento de extracción.

Factores	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Estadístico F	P-Value
ρ	21.144	1	21.144	27.928	0.006
T	0.656	1	0.656	0.858	0.406
$\rho \times T$	0.960	1	0.960	1.256	0.325
Error	3.057	4	0.764		
Total	25.817	7			

Los resultados del ANOVA indican que la variable densidad de CO₂ tiene mayor impacto sobre el rendimiento de extracción ($F = 27.9281$, $P\text{-value} = 0.006$). Para elaborar un posible escalado del proceso de extracción supercrítica, se puede plantear operar a la menor temperatura de extracción posible, cerca al punto crítico del CO₂, con el fin de reducir

costos de energía en el calentamiento del extractor y a la vez minimizar una posible afectación de la calidad del extracto por degradación térmica.

4.2 RESULTADOS DE LA PRUEBA DE DPPH

La Tabla 5 muestra los resultados del EC_{50} obtenidos mediante la prueba de DPPH para evaluar la capacidad antioxidante del extracto a las condiciones del diseño experimental.

Tabla 5. Resultados del EC_{50} obtenidos mediante la prueba de DPPH

Corrida	T	P	EC ₅₀ medido a cada longitud de onda [g extracto/g DPPH]	
	[°C]	[psi]	medido a 560 nm	medido a 580 nm
(-1,-1)	35	1400	24.58	23.63
(-1,1)	35	3600	23.51	22.68
(0,0)	45	2800	36.97	36.09
(1,1)	55	4600	20.66	20.03
(1,-1)	55	2500	52.34	52.04

Las Tablas 6 y 7 muestran los resultados del análisis de varianza para la capacidad antioxidante del extracto por el método DPPH. Se puede observar que para ambas longitudes de onda, los factores de densidad, temperatura y su interacción no tienen un efecto significativo sobre la variable de respuesta. A partir de estos resultados, se puede afirmar que para el intervalo de temperatura estudiado, no se observó degradación térmica de los compuestos bioactivos presentes en el extracto, considerando un nivel de significancia del 5%. Sin embargo, las variaciones en los valores del EC₅₀ pueden ser resultado de otros aspectos fuera del objeto de estudio, como por ejemplo el tiempo de exposición de la materia prima al aire y el tiempo de almacenamiento de los extractos una vez extraídos.

Tabla 6. Tabla ANOVA para la prueba de DPPH a 560 nm.

Factores	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Estadístico F	P-Value
ρ	268.14	1	268.14	7.47	0.223
T	155.13	1	155.13	4.32	0.285
$\rho \times T$	234.24	1	234.24	6.53	0.237
Error	0	4	0		
Total	657.51	7			

Tabla 7. Tabla ANOVA para la prueba de DPPH a 580 nm.

Factores	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Estadístico F	P- Value
P	271.59	1	271.59	8.05	0.215
T	165.89	1	165.89	4.92	0.269
$\rho \times T$	241.18	1	241.18	7.15	0.227
Error	0	4	0		
Total	678.66	7			

4.3 RESULTADOS DE LA PRUEBA DE FOLIN-CIOCALTEU

La Tabla 8 muestra los resultados de la capacidad antioxidante obtenidos mediante la prueba de Folin-Ciocalteu. En este caso se realizó un diseño experimental 2^2 con un punto central y una réplica. A simple vista se puede observar una ligera tendencia en el aumento de la capacidad antioxidante en los puntos de baja de temperatura (-1,-1 y -1,1); sin embargo, esta observación no es suficiente para afirmar que dicho efecto es significativo.

Tabla 8. Resultados de la capacidad antioxidante obtenidos mediante la prueba de Folin-Ciocalteu

Corrida	Absorbancia	Capacidad antioxidante (mg de ácido gálico equivalentes/L)
(-1,-1)	2.460	21.00
(-1,-1)	1.312	17.71
(-1,1)	2.369	19.65
(-1,1)	1.224	16.22
(0,0)	1.451	6.01
(0,0)	1.039	13.09
(1,-1)	2.932	28.02
(1,-1)	0.668	6.81
(1,1)	1.236	2.82
(1,1)	0.768	8.50

La Tabla 9 muestra los resultados del análisis de varianza para la capacidad antioxidante del extracto por el método de Folin-Ciocalteu. Se puede observar que para este caso, el factor temperatura causa una mayor variabilidad en la variable de respuesta con un Estadístico $F = 1.85$, el cual es superior al de la densidad y al de la interacción temperatura x densidad. Por otro lado, se observa que ninguno de los factores tiene un efecto significativo sobre la capacidad antioxidante, a niveles de significancia inferiores a 22%.

Tabla 9. Tabla ANOVA para la prueba de Folin-Ciocalteu.

Factores	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Estadístico F	P-Value
ρ	86.79	1	86.79	1.59	0.253
T	101.03	1	101.03	1.86	0.222
$\rho \times T$	53.41	1	53.41	0.98	0.360
Error	326.55	6	54.42		
Total	567.78	7			

Estos resultados concuerdan con los obtenidos anteriormente para el método de DPPH, en donde se obtuvo un efecto poco significativo de los factores sobre el EC_{50} . Se puede concluir que aunque la prueba de DPPH y la de Folin-Ciocalteu son dos métodos diferentes, ambos miden la capacidad antioxidante del extracto, por lo que se esperarían resultados similares al momento de evaluar estadísticamente la influencia de los factores sobre la variable de respuesta.

4.4 CINÉTICA DE EXTRACCIÓN

La Figura 7 muestra la cinética de extracción supercrítica de cáscaras de chontaduro. Estos resultados corresponden a una corrida exhaustiva que se realizó al finalizar las 8 corridas del diseño experimental. Las condiciones de operación utilizadas en la corrida exhaustiva corresponden a 35 °C y 0.9 g/cm³. Se puede observar que después de 150 minutos de extracción la tendencia de la curva se hace plana, lo cual permite concluir que después de este tiempo no es conveniente seguir con el proceso de extracción debido al gasto energético y de CO₂. Esto es de suma importancia a la hora de hacer el escalado, ya que el tiempo de

extracción es independiente de la cantidad de material vegetal cargado mientras se siga manejando la misma relación solvente/alimento.

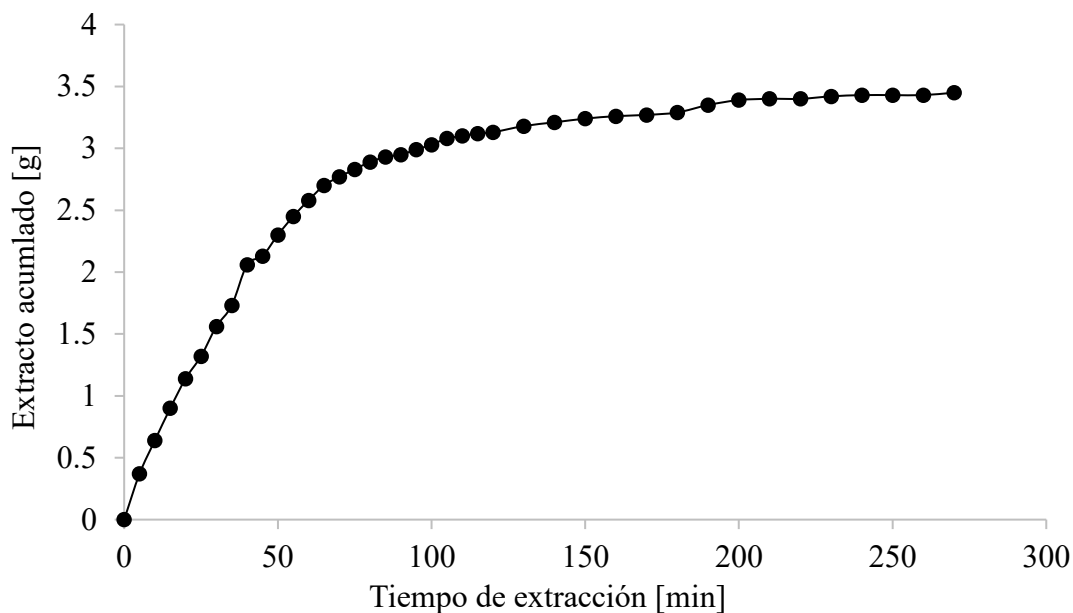


Figura 7. Cinética de extracción supercrítica de cáscaras de chontaduro.

La Figura 8 muestra el rendimiento de extracción normalizado vs el tiempo de extracción. Se puede observar que para el minuto 110 de operación el rendimiento de extracción normalizado corresponde al 90% del proceso, siendo este valor el 7.01% de rendimiento de extracto obtenido hasta ese minuto de operación a las condiciones de la corrida exhaustiva.

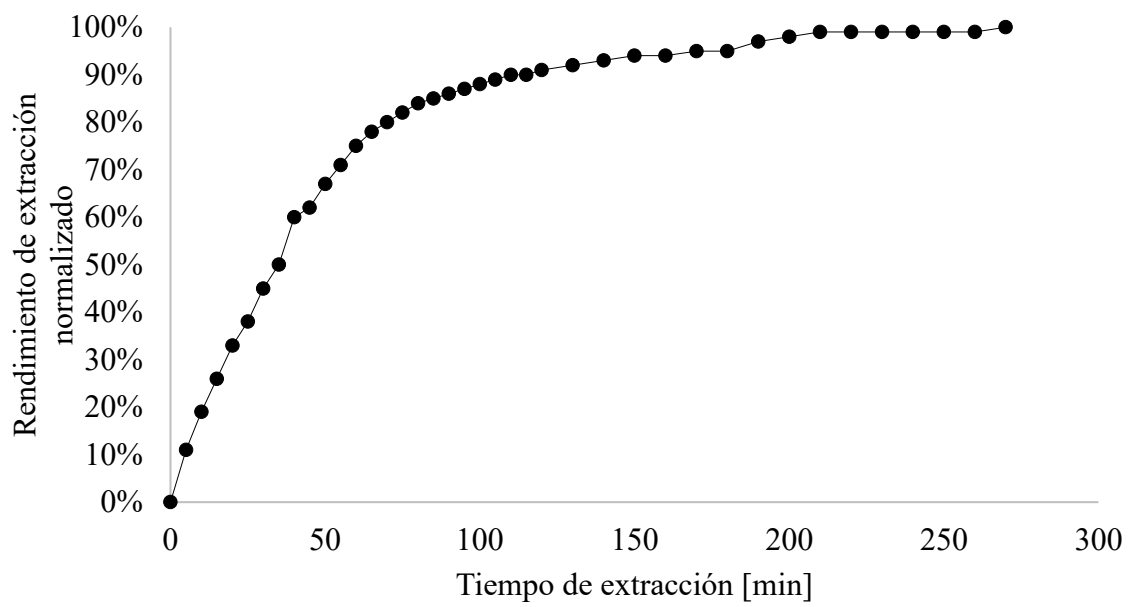


Figura 8. Rendimiento de extracción normalizado con respecto al tiempo de operación.

5. ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD ECONÓMICA

5.1 DISEÑO DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN SUPERCRÍTICA

Se realizó un diseño preliminar para el proceso de producción de antioxidantes a partir de cáscaras de chontaduro usando CO₂ supercrítico y se determinó la rentabilidad del proceso por medio de un análisis de prefactibilidad económica.

Para realizar dicho análisis, se tomaron en cuenta los siguientes aspectos y suposiciones durante el escalado del proceso:

1. La relación solvente/alimento se debe mantener igual al descrito en la corrida experimental exhaustiva (0.0323 min⁻¹).
2. El tiempo de extracción se fijó en 110 min teniendo en cuenta la cinética de extracción presentada en la Figura 7, donde para este tiempo se obtiene el 90% de rendimiento máximo posible por medio de la extracción con CO₂ supercrítico.
3. La cantidad de cáscaras de chontaduro a tratar serán 100 toneladas/año, lo que corresponde al 20% de residuos totales de cáscaras de chontaduro en el departamento del Valle del Cauca.
4. Se asignaron 24 días al año para el mantenimiento de los equipos.

La Tabla 10 presenta los parámetros y condiciones de operación utilizados para escalar el proceso de extracción, considerando las suposiciones descritas y los resultados experimentales.

Tabla 10. Parámetros y condiciones de operación para escalar el proceso de extracción.

Cantidad de materia prima a tratar	294.12 kg/día
Humedad inicial de las cáscaras (base húmeda) ^a	0.56
Humedad después del proceso de secado en horno (base húmeda) ^a	0.07
Densidad de empaque de las cáscaras molidas ^b	0.65 kg/L
Densidad aparente de las cáscaras molidas ^b	0.32 kg/L
Diámetro de partícula promedio de cascaras molidas	0.89 mm
Fracción hueca de las cáscaras molidas ^c	0.51
Factor de forma para las cáscaras molidas ^c	1
Tiempo de extracción	110 min/extracción
Alimento al extractor	9.27 kg/extracción
Flujo másico requerido de CO ₂	17.96 kg
Rendimiento de extracción	7.68%
Número de extracciones por día operativo	13
Número de horas por día operativo	23.83
Número de días por año laboral	340
Presión atmosférica ^d	13.0 psia
Temperatura ambiente ^d	25.0 °C
Presión de extracción	3600 psig
Temperatura de extracción	35

^a Valor estimado con muestras de 10 g puestas a secar en un horno convectivo a 40°C por 1 día.

^b Valor estimado con ayuda de una jeringa comercial de 10 mL.

^c Calculados a partir de la densidad de empaque y porosidad de las muestras.

^d Datos atmosféricos promedio de la ciudad de Cali.

Para el diseño del proceso se utilizó un simulador de extracciones supercríticas en el software de Excel, donde implementa herramientas de programación como Visual Basic. El simulador fue desarrollado por el ingeniero químico Juan Camilo de la Cruz, el cual con

su consentimiento fue utilizado para esta etapa de evaluación financiera (De la Cruz, J. C., Salazar, L. M., 2023). Dicho software permite calcular los costos energéticos necesarios para el proceso de extracción y el dimensionamiento de equipos de bombeo, tanques de almacenamiento e intercambiadores de calor.

La propuesta de diseño para el proceso de extracción supercrítica se divide en tres zonas específicas: La zona 100 se enfoca en la preparación inicial de las cáscaras de chontaduro, que incluye su limpieza, reducción de tamaño y acondicionamiento previo a la extracción. En la zona 200, se realiza la extracción propiamente dicha, donde las cáscaras pretratadas son cargadas al extractor y se obtienen los compuestos bioactivos mediante la extracción supercrítica con CO₂. Finalmente, la zona 300 se destina al almacenamiento seguro de los extractos y a la integración de los servicios industriales necesarios, tales como la generación de energía y el control de las condiciones operativas del proceso.

5.1.1 Descripción de la zona 100.

Las Figuras 9 y 10 presentan los diagramas de flujo y bloques para la zona 100. En esta zona, las cáscaras de chontaduro se colocan en el tanque (TK-102), donde se realiza el lavado. Luego, las cáscaras se trasladan a un tanque aislado (TK-103A/B) que contiene nitrógeno líquido y se procesan en un molino criogénico (CR-102). El material particulado se seca en un horno por convección (EQ-101) a una temperatura de 40 °C durante 24 horas, donde finalmente las cáscaras secas se tamizan (EQ-102) y se almacenan en un tanque de fondo cónico (TK-104).

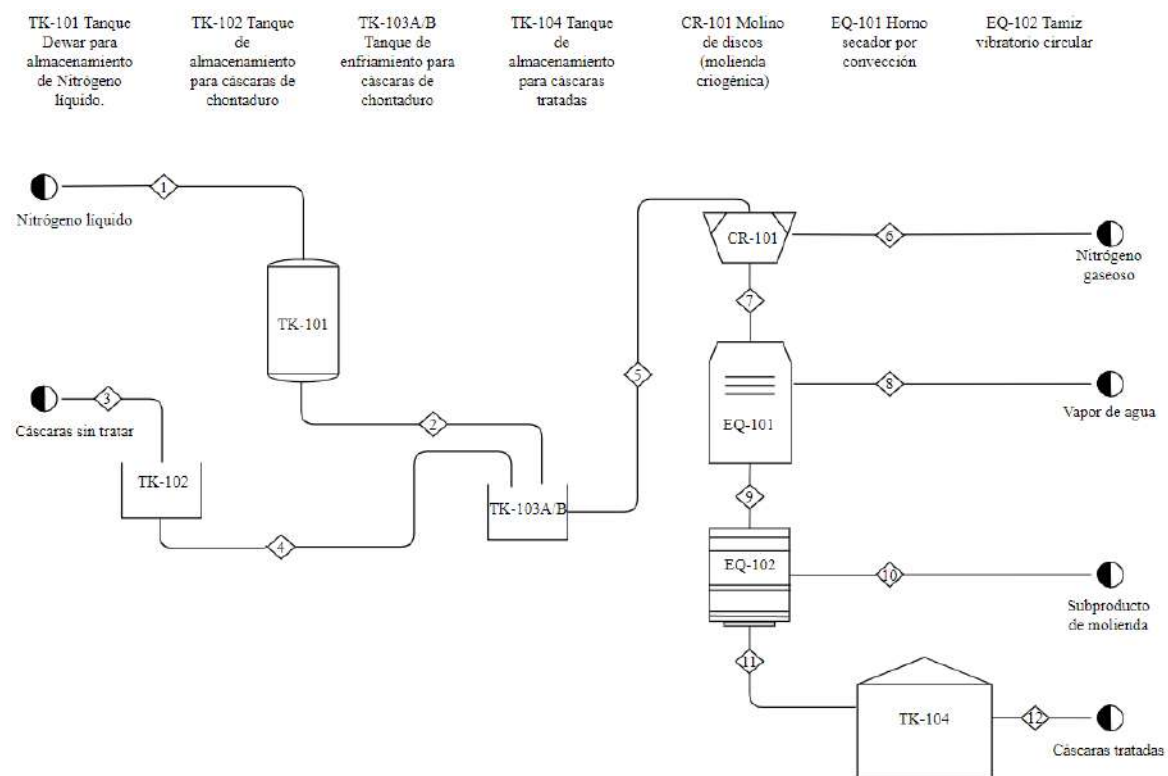


Figura 9. Diagrama de flujo de la zona 100

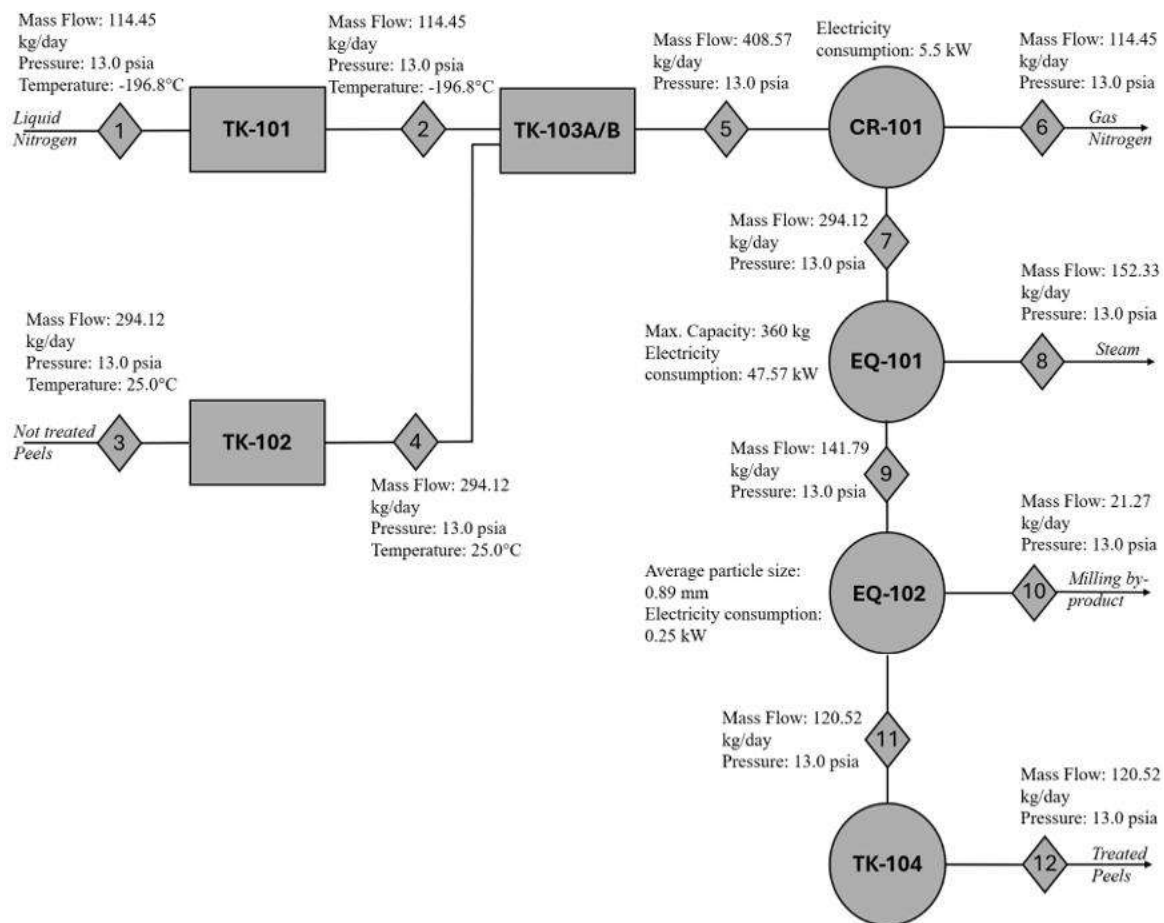


Figura 10. Diagrama de bloques de la zona 100

La Tabla 11 muestra los flujos másicos de todas las corrientes presentes en la zona 100.

Tabla 11. Flujos másicos por componente para la zona 100.

#Corriente	1	2	3	4	5	6	7	8
Componente	Flujo másico (kg/día)							
Nitrógeno (N ₂)	114.45	114.45	-----	-----	114.45	114.45	-----	-----
Agua	-----	-----	163.21	163.21	163.21	-----	163.21	152.33
Cáscaras	-----	-----	130.91	130.91	130.91	-----	130.91	-----
Total	114.45	114.45	294.12	294.12	408.57	114.45	294.12	152.33

Tabla 11. Continuación.

#Corriente	9	10	11	12
Componente				
Nitrógeno (N ₂)	-----	-----	-----	-----
Agua	10.87	1.63	19.24	9.24
Cáscaras	130.91	19.637	111.28	111.28
Total	141.79	21.27	120.52	120.52

5.1.2 Descripción de la zona 200.

Las Figuras 11 y 12 presentan los diagramas de flujo y bloques para la zona 200. Esta zona es la encargada del proceso principal de extracción; la materia prima tratada proveniente de la zona 100 se carga al extractor de alta presión (V-202A/B) y se calienta hasta la temperatura de operación. Por otro lado, el CO₂ que se encuentra a temperatura ambiente, se enfría por medio de un intercambiador de doble tubo (E-203) y se lleva a un reservorio (V-201); luego

se presuriza usando una bomba recíprocante de desplazamiento positivo (P-201) y se hace pasar a través del extractor donde está cargado el material sólido. A la salida del extractor, el CO₂ junto con los componentes extraíbles se expande mediante una válvula de estrangulamiento. El CO₂ liberado se recircula nuevamente al reservorio para iniciar nuevamente el proceso de extracción, mientras los compuestos extraíbles se depositan en el tanque de almacenamiento de producto (V-203A/B).

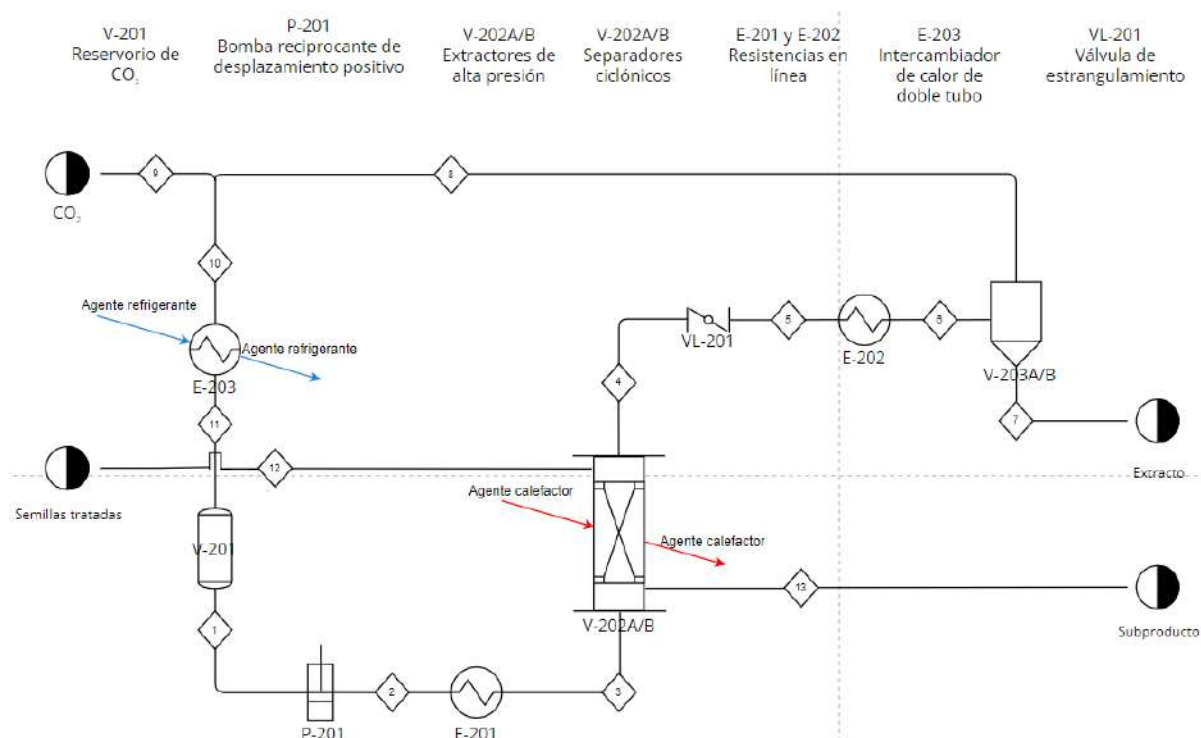


Figura 11. Diagrama de flujo de la zona 200

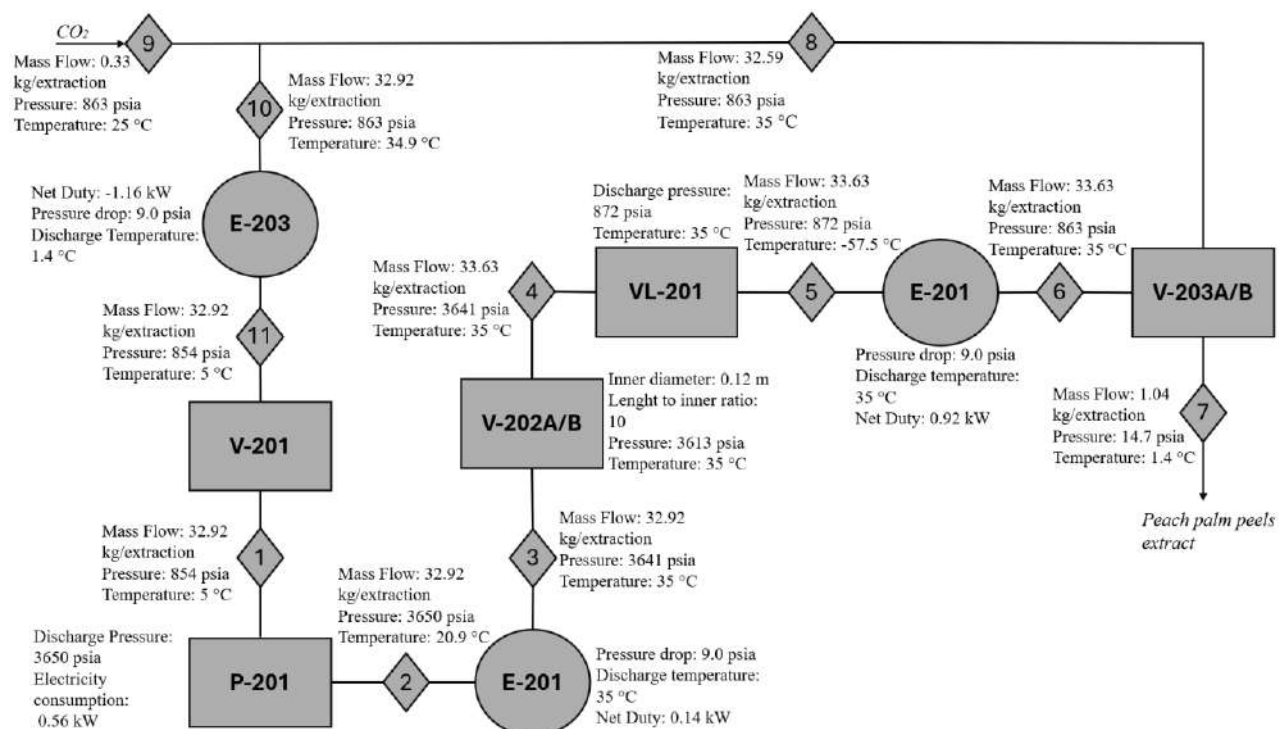


Figura 12. Diagrama de bloques de la zona 200

La Tabla 12 muestra los flujos másicos de todas las corrientes presentes en la zona 200.

Tabla 12. Flujos másicos por componente para la zona 200.

#Corriente	1	2	3	4	5	6	7	8
Componente	Flujo másico (kg/extracción)							
Dióxido de carbono (CO ₂)	32.92	32.92	32.92	32.92	32.92	32.92	0.33	32.59
Materia orgánica insoluble	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Compuestos extraíbles	-----	-----	-----	0.71	0.71	0.71	0.71	-----
Total	32.92	32.92	32.92	33.63	33.63	33.63	1.04	32.59

Tabla 12. (continuación).

#Corriente Componente	9	10	11	12	13
Flujo másico (kg/extracción)					
Dióxido de carbono (CO ₂)	0.33	32.92	32.92	-----	-----
Materia orgánica insoluble	-----	-----	-----	7.77	7.77
Compuestos extraíbles	-----	-----	-----	0.79	0.08
Total	0.33	32.92	32.92	8.56	7.85

5.1.2 Descripción de la zona 300.

Las Figuras 13 y 14 presentan los diagramas de flujo y bloques para la zona 300. En esta zona, se reacondicionan las soluciones de agua-etilenglicol 50%v/v las cuales se utilizan como fluidos de calentamiento y refrigeración durante la extracción. Primero se dirigen a tanques con aislamiento térmico, luego, cada agente se transfiere de forma independiente a un intercambiador de calor, donde se incrementa o disminuye su temperatura según corresponda. Finalmente, se utiliza una bomba centrífuga para ajustar la presión y compensar las pérdidas causadas por fricción.

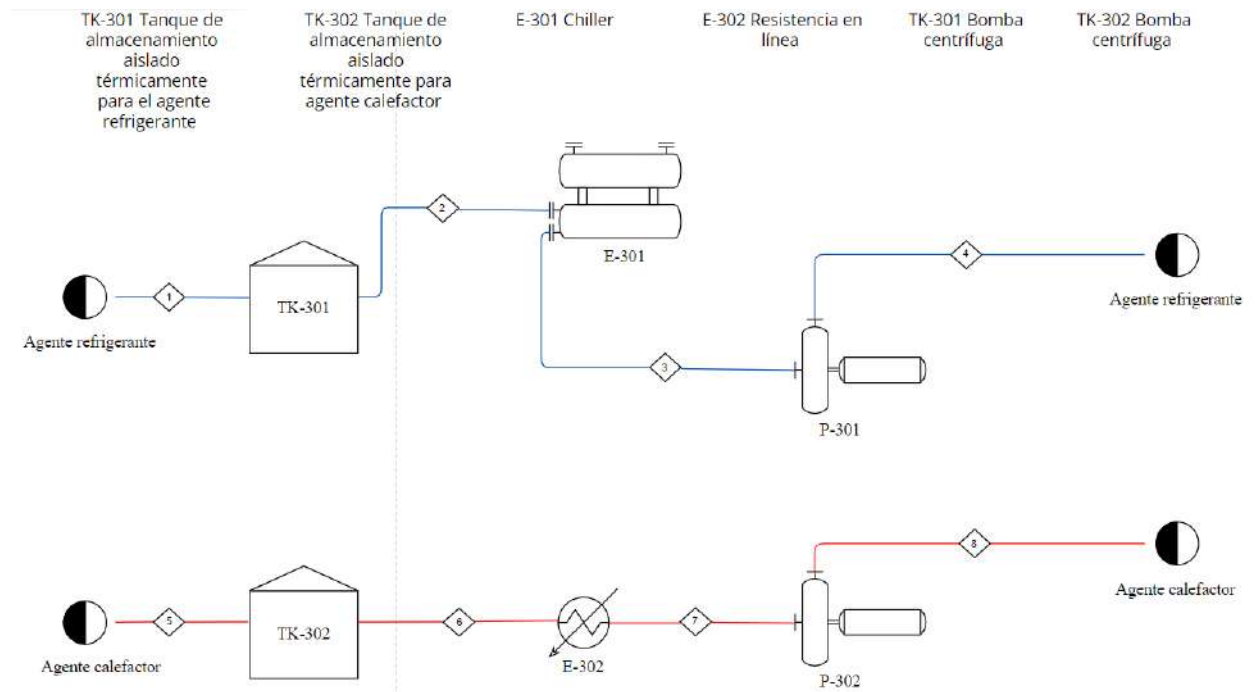


Figura 13. Diagrama de flujo de la zona 300.

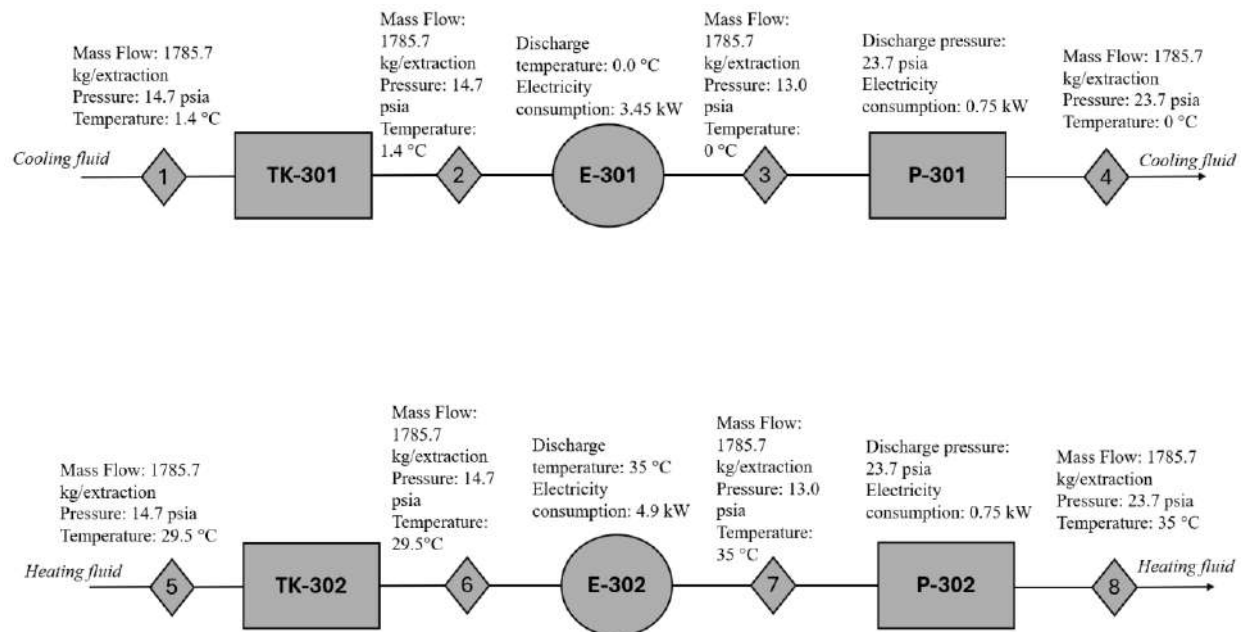


Figura 14. Diagrama de bloques de la zona 300.

La Tabla 13 muestra los flujos máxicos de todas las corrientes presentes en la zona 300.

Tabla 13. Flujos máxicos por componente para la zona 300.

#Corriente Componente	1	2	3	4	5	6	7	8
Flujo máxico (kg/extracción)								
Agua	845.4	845.4	845.4	845.4	845.4	845.4	845.4	845.4
Etilenglicol	940.3	940.3	940.3	940.3	940.3	940.3	940.3	940.3
Total	1785.7	1785.7	1785.7	1785.7	1785.7	1785.7	1785.7	1785.7

5.2 DIMENSIONAMIENTO Y COTIZACIÓN DE LOS EQUIPOS

El dimensionamiento y la estimación preliminar de los equipos se realizaron basándose en los resultados obtenidos de la simulación del proceso completo en el archivo de Excel. Se fijó un valor del 19% sobre el precio total del producto a importar (Costo por unidad de producto + gastos de envío) como pago de IVA por aranceles en Aduanas. El costo final total, que incluye IVA, gastos de envío y costo de equipo; fue ajustado con un factor de 1.1 para cubrir posibles variaciones del mercado. Finalmente, se utilizó un valor de tasa representativa de mercado promedio de 4300 COP/USD. Todas las cotizaciones formales disponibles se encuentran recopiladas en la sección A del apéndice.

El costo de toda la instrumentalización, el cual incluye las tres resistencias en línea: E-201, E-202 y E-302, así como la bomba neumática de alta presión P-201 y mecanizado de los equipos, se establecieron con base en lo enunciado por Iglesias (2012). Que corresponde a un valor de 55320 USD, ajustado por inflación.

La Tabla 14 muestra las especificaciones de los equipos de la zona 100 junto con el precio final después de incluir el factor de costo. Para el dimensionamiento de los equipos, se utilizaron parámetros de densidad y flujo. Sin embargo, para el equipo TK-103A/B, se sobredimensionó la capacidad del tanque debido a que se no se conoce la densidad de una mezcla de nitrógeno líquido en contacto con las cáscaras de chontaduro sin tratar.

Tabla 14. Especificaciones y costos de los equipos de la zona 100.

Equipo	Especificaciones	Costo final (USD)	Proveedor
TK-101	• Tanque Dewar para almacenamiento de nitrógeno líquido • Capacidad nominal de 330 L • Volumen efectivo 300 L • Presión de diseño: 0.1 MPa	3023	Jinan Gee Victory Machinery equipment Co. LTD.
TK-102	• Tanque de polietileno • Capacidad nominal de 1000 L	177	Rotoplast S.A.S.
TK-103A/B	• Tanque de acero inoxidable 304 • Capacidad nominal de 5L	346	AS ONE corporation.
TK-104	• Tanques de fondo cónico de acero inoxidable 304 • Capacidad nominal de 200L y 50 L • Capacidad nominal total de 250 L	851	Wenzhou Kosun Fluid Equipment Co. Ltd.
CR-101	• Molino en acero inoxidable SS304 • Potencia de motor de 5.5 kW	2748	Xinxiang Chenwei Machinery Co., Ltd.

Tabla 14. (Continuación).

Equipo	Especificaciones	Costo final (USD)	Proveedor
EQ-101	- Horno secador en acero inoxidable SS304 (interior) y SS201 (Exterior) - Intervalo de temperatura de operación: T_{ambiente} hasta 120°C - Consumo eléctrico total 47.57 kW	18378	Xinxiang Dongzheng Machinery Co., Ltd.
EQ-102	- Tamiz rotatorio circular de 600 mm en acero inoxidable SS304 - Número de mallas: Tamices No. 16, 30 y 35. - Potencia eléctrica: 0.25 kW	2217	Xinxiang Gaofu Machinery Co., Ltd.

La Tabla 15 muestra las especificaciones de los equipos de la zona 200 junto con el precio final después de incluir el factor de costo. El dimensionamiento de los equipos de la zona 200 se realizó teniendo en cuenta el método de diseño de recipientes a presión monobloque para una máxima presión de operación de 48.3 MPa. (Cabezas, 2018)

El diseño preliminar de las secciones que conforman los separadores ciclónicos se realizó siguiendo el planteamiento para un separador ciclónico de alta eficiencia, con una velocidad media de alimentación de 2 m/s y un valor de 4 para la relación del diámetro del cilindro entre el diámetro del orificio de alimentación. Las cotizaciones se realizaron con el costo de las barras de acero inoxidable 316 de diámetro y longitud externa igual a la de cada equipo (Cabezas, 2018). Se cotizó un intercambiador de calor de doble tubo de acero 316, con una capacidad de intercambio de 10500W, superior a los 6055W de calor removido en el proceso.

Tabla 15. Especificaciones y costos de los equipos de la zona 200

Equipo	Especificaciones	Costo (USD)	Proveedor
V-201	• Recipiente a presión en acero 316. • Diámetro y largo interno de 122mm y 1220mm respectivamente. • Espesor radial y axial de 61 mm y 45.57 mm respectivamente	7571	Jiangsu Pumao Steel Co. Ltd.
V-202A/B	• Recipiente a presión en acero 316. • Diámetro y largo interno de 122mm y 1220mm respectivamente. • Espesor radial y axial de 61 mm y 45.57 mm respectivamente	9991	Jiangsu Pumao Steel Co. Ltd.
V-203A/B	• Recipiente a presión en acero 316. • Diámetro interno y externo de zona cilíndrica de 46.70 y 93.42 mm respectivamente. • Largo interno y externo (sin incluir holding) de 467.05 y 502.02 mm respectivamente.	3073	Jiangsu Pumao Steel Co. Ltd.
E-203	• Intercambiador de calor de doble tubo • Capacidad de intercambio de calor de 10500 W	254	Zhejiang Aoxing Refrigeration Equipment Co. Ltd.
P-201	• Bomba reciprocante de desplazamiento positivo • Potencia requerida de 0.59 kW	20745	-

La Tabla 16 muestra las especificaciones de los equipos de la zona 300, así como el costo total de los mismos. El chiller, bombas y tanques que conforman la zona 300, se diseñaron teniendo en cuenta los requerimientos energéticos y caída de presión de cada equipo. Se estableció un valor de 9.0 psia de caída de presión para cada intercambiador de calor siguiendo la heurística 31 presentada en el libro de diseño de procesos de Seider et al. (2017). La potencia energética que entrega la resistencia en línea se calculó como la energía total que se requiere para calentar los extractores de 25 a 35 °C en 15 minutos.

Tabla 16. Especificaciones y costos de los equipos de la zona 300

Equipo	Especificaciones	Costo (USD)	Proveedor
TK-301	• Tanque de acero inoxidable • Capacidad de operación de 150 L	1426	Gaoyou Yuhang Chemical Machinery Factory
TK-302	• Tanque de acero inoxidable • Capacidad de operación de 150 L	1426	Gaoyou Yuhang Chemical Machinery Factory
E-301	• Chiller de enfriado por aire • Capacidad de enfriamiento 6.8 kw • Set point de temperatura 0°C • Flujo de operación de 1.3 m³/h • Potencia de consumo 3.45 kw	2552	Jinan Mgreenbelt Machinery Co., Ltd.
P-301	• Bomba centrífuga • Capacidad de 3.6 m³/h • Cabeza de 16 m • Potencia de consumo de 0.75 kW	288	Shandong Zhongrong Fuxing Group Co. Ltd.
P-302	• Bomba centrífuga • Capacidad de 3.6 m³/h • Cabeza de 16 m • Potencia de consumo de 0.75 kW	288	Shandong Zhongrong Fuxing Group Co. Ltd.

5.3 EVALUACIÓN FINANCIERA

La evaluación financiera se realizó siguiendo las siguientes suposiciones:

1. El periodo de evaluación del proyecto se fija a 10 años.
2. Se plantea el montaje de la planta en el municipio de Santiago de Cali.
3. El 60% de la inversión inicial se financiará a través de un préstamo con una entidad bancaria, el cual tiene una tasa de interés del 25% efectivo anual vencido y un plazo de pago igual al de la evaluación del proyecto. El restante 40% provendrá de los recursos de los inversionistas, con una tasa de interés de oportunidad del 25%.
4. Se asume una depreciación lineal a lo largo del periodo de evaluación.
5. Para el primer año, se planea alcanzar una producción del 50% de la capacidad total.
6. Se destinan 30 días de inventario, 30 días de cartera y 20 días de débito con los proveedores.
7. Por cada turno operativo (8 horas), se destina un total de dos operarios de la zona 100, uno de la zona 200, un operario de la zona 300 y un supervisor de la planta; para una jornada diaria se destina a un solo ingeniero de procesos.
8. Se establece un aumento anual en el costo de manufactura y en el precio de venta equivalente al valor de la media geométrica del IPC de los últimos 5 años, lo que corresponde a un 5.7180% efectivo anual vencido (DANE, 2023).
9. El costo de la cáscara de chontaduro se establece como el valor reportado en la página de Finagro, el cual consiste en el marco de referencia agroeconómica (MRA) para los cultivos de chontaduro rojo y amarillo en el departamento del Putumayo. En él, el precio de venta para la producción de 3^{ra} calidad es de 350 COP/kg (0.08 USD/kg) (Finagro, 2022), el cual, ajustado a la inflación, el valor final de compra es de 0.10 USD/kg de materia prima. Por otro lado, los precios

del nitrógeno líquido y del CO₂ se fija en los valores reportados por Iglesias (2012) ajustados a la inflación, es decir, de 2.07 USD/L y 1.52 USD/kg respectivamente.

10. El precio de la electricidad se establece en 0.213 USD/kW-h (Corficolombiana, 2024).
11. Los costos administrativos se calculan mediante la suma del 17.7% del costo de mano de obra (C_{OL}) y el 0.9% del costo de la inversión fija de capital (FCI), el costo del terreno se estima como el 20% del costo total de los equipos sin instalar. Por otro lado, la inversión en capital de trabajo equivale al 20% de la inversión fija de capital, excluyendo el costo del terreno. Finalmente, el costo anual de mantenimiento se establece como el 6% del valor de la inversión fija de capital (Turton et al., 2018).

De acuerdo con las suposiciones previamente establecidas, se calcula un costo promedio ponderado de capital (WACC, por sus siglas en inglés) del 19.75 %. El costo total de los equipos, incluyendo la instalación, es de 102,291 USD. Donde, la inversión fija de capital y la inversión total de capital se estimaron en 178,069 USD y 209,591 USD respectivamente.

En cuanto a la mano de obra, asumiendo un salario base de 1'500,000 COP/mes para operarios, 2'200,000 COP/mes para supervisores y 3'500,000 COP/mes para un ingeniero, donde para cada empleado se le multiplicó el salario base por un factor de costo de 1.52, donde se incluye el pago de aportes adicionales como auxilio de transporte, salud, pensión, ARL, prima, cesantías, intereses de cesantías, caja de compensación, ICBF, SENA, vacaciones y dotación (3% mensual). Esto lleva a un costo total anual estimado de 148,889 USD.

El costo de manufactura (COM) del extracto antioxidante obtenido de las cáscaras de chontaduro se estimó como 121 USD/kg. De este valor, el 29.4 % es la contribución del costo por materia prima (C_{RM}), el cual incluye el costo de las cáscaras chontaduro, el nitrógeno líquido y el dióxido de carbono. El 29.7 % se destina a los costos de los servicios industriales (C_{UT}), mientras que el 31.3 % corresponde a los costos de mano de obra (C_{OL}). Por otro lado, el 8.8 % corresponde a los gastos administrativos y de mantenimiento, y el 0.8 % restante a depreciación.

Considerando que el precio de venta estimado de un extracto diluido de origen natural es de 180 USD/L (Herbal Terra LLC, 2024), se tiene en cuenta que la densidad de empaque de las cáscaras de chontaduro tratadas en este trabajo de grado es de 0.65 kg/L, si se realiza una conversión desde la base de cálculo volumétrica a másica sobre el costo del extracto previamente mencionado, se puede estimar un valor de 277 USD/kg de extracto diluido. Se analizaron cuatro escenarios con márgenes brutos entre el 25% y 55 %, de tal manera que se incremente el precio de venta entre 161 y 268 USD/kg. Para cada escenario, se realizó el flujo de caja descontado del proyecto y se calcularon indicadores clave como la Tasa Interna de Retorno (TIR), el Periodo de Recuperación de la Inversión (PBP) y el Índice de Rentabilidad (PI). Los resultados de estos análisis se presentan en las Figuras 15 y 16.

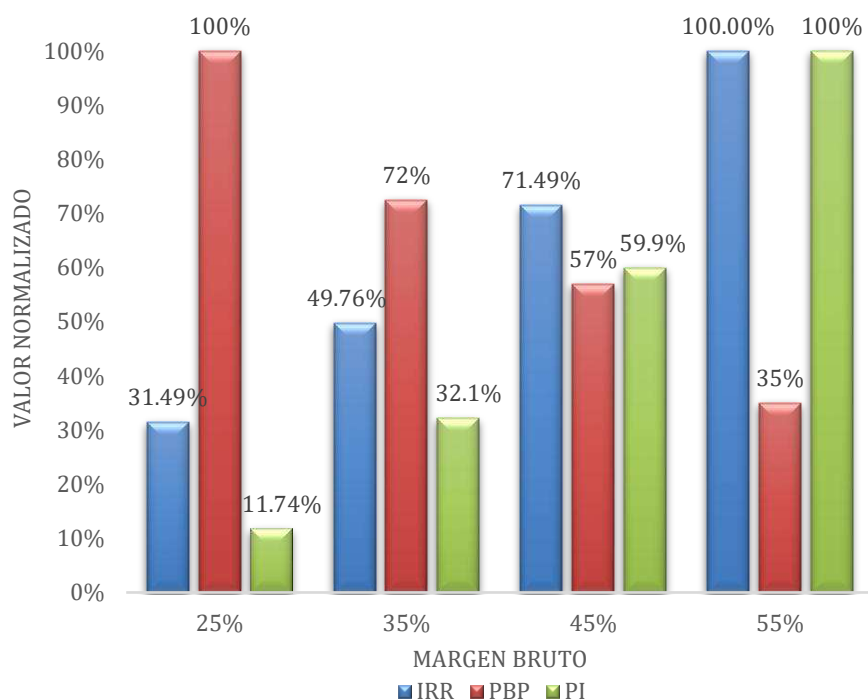


Figura 15. Valores de TIR, PBP y PI para cada escenario. Los índices fueron normalizados usando el valor más alto para cada caso, es decir, 105.176%, 6.9 años y 5.68 para la TIR, PBP e índice de rentabilidad respectivamente

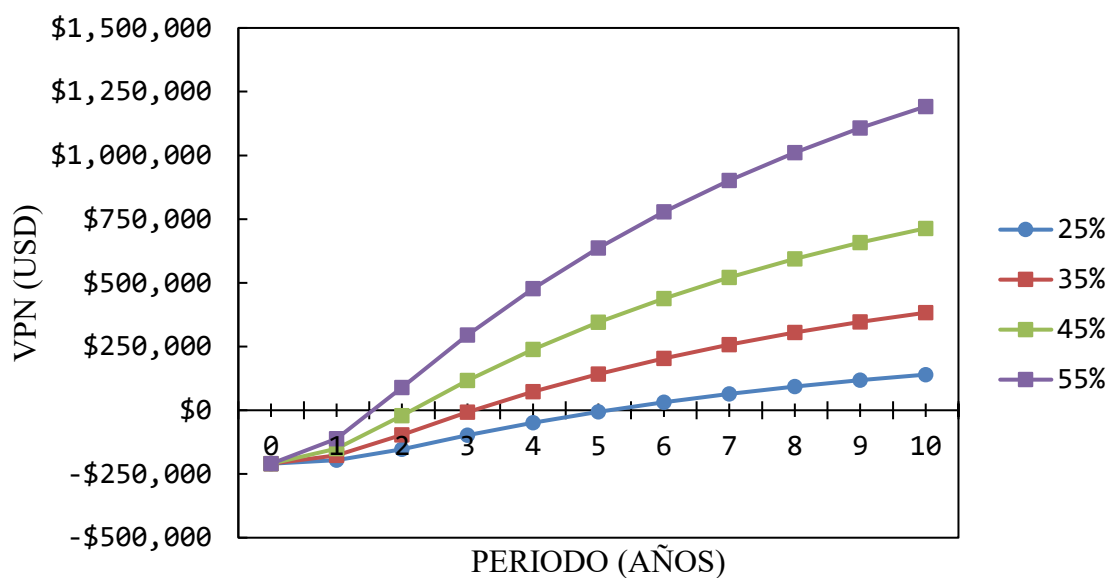


Figura 16. Diagrama de flujo de caja descontado.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

La evidencia muestra que la degradación térmica de compuestos bioactivos suele ocurrir bajo tiempos largos de exposición a temperaturas superiores a 60 °C, lo que corrobora los resultados obtenidos en el análisis de varianza, donde la temperatura no tuvo efecto significativo en ninguno de las variables evaluadas, esto debido a que el rango estudiado estuvo por debajo de los 60 °C (Volf et al., 2014). Por otro lado, la densidad afecta directamente el poder de solvatación, es decir que un solvente más denso disuelve mayor cantidad de los compuestos presentes en la matriz sólida. Se puede decir que esta afirmación va acorde con los resultados experimentales obtenidos para la variable rendimiento en el ANOVA, el cual muestra un impacto estadísticamente significativo del factor densidad en el porcentaje de rendimiento de extracción.

Para las condiciones del tratamiento (-1,1) descritas en el diseño experimental, los resultados obtenidos mediante la prueba de Folin-Ciocalteu indican valores de 19.65 y 16.22 mg de ácido gálico equivalentes/L para las réplicas 1 y 2 respectivamente. Promediando dichos valores, se estima una concentración de contenido total de fenoles de 17.94 mg de ácido gálico equivalentes/L, que en comparación a los estudios realizados por Martinez et al. (2017), el error relativo obtenido es de 22.02%. Esta desviación puede atribuirse a la desnaturalización de los antioxidantes durante la extracción por degradación térmica. Además, al analizar la gráfica de rendimiento normalizado vs tiempo de extracción, se observa que a los 110 minutos de operación se obtiene el 90% de extracto disponible, siendo esta diferencia del 10% restante otra posible fuente de error.

Por último, según la evaluación financiera, se tiene que el proyecto es rentable, considerando que con un margen de utilidad bruto del 25%, el periodo de retorno de inversión es de 5 años, lo cual es un tiempo aceptable en los proyectos de diferentes industrias. Además, la búsqueda en diferentes mercados muestra que los extractos obtenidos

a partir del fruto de chontaduro son poco explorados, lo que lo hace un proyecto atractivo teniendo en cuenta la poca competencia con este producto en particular.

6.2 RECOMENDACIONES

Para este estudio se recomienda ampliar el rango de temperatura, esto con el fin de determinar el impacto de temperaturas más altas y poder correlacionarlo con la degradación térmica expuesta en la literatura. Además, es recomendable realizar un diseño experimental variando tiempos de almacenamiento, es decir, llevar a cabo las pruebas de capacidad antioxidante con extractos almacenados por tiempos cortos y prolongados, con el fin de determinar qué tan influyente resulta una posible degradación por acción enzimática.

APÉNDICES

A. COTIZACIONES

A.1 Cotización del tanque Dewar TK-101.

Jinan Gee Victory Machinery Equipment Co., Ltd.



Contact:ETHAN WhatsApp:+86 18405310563

Email: judy@geevictory.com

TO: Universidad del Valle

Contact person: JUANDAVID RIVERAANTOLINEZ

DATE :2024.11.07

Address:Colombia Buenaventura

P/I NO.:GVC020241107

Email: juan.antolinez@correounivalle.edu.co

Shipping Terms: CIF

Self-pressurized liquid nitrogen dewar tank quotation	
Product model	YDZ-300
Geometric volume(L)	330L
Effective volume(L)	300L
Diameter (mm)	806mm
Height (mm)	1500mm
Empty weight (kg)	150kg
Full weight(kg)	369kg
Work pressure (Mpa)	0.1Mpa
Daily steaming rate(%)	1.1%
Infusion volume (L/Min)	≥ 10L/Min
Packing	Wooden box
Packaging size	930*930*1750mm
Other configurations	Including ordinary insulation hose and buoyancy level gauge
Product picture	
Price	USD 2310

Remark:

1. The quotation is valid until November 30, 2024
2. The production date takes about 20-25 working days
3. The price is CIF price, excluding port of destination fees, customs clearance fees, tariffs and warehouse fees, and the foreign payment handling fee is borne by the customer.

A.2. Cotización del horno secador EQ-101.

Xinxiang Dongzhen Machinery Co., Ltd

Xinxiang Dongzhen Machinery Co., Ltd

NO.6 Dongzhen Rd. Development Zone Xinxiang City

Tel: +86-373-3511260 Fax: +86-373-3511601

info1@dzsieve.com WhatsApp:+8617839836587

QUOTATION

No. DZE2024111802

Date: 2024-11-18

For the attention of Juan David:

Valid: 2024-12-08

Description	Unit price (USD)	Freight and insurance (USD)	CIF Price Buenaventura port (USD)
DZ-C-III Hot air oven	13500	540	14040

Technical data for DZ-C-III Hot air oven	
Equipment type	DZ-C-III
Model	Six cars with three doors
Electric heating power	45kw
Number of baking pans	144
Pan size	640*460*45mm
Theoretical charge	360kg
Supply voltage	380V/50HZ or 220V/50Hz three four-wire or three five-wire means one neutral wire, one ground wire and three live wires
Internal dimension	2520*1900*1450mm
External dimension	3270*2250*2100mm
Circulating fan power	0.55kw*4
Exhaust fan power	0.37kw
Number of dryer layers	12
Dryer layer spacing	100mm
Thermal insulation cotton	Glass fiber rock wool
Insulation thickness	80mm
Equipment material	Interior 304 stainless steel, exterior 201 stainless steel
Material thickness	Interior 1.0mm, exterior 1.2mm
Skeleton frame	Angle steel, rectangular steel
Conventional service temperature	Room temperature to 120 degrees Celsius

Remark:

- 1.Delivery time: Within 20 working days after receiving the advance payment.
- 2.Payment: 50% TT in advance, the balanced 50% should be paid before machine leave our factory.
- 3.Validity: This quotation is valid for 20 days, after which we reserve the right to amend the price and delivery estimates if necessary.
- 4.Warranty: 12 months
We promise to replace main parts free of charge during warranty period(12 months)
All the items should be send to clients, free of any charge if it is spoiled during warranty period(12 months).
Note:Consumption parts are not included.
Man-made damage is not warranted.
- 5.After sale service: Life time consultation
24 hours online service
Installation instruction with pictures
English version manual
Video instructions
- 6.The motor should be copper wired.
7. Certificate of origin: free of charge
- 8.This price bases on CIF, if you need DDP price, please kindly inform your destination address.
- 9.Training and educating: this service is included in our after sale service,free of charge.
However,the engineers should pay himself for accommodations and other fees when they stay in China.

Yours faithfully,
Emily Duan

WE ARE PROFESSIONAL WITH 37 YEARS' EXPERIENCE

NO MATTER WHAT YOUR PROBLEM IS

NO MATTER HOW COMPLICATED

NO MATTER WHERE YOU ARE

PLEASE FEEL FREE TO CONTACT US !

Machine photos:



Packing



A.3. Cotización del tamiz EQ-102.



Quotation



XINXIANG GAOFU MACHINERY CO.,LTD

Address: NO.13 Langgongmiao,Xinxiang,Henan
 Tel: 86-0373-5702900
<http://www.gaofu.com>

Post code: 453700
 Fax: 86-373-5701999
 Email: Sophia@zhendongshai.com

Company name: Universidad del Valle						
To	JuanDavid RiveraAntolinez	From	Sophia Wu			
Email	juan.antolinez@correounivalle.edu.co	Email	sophia@zhendongshai.com			
Tel		Tel	0086 16637367079			
Cause	Quotation	Date	2024-11-16			
1、 Screening requirement						
1. Material: Milled peach palm peels. 2. Screen layer: 1 layer . 3. Screen mesh size: 16mesh,30mesh,35mesh .						
2、 Quotation of S49-600-1S Vibrating sieve						
No.	Name	Model	Material	Qty	Unit price (USD)	Total price (USD)
01	Vibrating sieve	S49-600-1S	SS304	1 Set	1358	1358
02	Sieve frame	S49-600	SS304	2 Pcs	138	276
03	Sea freight cost to Buenaventura					60
04	Total mount CFR Buenaventura price					1694
Quotation description: 01、 Material: The contacted parts in stainless steel SS304 and the base in carbon steel ; 02、 Diameter: 600 mm; 03、 Motor: vertical vibration motor, 220 V, 60HZ. 3Phase; 04、 Structure: one deck and two outlets, no cover including ; 05、 Screen mesh: 16mesh,30mesh,35mesh ; 06、 Coating: Strict requirement for machine process, no dead corner inside;						
3、 Spare parts						



Quotation

GAOFU 高服

XINXIANG GAOFU MACHINERY CO.,LTD

Address: NO.13 Langgongmiao,Xinxiang,Henan

Post code: 453700

Tel: 86-0373-5702900

Fax: 86-373-5701999

<http://www.gaofu.com>

Email: Sophia@zhendongshai.com

5、 Detailed technical parameters		
No.	Item	Parameter
01	Model	S49-600-1S
02	Machine material	The contacted parts in stainless steel SS304 and the base in carbon steel
03	Qty	1 Set
04	Layers	1
05	Screen area	0.23m ² ×1 Layer
06	Screen mesh	16mesh,30mesh,35mesh
07	Screen material	SS 304 stainless steel
08	Motor	vibration motor
09	Power	0.25KW
10	Protection	IP54
11	Amplitude	3-5mm
12	Power Factor	0.8-0.88
13	Ambient temperature	0--40°C
14	Duty	S1(Continuous)
15	Voltage	220V, 60Hz. 3Phase
16	Dimension	800*700*900mm
17	Weight	140kg
18	Produce time	15 days
19	Guarantee	12 Months
6、 Payment: 30%TT in advance , 70% balance paid before machine leaves our factory;		
7、 Certificate: Invoice, Packing list, CE and CO;		
8、 Quotation valid: 30 days;		
9、 Package: Plywood case;		
10、 After sale service: 24 hours online service, Installation instruction with pictures and English version manual.		



Quotation

GAOFU 高服

XINXIANG GAOFU MACHINERY CO.,LTD

Address: NO.13 Langgongmiao,Xinxiang,Henan

Post code: 453700

Tel: 86-0373-5702900

Fax: 86-373-5701999

<http://www.gaofu.com>

Email: Sophia@zhendongshai.com

1	Name	Model	Material	Qty	Remark
2	Rubber gasket	S49-600	Silicone	1 Pieces	Free

4、 Pictures of the S49-600-1S Vibrating screen



SUS 304, 1 deck screens, 2 outlets.



Inlet, sieve mesh and bouncing ball cleaning



Sieve frame



Rain-proof wooden case packing



Quotation

GAOFU 高服

XINXIANG GAOFU MACHINERY CO.,LTD

Address: NO.13 Langgongmiao,Xinxiang,Henan

Post code: 453700

Tel: 86-0373-5702900

Fax: 86-373-5701999

<http://www.gaofu.com>

Email: Sophia@zhendongshai.com

Product show



Company Display





Quotation

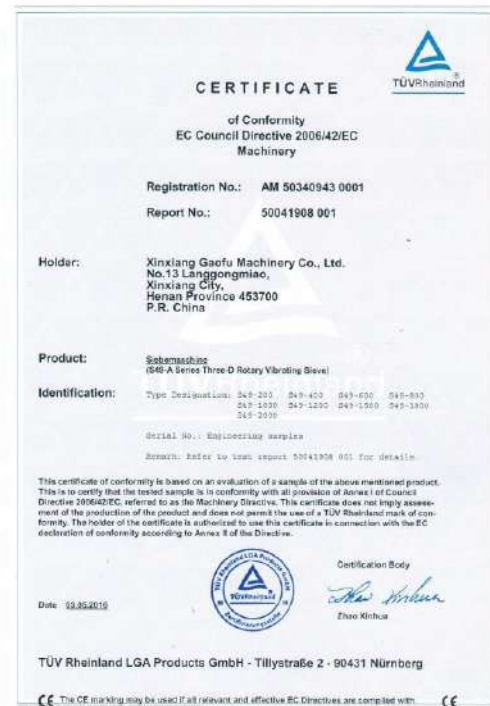
GAOFU 高服

XINXIANG GAOFU MACHINERY CO.,LTD

Address: NO.13 Langgongmiao,Xinxiang,Henan
Tel: 86-0373-5702900
http://www.gaofu.com

Post code: 453700
Fax: 86-373-5701999
Email: Sophia@zhendongshai.com

ISO & CE certificate



Thanks so much for your support! We will do our best to provide high quality products and service.
Please contact with me anytime, mobile No: 0086 16637367079.
Warm regards!

A.4 Cotización del molino CR-101

Xinxiang Chenwei Machinery Co., Ltd

NORTH SECTION OF ZHENZHONG RD. DEVELOPMENT ZONE XINXIANG CITY

Tel/Whatsapp: +86-15090053890

Fax: +86-373-3511601

Email: info4@xxcwjx.com

www.xxcwjx.com



QUOTATION

No.VBK2024091301

Date:2024-11-19

Description	Quantity	Unit price (USD)	Amount (USD)
CWRS-85 Colloidal Mill	1 set	2000	2000
China port charge and insurance			100
Total amount(CIF Buenaventura, Colombia)			2100

Technical Parameters	
Model	CWRS-85
Material processing fineness (um)	80-300
Motor power (kw)	5.5kw
voltage	220V,60hz,3 phase
Output (kg) (varies according to material)	100-150kg
Motor no-load speed r/min	2880
Dimensions (mm)	780*360*780
Hopper diameter/height	36/27
Feed port diameter (mm)	70
Body weight (kg)	120kg
Flow rate (kg)	1000kg
Remark	With cooling system
Machine material	All 304 stainless steel
Warranty	12 months (capacitance damage is not including in warranty)
After sale service	Life time

Remark

1. Delivery time: Within 20-25 working days after receiving the advance payment.

2. Payment: 50%TT in advance, the balanced 50% should be paid before machine leave our factory.

3. Validity: This quotation is valid for 30 days, after which we reserve the right to amend the price and delivery estimates if necessary.

4. Warranty: 12 months

We promise to replace main parts free of charge during warranty period(12 months)

All the items should be send to clients, free of any charge if it is spoiled during warranted period(12 months).

Note:Consumption parts are not included.

Man-made damage is not warranty.

5. After sale service: Life time consultation

24 hours online service

Installation instruction with pictures

English version manual

Video instructions

6. The motor should be copper wired.

7. Certificate of origin: free of charge

8.This price bases on

9.Training and educating: this service is included in our after sale service,free of charge.

However,the engineers should pay himself for accommodations and other fees when they stay in China.

Yours faithfully,
Karena Dong

Detail images



A.5. Cotización del enfriador E-301.



Jinan Mgreenbelt Machinery Co.,Ltd.

Hisense Chuangxin Valley, High-Tech District, Jinan City, Shandong Province, China

Quotation

No.:MGLA241114-D Date: 14-Nov-2024

Inquirer		Supplier	
To	Universidad del Valle	From	Jinan Mgreenbelt Machinery Co.,Ltd.
Contact	Juan David Rivera	Contact	Libra Zhang
Email	+57 317 2599670	Email	libra@mgreenbelt.com
Phone		Phone	+86 17686681007

Cooling requirement:

- 1) . Glycol chiller 6.5kW at 0deg C
- 2) . To be installed in Colombia
- 3) . 220V 60HZ 3PHASE

The following water chiller proposal is provided for your purchase consideration. Price is provided on the attached Technical Data Sheets.

No.	Description	Unit Price (US\$/ SET)	Qty (SET)	Extended (US\$)
01	Air cooled water chiller ♦ Model: MG-3C ♦ Power supply: 220V/60Hz/3Phase ♦ Cooling capacity: 6.8kW ♦ Chilled fluid type: 20% glycol ♦ Panasonic scroll compressors: 1 unit ♦ Refrigerant: R407c ♦ Condenser: Air-cooled finned copper tube ♦ Evaporator : Plate ♦ Centrifugal pump, ♦ 0.55kW, 2m3/hr,20m head	US\$ 1,760.0	1	US\$1,760.0
Freight and insurance from factory to port Buenaventura Colombia				US\$ 190.0
Total - CIF Buenaventura Colombia				US\$ 1,950.0

1. **Payment:** 100% payment in advance.
2. **Package:** Export standard wooden package.
3. **Lead time:** 25 business days after received payment;
4. **Technical documents:** All drawings or labels on the machine, electrical diagram, user manual will be in English.
5. **Documents:** Commercial Invoice, Packing List, Bill of Lading.
6. **Warranty:** 12 months since the date of delivery.

Email: libra@mgreenbelt.com

1 / 11

WhatsApp: +8617686681007



Air Cooled water Chiller Parameter

Model			MG-3C
Power supply			220V, 60hz, 3phase
Water temperature control			5℃~25℃
Total Input power		kW	3.8
Cooling capacity	Kcal/h		5450
	tons		2
	kW		6.8
Compressor	Type		Scroll type
	Power	kW	2.9
Refrigerant	Type		R407c
	Control type		Thermal Expansion Valve
Evaporator	Type		Plate
	Water flow	m3/h	1.3
Condenser	Type		Finned copper tube
Air Fan	Type		External rotor axial fan
	Motor	kW	0.3
	Air volume	m3/h	3000
Water pump	Power	kW	0.55
	Flow	m3/hr	2m3/hr@ 2.0bar
Fitting pipe	Water inlet and outlet		DN25
Machine Size	LxWxH(mm)		1100*600*1200
Net weight	KG		150
Protection System	over current , overload protection, High/low pressure ,Phase sequence/phase missing , Anti freezing ,Over temperature , water flow protection.		
1 refrigeration tons(RT) = 3.517 KW, 1 kcal/h = 3.968 Btu/h, 1 Btu/h = 0.252 kcal/h, 1KW=860Kcal			

Note:

1. Cooling capacity by outlet water temperature 0deg C, ambient temperature 35deg C.





Jinan Mgreenbelt Machinery Co.,Ltd.

Hisense Chuangxin Valley, High-Tech District, Jinan City, Shandong Province, China

Chiller Picture



Email: libra@mgreenbelt.com

3 / 11

WhatsApp: +8617686681007

Inside Details

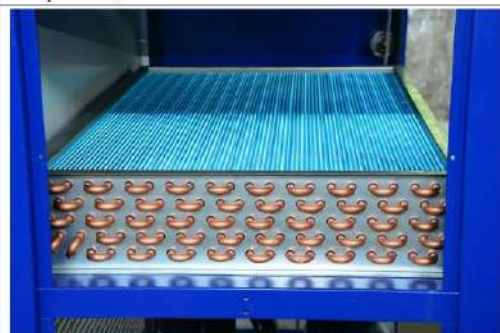
Inside Details:



Microcomputer temperature controller: English language; Auto alarm and indicator display, "SCHNEIDER" electrical components,



Compressor: adopt scroll type, fast speed cooling and sustainable, energy saving.



Condenser: V shape design, finned copper tube, to make the cooling efficiently



SS304 Circulation water pump , very good performance



Brazed plate evaporator, stainless steel plate



Axial fan, to discharge heat quickly, keep cooling good



Jinan Mgreenbelt Machinery Co.,Ltd.

Hisense Chuangxin Valley, High-Tech District, Jinan City, Shandong Province, China

Main Components

Item	Brand	Type	Brand Origin
Compressor	Panasonic	Hermetic scroll	Japan
Fan	MAER	External Axial	China
Pump	CNP	Centrifugal	China
Evaporator	ST	Plate	China
Condenser	ST	Finned copper tube	China
Expansion valve	EMERSON		USA
Refrigerant	Hanyue	R407c	China
Pressure Gauges	FengShen		Taiwan
Pressure Controller	JUNLE		Taiwan
Drier Filter	DANFOSS		Denmark
Unit Controller	PUNP	Micro-processor	China
Electric components	SCHNEIDER		France
Water Flow Switch	FengShen		China

PLYWOOD PACKAGE,FORKLIFT COMPATIBLE





Jinan Mgreenbelt Machinery Co.,Ltd.

Hisense Chuangxin Valley, High-Tech District, Jinan City, Shandong Province, China



Email: libra@mgreenbelt.com

6 / 11

WhatsApp: +8617686681007



Jinan Mgreenbelt Machinery Co.,Ltd.

Hisense Chuangxin Valley, High-Tech District, Jinan City, Shandong Province, China

CE ,ISO9001 certificate, and supply the SASO, SABER, SGS, COC and other documents.



HIGH-QUALITY SERVICES FOR YOU—

- 24 Hours working phone call/Email/Wechat/Whatsapp/Trade manager online to support.
- Manufactured by mgreenbelt chiller plant, Components are new and branded, Completely pre-packaged
- Proven reliability for over 20 years, Designed and engineered by experienced technicians: Professional technical team and sales person give you regarding troubleshooting procedures via Internet and Phone any time when needed.
- Warranty by mgreenbelt: 12 Months warranty and life time technical maintenance offered.
- Replacement parts and spare parts available from stock: All extra parts for the machine can be purchased with agent price from Mgreenbelt
- Experienced aftermarket support, and Free and Professional Training at our Factory under the relaxed condition.



A.6 Cotización de las barras de acero inoxidable para los equipos de alta presión.

 PUMAO STEEL CO., LTD					
vivi@pumaosteel.com +86 18921185711 No. 32-1, Chengnan Road, Wangzhuang Street, Xinwu District, Wuxi, China 214111					
To: Universidad del valle carlos.esteban.zapata@correounivalle.edu.co				Quotation	
				Invoice No.:	PMV24111801
				Date:	2024.11.18
Freight Term:		CIF BUENAVENTURA			
NO.	Description	Specification	Quantity (KGS)	Unit Price (USD/KG)	Amount (USD)
1	SS316 ROUND BAR	300*6000mm	3385	\$2.85	\$9,647.25
2		200*3000mm	753	\$2.85	\$2,146.05
Grand Total			4138	/	\$11,793.30
Remark:					
We here by certify that the above mentioned goods are of Chinese origin					
Payment:		100% TT Payment before shipping			
Packing:		Standard pacakge			
Delivery:		In 7 working days after getting advance payment			
Valid of quote until:		2024.11.25			



A.7 Cotización de los tanques de almacenamiento TK-301 y TK-302.

广州宇航自动化机械科技有限公司 Guangzhou Aerospace(Yuhang) Automation & Technology Machinery Co.,Ltd TEL:+86(0)2) 3661 3392 FAX:+86(0)20 8608 7707 ADD: No.358 Helong Wu Road Renhe Town, Baiyun District, Guangzhou, Guangdong, China					
QUOTATION					
Name:CARLOSESTEBAN ZAPATAORTIZ			NO:E2022110201		
Email:carlos.esteban.zapata@correounivalle.edu.co			Date:November 18th, 2024		
			Valid to:December 10th, 2024		
Price basis: CIF Buenaventura, Colombia port, USD price (with wooden box)					
No.	Items	Description	Unit Price US\$	QTY/ Set	Total Price
1	150Liters Stainless Steel Movable full open lid Sealed Storage Tank -SS304		1090\$	1	1090\$
Total Amount /USD:			1090\$		
Payment:					
1. Payment terms: CIF 100% T/T should be paid by T/T before the shipment. 2. Delivery time: Within 15-20 days after confirmed the full payment and checked machines in factory if necessary. 3. Package: wooden box 4. Warranty Period: one year and full-life service of our machinery (one year's spare/wearing parts within delivery).					
COMPANY BANK INFORMATION					
Beneficiary Name: Gaoyou Yuhang Chemical Machinery Factory					
Beneficiary account number: 10141740152712					
Country/Region: Singapore					
SWIFT CODE: CHASSGSGXXX or CHASSGSG					
Beneficiary Address: 8 Shenton Way, 45-01, AXA Tower, Singapore 068811					

A.8 Cotización de las bombas centrífugas P-301 y P-302

 Zhongrong Fuxing										
Quotation										
Shandong Zhongrong Fuxing Group Co.,Ltd. Address: 2105,Building 6,Rongsheng Times Square,43 Beiyuan Road, LichencDistrict, Jinan City. Technician Tel: 86-15805317660 Manager telephone: 86-15805315993 Department: Sales Department Wechat: 15805317660 Whatsapp: +86 15805317660 Email: Alisa20212021@outlook.com Alibaba link: https://sdzrfx.en.alibaba.com										
TO:		DATE:				NO.				
11.20W哥伦比亚 CARLOSESTEBAN ZAPATAORTIZ		2024.11.20				202411200001				
Product Image	Model No.	Specifications				Qty	Unit Price	Amount	Pump	Motor
		Flow rate	head	power	speed	PCS	USD	USD	details	details
	IZRSW25-125A	3.6m³/h	16m	0.75KW	2900 r/min	2	135	US\$270	Material: Cast Iron Caliber:DN25	
(USD)								US\$270		

SAY TOTAL:	US\$ 270 (EXW, This is the price for picking up the goods in the factory without tax and freight.) This quotation is valid for 7 days from today
NOTE:	
Payment term	100% TT payment before production
Delivery time:	30 working days after receiving the advance payment.
Packing:	Wooden box/Steel frame/Wooden pallet
Payment account:	
Shandong Zhongrong Fuxing Group Ltd.,	
Shandong Zhongrong Fuxing Group Ltd. The company has more than ten years of pump production history, integrating design and development, production and processing, sales and service. It mainly produces centrifugal pumps, chemical pumps, irrigation pumps and many other pumps.	

Company environment and shipment pictures:



A.9 Cotización del intercambiador de calor E-301.

AOXIN Quotation



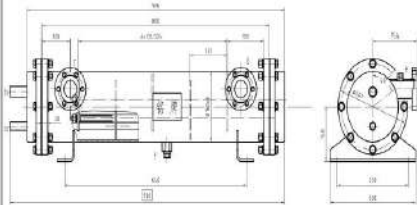
To: CARLOSESTEBAN ZAPATAORTIZ

From:

Factory (AOXIN)

To:

/

Description	Drawings	Technical Parameter	Qty	Unit Price EXW	Amount
Shell&Tube Evaporator (Single Circuit)		Model: AX-GZ03 Heat exchange capacity 10500 W Shell diameter $\Phi 180$ mm Total tube length 13.6 m Weight 65 KG Size (LxWxH) 966 x 306 x 263 mm	1 Sets	\$241.60	\$241.60
Sea Freight + Insurance Cost					\$13.00
Total (CIF Buenaventura Port, Colombia)			1 Sets		\$254.60

Note: Use R22 refrigerant, Influen temperature $t_{ref}=12^{\circ}\text{C}$, drainage temperature $t_2=7^{\circ}\text{C}$, suction overheating temperature $\Delta t_{ts}=4^{\circ}\text{C}$, evaporation temperature $t_a=2^{\circ}\text{C}$.

Payment: T/T 50% in advance, 50% before shipping

Voltage: /

Refrigerant: /

Packing: Export Packaging

Port of destination: /

Delivery: 50-55 days

Quotation time: 2024/11/20 (validity within 15 days.)

China warehouse address (as below):

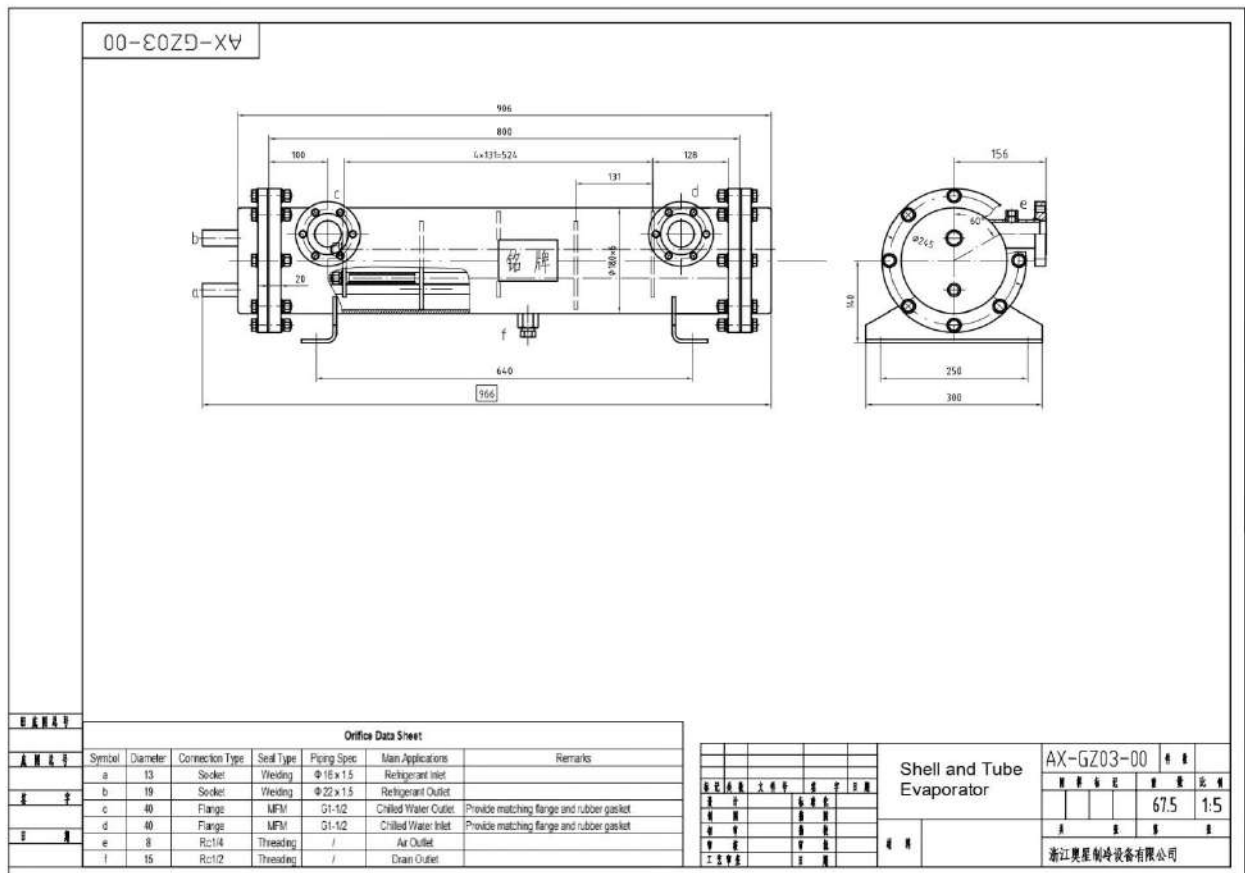
Zhejiang Aoxing Refrigeration Equipment CO., LTD.

Ganlin Industrial Park, Shengzhou City, Zhejiang Province, China 312462

中国浙江省绍兴嵊州市工业园区浙江奥星制冷设备有限公司

Destination port charges are as follows:

BUENAVENTURA目的港收费标准如下:(updated on 30 JUL.2024)			
费用名称	ITEM	For Direct CNEE	For Co-Loader CNEE
拆箱费	DEVANNING	USD42 W/M (MIN USD93)	USD31 W/M (MIN USD92)
文件费	DOCUMENT FEE	USD50 / HBL	USD48 / HBL
海关舱单发送费	CUSTOMS DOCUMENTS SUBMIT	USD100 / HBL	USD82 / HBL
换单费	DOCUMENTATION RELEASE	USD70 / HBL	USD27 / HBL
签单费	BL ISSUANCE (If applies)	USD28 / HBL	USD30 / HBL
港杂费	PORT CHARGES	USD6.5 w/m (MIN USD35)	USD6.5 w/m (MIN USD21)
操作手续费	HANDLING FEE	USD38/HBL	USD38/HBL
码头仓库费	WAREHOUSE AT PORT	USD5.3 W/M (MIN USD22)	USD3.5 W/M (MIN USD5)
系统输送费	DOCUMENTARY SYSTEMATIZATION	USD4/HBL	USD4/HBL
货币调整费	CAF (Currency Adjustment Factor)	USD7/WM	USD7/WM
低硫费	LSS	USD6/RT	USD6/RT
高标附加费	CISF	USD30/RT	USD30/RT
拥堵费	PEAK SEASON SURCHARGE	AS ACTURAL	AS ACTURAL
手续费	COLLECT FEE	3% MIN 40	3% MIN 40
税费	VAT	10%	10%



REFERENCIAS

- AS ONE corporation (2024). Tanques sellados de acero inoxidable 5L. <https://www.amazon.com>. (Consultado en Noviembre de 2024).
- Ayala-Zavala, J.F., et al. (2004). Effect of storage temperatures on antioxidant capacity and aroma compounds in strawberry fruit, *LWT - Food Science and Technology*, 37(7): 687-695.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., and Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1): 25-30.
- Brunner, G. (2013). Gas extraction: an introduction to fundamentals of supercritical fluids and the application to separation processes. Springer Science & Business Media: New York, N.Y. (USA).
- Cabezas, C. (2018). Extracción Supercrítica de Manteca de Cacao a Escala de Planta Piloto. Disertación doctoral, Ing. Química, Universidad del Valle (Colombia).
- Calvo, L. (2021). Extracción mediante CO₂ supercrítico. Universidad Complutense de Madrid. <https://www.ucm.es/otri/complutransfer-extraccion-mediante-co2-supercritico>. (Consultado en Octubre de 2023).
- Castaño, C., Hernández, P.J. (2018). Activos antioxidantes en la formulación de productos cosméticos antienvjecimiento. *Ars Pharm.* 59(2): 77-84.
- Chisté, R. C., et al. (2021). Carotenoid and phenolic compound profiles of cooked pulps of orange and yellow peach palm fruits (*Bactris gasipaes*) from the Brazilian Amazonia. *Journal of Food Composition and Analysis*, 99: 103873.
- Corficolombiana (2024). Informe semanal: Una mirada a la evolución tarifaria de la energía. Informe realizado por el área de Macroeconomía y Mercados. <https://img.lalr.co/cms/2024/09/30081804/20240930.pdf>. (Consultado en Octubre de 2024).
- Cvejić, J. H., et al. (2017). Polyphenols. In: *Nutraceutical and Functional Food Components: Effects of Innovative Processing Techniques*, Chapter 7. 203–258. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805257-0.00007-7>
- De la Cruz, J. C., y Salazar, L. M. (2023). Extracción supercrítica de compuestos antioxidantes de la semilla de aguacate usando CO₂: Análisis de la viabilidad técnica y

económica. Proyecto de grado, Ing. Química, Universidad del Valle (Colombia). <https://github.com/ChEngCamilo/SCF-SIM>. (Consultado en Octubre de 2024).

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) (2024). Índice de Precios al Consumidor (IPC). https://sitios.dane.gov.co/ipc/visorIPC/#!/division_gastos. (Consultado en Noviembre de 2024).

dos Santos, O. V., et al. (2022). White peach palm (pupunha) a new *Bactris gasipaes* Kunt variety from the Amazon: Nutritional composition, bioactive lipid profile, thermogravimetric and morphological characteristics. *Journal of Food Composition and Analysis*, 112: 104684.

Fedepalma (2023). El origen de la palma de chontaduro, un fruto con gran poder nutritivo. <https://elpalmicultor.fedepalma.org/origen-palma-de-chontaduro/>. (Consultado en Octubre de 2023).

Ferrari, M. H., et al. (2020). Characterization and technological properties of peach palm (*Bactris gasipaes*) fruit starch. *Food Research International*, 136: 109569.

Finagro. (2022). Chontaduro en el Putumayo. https://www.finagro.com.co/sites/default/files/2022-05/chontaduro_putumayo_0.pdf. (Consultado en Noviembre de 2024).

Fortune Business Insights (2024). Antioxidants Market Size, Share & Industry Analysis, by type, by application and Regional Forecast, 2024-2032. <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/food-antioxidants-market-100789> (Consultado en Julio de 2024).

García, C.L., et al. (2006). Cinética enzimática de la polifenol oxidasa del banano *Gros michel* en diferentes estados de maduración. *VITAE*. 13(2): 13-19.

González-Jaramillo, N., et al. (2022). Peach Palm (*Bactris gasipaes* Kunth): Ancestral Tropical Staple with Future Potential. *Plants* 2022 (11): 3134.

Gulcin, İ., and Alwasel, S. H. (2023). DPPH Radical Scavenging Assay. *Processes*. 11: 2248.

HerbalTerra (2024). Liquid herbal extracts. <https://herbalterra.com/>. (Consultado en Noviembre de 2024).

Iglesias, S. P. (2012). Extracción y Encapsulamiento del Aroma de Residuos de Piña Manzana (*Ananas comosus L*) usando CO₂ Supercrítico. Proyecto de grado, Ing. Química, Universidad del Valle (Colombia).

Luna-Guevara, M. L., et al. (2018). Phenolic Compounds: A Good Choice Against Chronic Degenerative Diseases. In: *Studies in Natural Products Chemistry*, Chapter 3. 59: 79–108.

Malta, L. G., and Liu, R. H. (2014). Analyses of Total Phenolics, Total Flavonoids, and Total Antioxidant Activities in Foods and Dietary Supplements. In: *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*, 305–314. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52512-3.00058-9>. (Consultado en Octubre de 2023).

Maroun, R. G., et al. (2018). Emerging technologies for the extraction of polyphenols from natural sources. In: *Polyphenols: Properties, Recovery, and Applications*, Chapter 8. 265–293. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813572-3.00008-7>. (Consultado en Noviembre de 2024).

Martínez-Girón, J., et al. (2017). Caracterización fisicoquímica de harina de residuos del fruto de chontaduro (*Bactris gasipaes Kunth, Arecaceae*). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 18(3): 599–613.

Maximize Market Research (2024). Natural Antioxidants Market: Global Industry Analysis and Forecast (2023-2030). <https://www.maximizemarketresearch.com/market-report/natural-antioxidants-market/220915/>. (Consultado en Julio de 2024).

Merck (2023). Buscador de sustancias químicas con hoja de seguridad. <http://www.sigmaaldrich.com>. (Consultado en Octubre de 2023).

Mínguez, M.I., et al. (2024). Los carotenoides: Fuentes de color y salud. https://digital.csic.es/bitstream/10261/5754/1/IG_AGROCSIC_4.pdf. (Consultado en Noviembre de 2024).

Ministerio de agricultura (2023). Reporte: Área, Producción y Rendimiento Nacional por Cultivo. <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1>. (Consultado en Noviembre de 2023).

Molyneux, P. (2004). The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*. 26(2): 211-219.

Morante, J., et al. (2014.). Distribución, localización e inhibidores de las polifenol oxidasas en frutos y vegetales usados como alimento. *Ciencia y Tecnología*, 7(1): 23-31.

Ou, H., et al. (2024). Combination of supercritical CO₂ and ultrasound for flavonoids extraction from *Cosmos sulphureus*: Optimization, kinetics, characterization and antioxidant capacity. *Food Chemistry*, 435: 137598.

Pérez, M., Dominguez-López, I., and Lamuela-Raventós, R. M. (2023). The Chemistry Behind the Folin-Ciocalteu Method for the Estimation of (Poly)phenol Content in Food: Total Phenolic Intake in a Mediterranean Dietary Pattern. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 71(46): 17543–17553.

Pham-Huy, L. A., He, H., and Pham-Huy, C. (2008). Free radicals, antioxidants in disease and health. *International Journal of Biomedical Science*, 4(2): 89-96.

Plank, D. W., et al. (2012). Determination of Antioxidant Activity in Foods and Beverages by Reaction with 2,2'-Diphenyl-1-Picrylhydrazyl (DPPH): Collaborative Study First Action 2012.04. *AOAC INTERNATIONAL*, 95(6): 1562–1568.

Rotoplast S.A.S. (2024). TANQUE ROTOPLAST BICAPA 1000 L C.T. <https://www.homecenter.com.co>. (Consultado en Noviembre de 2024).

SAS institute INC. (2018). JMP pro (Versión 14.0.0). https://www.jmp.com/es_co/home.html. (Consultado en Septiembre de 2024)

Seider, W. D., et al. (2017). Product and process design principles: Synthesis, analysis, and evaluation, 4th Edition. *John Wiley & Sons*. Chapter 6. 149-150.

Shahidi, F., and Ambigaipalan, P. (2015). Phenolics and polyphenolics in foods, beverages, and spices: Antioxidant activity and health effects – A review. *Journal of Functional Foods*. 18(B): 820-897.

Singleton, V. L., and Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3): 144-158.

Turton, R., et al. (2018). Analysis, synthesis, and design of chemical processes, 5th Edition. Pearson. Chapter 8. 194-198.

Universidad nacional sede Manizales. (2020). Cáscara de chontaduro, ideal en concentrado para cerdos, noticias UNAL. <https://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/cascara-de-chontaduro-ideal-en-concentrado-para-cerdos>. (Consultado en Octubre de 2023).

Vargas-Avila, G., and Jorge, A.C. (2000). Clasificación y Caracterización de 20 razas de palma de chontaduro (*Bactris gasipaes* H.B.K) de acuerdo con las propiedades fisico-químicas y bromatológicas del fruto, 1st Edition. Produmedios. 5-6.

Volf, I., et al. (2014). Thermal stability, antioxidant activity, and photo-oxidation of natural polyphenols. *Chemical Papers*, 68(1): 121-129.

Wenzhou Kosun Fluid Equipment Co. Ltd. (2024). 304 316 ss inox stainless steel hopper tank. https://www.alibaba.com/product-detail/304-316-ss-inox-stainlesssteel_1600719711527.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_image.5d0c. (Consultado en Noviembre de 2024).