

Technical-economic evaluation of obtaining lucuma and grape oil with the use of Supercritical Fluid.

Fredy Vicente Huayta Socantaype¹ , Oscar Rafael Tinoco Gomez² , Fiorella Patricia Cárdenas Toro³ ,
Joel Leordany Sedano Malpartida⁴ 

^{1,2} Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú; fhuaytas@unmsm.edu.pe, otinocog@unmsm.edu.pe

^{1,3} Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú; fhuayta@pucp.edu.pe, fcardenas@pucp.pe

³ Universidad de Huánuco, Huánuco, Perú; joel.sedano@udh.edu.pe

Abstract- There is a concern about the waste generated by the grape and lucuma processing industries, and one way to solve it is to revalue such waste. Therefore, the objective of this research is to carry out a technical and economic evaluation of obtaining lucuma and grape oil with the use of Supercritical Fluid from grape pomace and lucuma seed. The methodology consists of characterizing the raw material (grape pomace and lucuma seed), obtaining grape and lucuma oil, optimizing the process and finishing with the economic evaluation with the Super Pro Designer v.10 simulator of a production plant of 1750 Kg/batch. The results have shown that the optimal parameters for the extraction of lucuma oil, are given at 312 atm pressure and 45°C, with a CO₂ flow of 8 ft³/h, with a yield of 2.84%, and for the extraction of grape oil is given at a pressure of 450 bar and 60°C, and a CO₂ flow of 5 ft³/h, which gives a yield of 6.86%. The plant capacity of 1750 kg/batch generates: An annual operating cost of \$ 3,761,000, profit margin of 43.57%, return on investment of 31.95%, capital recovery time of 3.13 years and an IRR of 24.77% and NPV (at 7% discount rate) at \$ 8,604,000. With these economic indicators opens the possibility of transforming and marketing the grape pomace and lucuma seed.

KEYWORDS

Technical economic evaluation, Superpro Designer, lucuma oil, grape oil, supercritical fluidostatic manufacturing.

Evaluación técnico-económica de la obtención de aceite de lúcuma y uva con el uso de Fluido Supercrítico

Fredy Vicente Huayta Socantaype¹, Oscar Rafael Tinoco Gomez², Fiorella Patricia Cárdenas Toro³,
Joel Leordany Sedano Malpartida⁴

^{1,2} Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú; fhuaytas@unmsm.edu.pe, otinocog@unmsm.edu.pe

^{1,3} Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú; fhuayta@pucp.edu.pe, fcardenas@pucp.pe

⁴ Universidad de Huánuco, Huánuco, Perú; joel.sedano@udh.edu.pe

RESUMEN

Existe una preocupación por los residuos generados por las industrias procesadoras de uva y lúcuma, una forma de solucionar es revalorizando tales residuos, por ello en la presente investigación se tiene el objetivo de realizar una evaluación técnica económica de la obtención de aceite de lúcuma y uva con el uso de Fluido Supercrítico a partir del orujo de uva y semilla de lúcuma. La metodología consiste en caracterizar la materia prima (orujo de uva y semilla de lúcuma), obtener el aceite de uva y lúcuma, optimizar el proceso y finalizar con la evaluación económica con el simulador Super Pro Designer v.10 de una planta de producción de 1750 Kg/lote. Los resultados han mostrado que los parámetros óptimos para la extracción del aceite de lúcuma, se dan a 312 atm de presión y 45°C, con un flujo de CO₂ de 8 ft³ /h, siendo el rendimiento obtenido de 2,84 %. y para la extracción del aceite de uva se da a una presión de 450 bar y 60 °C, y un flujo de CO₂ de 5 ft³/h lo que nos da un rendimiento de 6,86 %. La planta de capacidad de 1750 Kg/lote genera: Un costo operativo anual de 3,761,000 \$, margen de utilidad de 43.57%, retorno de inversión de 31.95%, tiempo de recuperación del capital de 3.13 años y una TIR de 24.77% y VAN (al 7% de la tasa de descuento) a \$ 8,604,000. Con estos indicadores económicos se abre la posibilidad de transformar y comercializar el orujo de la uva y la semilla de la lúcuma.

PALABRAS CLAVES

Evaluación técnico-económica, Superpro Designer, aceite de lúcuma, aceite de uva, fabricación fluidostática supercrítica

I. INTRODUCCIÓN

El deterioro ambiental en el mundo también se genera por el procesamiento de productos agroindustriales que generan efluentes y residuos sólidos, representando entre el 10 al 60 % de la materia procesada [1].

Según un informe dado por la Organización de las Naciones Unidas [2] 1600 millones de toneladas por año de alimentos se pierden o se desperdician, es equivalente a un tercio de los alimentos producidos para la dieta del ser humano. Además, de 40-50% del total de los alimentos desperdiciados corresponden a las frutas, verduras, raíces y tubérculos. [3].

Los residuos agroindustriales generados en el proceso de producción favorecen el aumento de la biomasa, muchos de ellos son desechados en rellenos sanitarios o simplemente son descartados en lugares inapropiados. Esta biomasa de material orgánico compuesta por carbohidratos y grasas posee un alto poder energético. Si estos desperdicios se acumulan podrían generar incendios en regiones de clima seco y la pérdida de grandes extensiones de los bosques. Asimismo, estos desechos al descomponerse producen grandes volúmenes de gases generando el efecto invernadero. [4]).

Los países en desarrollo como el Perú, por ejemplo, en el sector alimentario anualmente se generan 20 mil toneladas de residuos entre semilla y cáscara de uva y 5000 toneladas de semilla de lúcuma, que generan abundantes desechos agroindustriales, por no contar, con alternativas viables para recuperar o reutilizar estos insumos, son incinerados generando gases de combustión, esto afectara directamente la salud y la calidad de vida de la población. Los desechos agroindustriales están constituidos básicamente por cascara, pepas, pulpas, tortas de prensa y hojas. Estos residuos acumulan compuestos químicos de diversa naturaleza denominados metabolitos vegetales secundarios, uno los compuestos bioactivos son los aceites de las semillas [5]. Por otro lado, la composición rica en nutrientes y compuestos funcionales están direccionando al aprovechamiento de estos residuos como una alternativa potencial. Además, la legislación ambiental cada vez es más rigurosa también favorece la utilización de los residuos sólidos para diversos fines [6].

La materia orgánica que se encuentra en los residuos agroindustriales tiene componentes de alto valor agregado, en este sentido existen muchas tecnologías para recuperar, purificar y concentrar los compuestos químicos, el problema es que pocas tecnologías ofrecen seguridad en no contaminar el medio ambiente y no tener residuos perjudiciales para salud. Las tecnologías emergentes son métodos más eficientes para la extracción de compuestos funcionales de los residuos agroindustriales. Esto se debe a que permiten el uso de los disolventes más adecuados en menores proporciones, así como como tiempos de extracción reducidos con respecto a las técnicas convencionales. El más notable de estas tecnologías emergentes son: la extracción asistida por microondas (MAE),

fluido supercrítico extracción (SFE) y extracción asistida por ultrasonido [7] sin embargo para la extracción de aceites la tecnología más adecuada es la extracción con fluido supercrítico.

La presente investigación busca evaluar la viabilidad económica del escalamiento industrial de los procesos de extracción de aceite de semilla de uva y de lúcuma. Asimismo, no existe en el Perú un estudio que analice de manera global y extensiva los distintos procesos de extracción para una mejor elección futura en función de los costos involucrados. Además, no sólo hay falta de conocimientos en temas de extracción que se traducen en el empleo de uso de tecnologías contaminantes, sino que su aplicación se ve limitada por no tenerse un compendio informativo de apoyo serio que permita realizar su evaluación de manera más objetiva con el uso de simuladores como el Superpro Designer.

II. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de la presente investigación se realiza la caracterización de la materia prima (Orujo de uva y semilla de lúcuma), luego el desarrollo de los experimentos de obtención de aceite de semilla de uva y lúcuma, con la cual se hace el diseño del proceso y su respectiva optimización. Con la data recopilada se realiza la evaluación técnica económica con el simulador Superpro Designer v.10, para lo cual se especifica las líneas de producción y se coloca los parámetros de evaluación económica. Esta descripción se realiza de la siguiente forma:

A. Materia prima

Se tiene orujo de uva de la variedad Malbec el cual fue obtenido con el apoyo del CITE Agroindustrial de Ica, Perú y de la empresa Santiago Queirolo SAC. Los componentes se muestran en la tabla I. El orujo es el que contiene la semilla de uva.

TABLA I
COMPONENTES DEL ORUJO DE UVA

Compuesto	Porcentaje (%)
Cáscara de la uva	56.4
Escobajo de uva	20
Materia extraña	10.6
Semilla de uva	13

También se obtuvo pepa de lúcuma del fundo Parodi, ubicado en el Km 61 de la Panamericana Sur, distrito de Chilca, provincia de Cañete, departamento de Lima. La composición de la pepa de Lúcuma se da según la tabla II

TABLA II
COMPONENTES DE LA PEPA DE LÚCUMA

Compuesto	Porcentaje
Pericardio	17.71

Endospermo (semilla de lúcuma)	82.14
No conforme	0.15

El insumo que se usa es CO₂ industrial líquido al 99.9 % en un tanque con Sifón. El equipo de fluido supercrítico SFT-150 de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP).

B. Obtención de aceite de lúcuma

Acondicionamiento de la pepa de lúcuma

La pepa es el residuo de un proceso de despulpado de lúcuma, se recolecta y almacena en sacos de polietileno para su traslado al laboratorio. La pepa es de forma circular semiesférica de entre 2.5-3 cm de longitud o diámetro. Estructuralmente está compuesto por un pericarpio caracterizado por ser una cubierta dura la cual cubre al endospermo (semilla de lúcuma), la cual es fuente de hidratos de carbono (biopolímero), aceites y fibra. Las semillas serán pesadas antes y después de su lavado con agua potable y desinfección con hipoclorito a 200 ppm, como se aprecia en la figura 1. Sin embargo, para la simulación en Super Pro se usará ozono.



Fig. 1 Limpieza de las semillas de lúcuma acopiadas

Para la conservación de la pepa acopiada y facilitar el retiro del pericarpio las pepas desinfectadas son escurridas y deshidratadas parcialmente en un secador de bandeja de tipo lecho fijo, tal y como lo muestra la figura 2



Figura 2 Pre-secado de las semillas lavadas y desinfectadas

Para retirar la el pericardio de la pepa de lúcuma, se aplica una fuerza mecánica para conseguir el fraccionamiento de esta capa y de forma manual se retira la semilla de lúcuma (endospermo). Ver figura 3. El la semilla de lúcuma posteriormente es laminado con una mandolina de acero inoxidable y se obtienen

láminas de un grosor de 1.7 ± 0.3 mm, para luego hacerlo pasar un secado convectivo.



Fig. 3 Acondicionamiento de las semillas de lúcuma

Las semillas laminadas se colocan en bandejas de 30x30 cm para una deshidratación controlada donde la temperatura de aire de secado ronda entre los 40 y 60 °C, y una velocidad de aire de secado a 3 ± 0.5 m/s, tal y como se muestra en la figura 4.



Figura 4. Secado convectivo de las semillas de lúcuma

Una vez las semillas laminadas están secas se pasan por un molino de martillos para reducir su tamaño y mediante un proceso de tamizaje, se separarán las muestras óptimas siendo estas de una granulometría mayor a 180µm.

Extracción del aceite de lúcuma

Los ensayos experimentales se usan 40 gramos de muestra de semilla de lúcuma para la extracción FSC en el equipo supercrítico SFT-150 con flujo de CO₂ constante de 8 ft³/h y el tiempo total de extracción de 2 horas, se toma como presión 300, 150, 211.5 y 225 bar y temperatura de 35, 45, 49. 35 y 77.55 °C. Así poder determinar los valores óptimos del proceso para un máximo rendimiento calculado por la ecuación 1.

$$\% \text{ Rendimiento} = \left(\frac{W_{\text{aceite total lúcuma}}}{W_{\text{semilla de lúcuma}}} \right) \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

W aceite total lúcuma: Peso en gramos del aceite total obtenido

W semilla de lúcuma: Peso en gramos de la muestra de semilla de lúcuma en el recipiente de extracción

C. Obtención del aceite de uva

Acondicionamiento del orujo

Las muestras de orujo se acondicionan separando de forma manual la semilla, la cáscara y el escobajo luego a la semilla de

uva se le muele pasarán a través de un molino BOSH con encendido y apagado en intervalos de 10s. Se seleccionará las partículas con tamaño mayores a 180 µm y menores a 1000 um, luego se pasa a un secado a 40 °C x 13 horas para obtener semilla deshidratada molida.

Extracción del aceite de uva

Para los ensayos experimentales se hará uso de 40 gramos de muestra de semilla de uva para la extracción FSC con el equipo supercrítico SFT-150, con un flujo de CO₂ de 5 ft³/h y un tiempo de extracción de 3 horas con toma de muestras en intervalos de 30 minutos, bajo un diseño factorial completo 3² x 2, La presión usada son: 150, 300, 450 bar y temperatura 40, 50 y 60 °C para luego hallar el rendimiento óptimo.

$$\% \text{ Rendimiento} = \left(\frac{W_{\text{aceite total uva}}}{W_{\text{semilla de uva}}} \right) \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

W aceite total uva: Peso en gramos del aceite total de uva obtenido

W semilla de uva: Peso en gramos de la muestra de semilla de uva en el recipiente de extracción

D. Evaluación técnica – económica con el simulador Superpro Designer

Se inicia con el modelamiento de ambos procesos mediante un diagrama de procesos, tanto la del aceite de lúcuma y del aceite de uva.

Línea de producción de producción de aceite de lúcuma

Esta línea productiva referente al aceite de lúcuma tiene 3 secciones tal como se visualiza en la siguiente figura 5. A continuación se pasa a explicar cada sección:

- 1era sección: Obtención de semilla de lúcuma pelada. La materia prima que es pepa de lúcuma (Constituida de semilla de lúcuma y la cubierta de la semilla denominada pericarpio) se le limpia y desinfecta con agua con ozono y luego se retira el pericarpio. Esto crea una materia intermedia denominada semilla de lúcuma pelada.
- 2 da sección: Obtención de semilla de lúcuma molida. La materia intermedia que inicia este proceso es la semilla de lúcuma pelada, la cual se pasa por los procesos de rebanado, secado y molienda.
- 3 era sección: Extracción de aceite de lúcuma. Donde a la semilla de lúcuma molida se le hace pasar por la extracción FSC para la obtención del aceite de lúcuma.

Línea de producción de producción de aceite de uva

Esta línea productiva referente al aceite de uva tiene 3 secciones tal como se visualiza en la siguiente figura 6. A continuación se pasa a explicar cada sección:

- 1 era sección: Obtención de semilla de Uva. La materia prima es orujo de uva. La cual está compuesta de cáscara, escobajo, materia extraña (pelusa, piedrecillas, etc.) y semilla de uva. Aquí se separa con un tamiz y obtiene semilla de uva.
- Obtención de semilla de uva molida. La materia intermedia que inicia este proceso es la semilla de lúcuma de uva, la cual se pasa por los procesos de molienda, tamizado y secado para obtener semilla de uva molida y deshidratada.
- Extracción de aceite de uva. La semilla de uva molida se le extrae con el equipo de fluido supercrítico el aceite de uva.

Parámetros de evaluación económica

Mediante estos parámetros se determina la rentabilidad de un proyecto y con ello facilita la toma de decisiones para la viabilidad. Los parámetros que se toman en cuenta son:

i. Tiempo de evaluación

Esto implica la cantidad de años que durará el proyecto referido a la obtención de aceite de lúcuma y uva. Este estudio se hace según la tabla III. Esta inversión se pretende realizar en 3 años, siendo el primer un desembolso de la inversión en un 30 %, el segundo año un 40 % y un tercer año el restante 30 %, ya que el dinero no debe darse al contratista todo en un solo bloque.

TABLA III

DATOS REFERIDOS AL PARÁMETRO DE TIEMPO

Parámetros de tiempo	
Año de análisis	2023
Comienzo de la construcción	2023
Periodo de construcción	30 meses
Periodo de inicio	4 meses
Tiempo de vida del proyecto (incluido tiempo de construcción)	15 años
Tasa de inflación	4 %
Tasa de descuento (Escenarios)	
Bajo	7
Medio	9
Alto	11

La tasa de descuento se ha determinado según a la tasa de interés que ofrecen los bancos del Perú a los depositarios en plazos fijos. La cual está entre 6 y 7%. [8]

ii. Financiamiento

Nos referimos al proceso de obtención de recursos financieros para llevar a cabo un proyecto de inversión. Estos datos se muestran en la tabla IV. En este caso se desestima préstamos del banco y se hace una inversión por etapas para construir una planta industrial.

TABLA N° IV

DATOS REFERIDOS AL PARÁMETRO DE TIEMPO

% Desembolso del capital fijo directo (DFC)	
1 año	30 %
2 año	40 %
3 año	30 %
Depreciación	
Periodo	10 años
Valor de rescate	5 %
Método de cálculo	Lineal

i. Nivel de producción e impuesto a la renta

Podemos decir que puede haber años de menor producción a lo estimado y la mayoría de países impone el impuesto a la renta para las utilidades. En el caso del Perú se coloca en un 40 %. Para la siguiente simulación se asume que la producción en todos los años es la misma.

ii. Precios: Insumos, materia prima, productos

Se muestra los precios de los diferentes insumos, de la materia prima y precios de venta de los productos. Por ello se muestra la tabla V y VI, para el desarrollo de la simulación se toma los precios en los cuales el proceso resultará rentable. Estos datos se obtuvieron según a experiencia de los investigadores.

TABLA V

PRECIOS DE INSUMOS, MATERIA PRIMA Y PRECIOS DE VENTA DE LOS PRODUCTOS

Material	Materia prima		Insumos			
	Orujo de Uva	Pepa de lúcuma	CO ₂	Ozono	Agua	Envase de vidrio
Precio (\$/Kg)	0.29	0.29	7.76	0	0.0009	-
Precio (\$/und)						5.41

El ozono se produce in-situ, mediante la máquina de lavado, por lo cual su costo ya está agregado en los costos de utilidades, es decir en el costo de consumo de energía.

TABLA VI
 PRECIOS DE INSUMOS, MATERIA PRIMA Y PRECIOS DE VENTA DE LOS PRODUCTOS

Material	Pericardio de lúcuma	Semilla molida de lúcuma	Semilla de lúcuma sin aceite	Acetate de lúcuma	Cáscara de uva (Envase de 250 ml)	Semilla de uva molida	Semilla de uva sin aceite	Acetate de uva
Escenario 1: Pesimista								
Precio (\$/Kg)	0.1	1	0.1	-	1	1	0.1	-
Precio (\$/und)	-	-	-	3.5	-	-	-	5
Escenario 2: Optimista								
Precio (\$/Kg)	0.1	1	0.1		1	1	0.1	-
Precio (\$/und)				5				10
Escenario 3: Solo con venta de acetate de uva y lúcuma								
Precio (\$/Kg)	0	0	0	-	0	0	0	-
Precio (\$/und)	-	-	-	5	-	-	-	10

iii. Estimación de costos de capital fijo directo

Se hace uso de método de factores para estimar estos gastos, podemos se hace uso de los factores encontrados en el (Sinnott & Towler, 2012, pag. 308) [9]. Estos valores se colocan tal como señala la figura 7. Estos son aquellos costos referidos a la construcción de la planta de extracción de acetate de uva y lúcuma.

i. Estimación de costos de mantenimiento

Esta estimación se toma como un porcentaje del precio de compra de los equipos el cual va entre 5 al 15 %. [10] [11] Se elige un 5 % tomando en cuenta que no hay complejidad tecnológica puesto que el equipo de investigación y los que instalan conocen correctamente la tecnología del proceso.

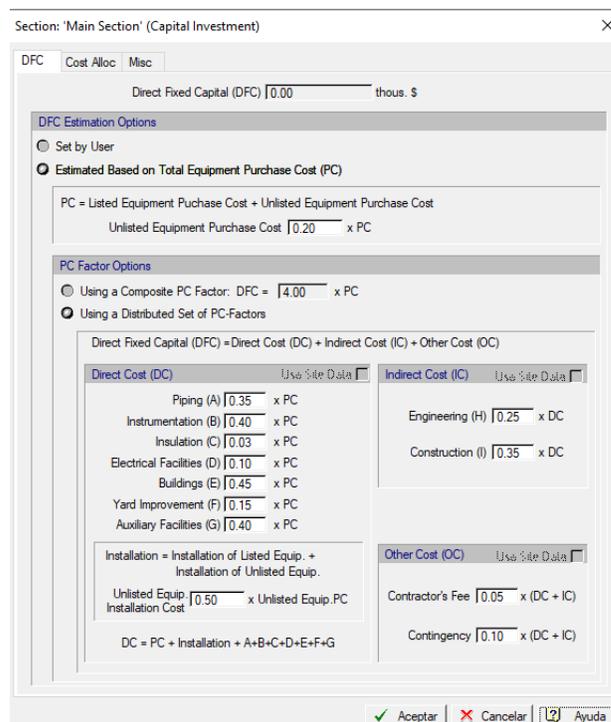


Figura 7 Estimados del costo de capital fijo directo basado en el costo total de los equipos

ii. Estimación de costos de mano de obra

Para el siguiente proyecto según el modelo de proceso y tomando como referencia las páginas de recursos humanos de Indeed y Computrabajo para un operario el cual su sueldo base se encuentra entre 1 a 3 USD por hora, un analista de calidad de 1.6 a 4 USD por hora y un supervisor de producción entre 3.7 a 5 USD por hora, [12] [13] por ello se muestra en la Tabla VII el pago que se hace a tales servidores por hora de servicio. En el proceso de producción en un batch se piensa contratar un operario, un supervisor y analista de calidad. En estos costos ya está integrado lo que son gastos de beneficios sociales tal como se muestra en la Tabla VIII

TABLA VII
 COSTO DE MANO DE OBRA

Mano de obra	Operario	Analista de calidad	Supervisor de producción
Pago (\$/h)	3	4	5

Se usa una estimación por factores las partidas de costo como beneficios sociales. [14] y lo que corresponde al área administrativa y supervisión. [15] Esos factores se exponen en la siguiente tabla VIII.

TABLA VIII
FACTORES POR BENEFICIOS SOCIALES

BENEFICIOS ADICIONALES	RANGO DE FACTORES
Beneficios sociales	0.3-0.4
Suministros operativos	0.05-0.15
Supervisión	0.1-0.2
Administración	0.1-0.6

iii. *Estimación del capital de trabajo*

Para la estimación del costo de capital de trabajo se calcula tomando en cuenta 30 días de trabajo, un inventario de 30 días de materia prima, 30 días de utilidades y 30 días de tratamiento de residuos. En este proyecto no se toma en cuenta pago por regalías en patentes.

III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

A. *Optimización del proceso de extracción FSC*

Optimización en la extracción del aceite de lúcuma

De acuerdo con las extracciones realizadas en la tabla IX se han obtenido rendimientos de extracción en el rango de 0.57 % a 2.83 % a ciertas condiciones de presión (150 atm, 211.5 atm, 225 atm, 300 atm y 350 bar) y temperatura (35°C, 45°C, 49.35°C, 55°C y 77.55°C), siendo el de mayor porcentaje de aceite (2.8355 %) el obtenido a 312 bar y T = 45°C y el de menor porcentaje a 150 bar de presión y T=55°C (0.5691 %). [16] reportaron un rendimiento de 2.6 % de aceite de semilla de lúcuma molida mediante extracción con heptano por 12 horas, este valor se encuentra dentro del rango de nuestros resultados obtenidos.

TABLA IX
RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE LÚCUMA

Nº	P (atm)	T (°C)	% de extracción
1	300	35	2.61
2	300	55	2.81
3	150	35	1.51
4	150	55	0.56
5	312	45	2.83
6	211.5	45	2.30
7	225	77.55	1.45
8	225	49.35	2.27
9	225	45	2.21
10	225	45	2.06

Optimización en la extracción del aceite de uva

Para el caso de la uva se obtuvo rendimientos que oscila entre 0.14 % hasta 8.1 %, siendo a 450 bar y 60 °C el mayor rendimiento, el cual llega a 8.1193% el cual superó a la extracción realizada por [17], pues llegaron a extraer 6.2% a 40 bar y 40 °C, cuando sellos realizaron una extracción con solvente hexano se puede llegar a un 10.2 %. Lo cual indica que la eficiencia de extracción sería 67.5%, tal como lo muestra la Tabla X.

TABLA X
RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DEL ACEITE DE UVA

Experimento	Variables		
	Presión (bar)	Temperatura (°C)	Rendimiento (%)
1	150	60	0.14
2	300	40	5.21
3	450	50	6.05
4	450	40	4.40
5	300	40	3.69
6	450	60	7.61
7	150	40	0.95
8	300	60	4.89
9	300	50	5.81
10	150	40	1.12
11	450	60	8.11
12	150	50	0.46
13	300	60	5.42
14	150	50	0.54
15	450	40	4.69
16	450	50	6.26
17	150	60	0.11
18	300	50	5.34

B. *Simulación del proceso de extracción FSC de aceite de semilla de lúcuma y uva.*

Con los datos obtenidos se hace el diseño de un proceso de obtención de aceite de lúcuma y uva.

Proceso de obtención del aceite de lúcuma

El proceso comienza con la limpieza de 1750 Kg pepa de lúcuma. La pepa de lúcuma está constituida por un pericardio, la cual es la parte dura que cubre a la semilla y el endospermo la cual es la parte blanda, a éste se le conoce como semilla de lúcuma. La pepa de lúcuma pasa por un pretratamiento, que consiste en la limpieza en agua con ozono en una concentración de 2ppm, 0.01 m³/kg de lúcuma y luego pasa por un proceso de descascarillado donde se retira el pericarpio o cáscara y luego un rebanado donde se obtienen láminas de grosor de 1.7 ± 0.3 mm. Las láminas de semilla de lúcuma son deshidratadas en un

secador de bandejas con temperatura de entre 40°C y 60°C manteniendo la velocidad de aire de secado a 3 ± 0.5 m/s por un tiempo 60 minutos hasta llegar a 8 % de humedad. Ambas semillas deshidratadas son molidas y tamizadas en un tamaño de 180-1000µm.

Las semillas son pasadas en el extractor con un flujo de CO₂ a 45°C y 347 bar con un flujo de CO₂ de 145 kg/h en recirculación, esto genera un rendimiento de 2.7 %. El aceite obtenido se coloca en envases de vidrio de 1L para su posterior venta.

Proceso de obtención del aceite de uva

El orujo recepcionado es 1750 Kg. El orujo es la constitución principalmente de cáscara y semilla de uva. (Ver tabla I) Se inicia con el proceso de secado para una mejor separación de la semilla. Donde se ingresa un orujo con 14 % de humedad- Este orujo es deshidratado parcialmente en un secador de bandejas por el tiempo de 1 hora y se baja a 11% de humedad, luego el orujo es trasladado a un separador y clasificador (tamiz vibratorio) donde se elimina las cáscaras junto a los escobajos y demás residuos de las semillas esto representa un 83%, de aquí se obtiene la semilla de uva. La semilla de uva se muele y con un tamiz se controla la granulometría para que se encuentre entre 180 a 1000 um. A la semilla molida de uva se hace pasar otra vez por un secado hasta una humedad de 6 a 8%. Con estas condiciones de pre-operación se envía al proceso de extracción de fluido supercrítico y este proceso puede obtener un 0.67 a 0.68 % de rendimiento a una temperatura de 60 °C y una presión de 456 bar con un caudal de flujo de CO₂ 167 Kg/h en recirculación. El aceite obtenido se coloca en envases de vidrio de 1 L para su posterior venta.

Balance de Masa

Se ha desarrollado la obtención de aceite de lúcuma y uva en dos líneas en paralelo. (ver figura 5 y 6). Se toma como producto principal al aceite de lúcuma y como producto secundario al aceite de uva. Los cálculos de rendimiento se estiman respecto al aceite de lúcuma. Esto resulta en los datos generales del proceso:

- Tiempo de operación anual: 7,918.13 h
- Tasa de unidades producidas anual: 109,117.54 Litros de aceite de lúcuma/año y 28, 318 Litros de aceite de uva/año.
- Tamaño del lote: Producción 52.87 Litros de aceite de Lúcuma y 13.72 Litros de aceite de uva a partir de 1750 Kg de pepa de Lúcuma y 1750 Kg de orujo de uva.
- Tiempo de lote: 17.14 h
- Tiempo de ciclo: 3.83 h
- Número de batch por año: 2,064.00

- MP entity = Unidad de producto principal (Aceite de Lúcuma)

La densidad del aceite uva es 0.909 g/ml [18] y se asume que la densidad del aceite de lúcuma por tener similares ácidos grasos, por tanto, por lote se obtiene 48.05 Kg de aceite de lúcuma y 12.47 Kg de aceite de uva. El rendimiento del proceso es 2.7 % para la lúcuma y 0.7 %.

Evaluación económica

i. Costos de producción

En esta planta de obtención de aceite de lúcuma y uva se pueden observar varios sub-productos los cuales se pueden comercializar según la tabla XI.

TABLA XI
COSTO DE PRODUCCIÓN DEL PRODUCTO PRINCIPAL Y LOS SUB PRODUCTOS

Productos	Precio unitario (US\$/ Kilo)
Producto principal	
Aceite de semilla de lúcuma	17.68
Aceite de semilla de uva	59.84
Sub – productos	
Semilla de lúcuma pelada	0.76
Pericardio de semilla de lúcuma	0.73
Semilla de lúcuma molida	1.62
Semilla de lúcuma molida sin aceite	2.56
Semilla de uva	2.42
Cáscara de uva	0.37
Semilla de uva	3.30
Semilla de uva molida sin aceite	4.22

Los precios de producción de aceites vegetales por fluido supercrítico por ejemplo para aceite de melocotón y almendra están en el rango de 4.64 US\$/Kg (30 min de extracción) a 30 US\$/Kg (360 min de extracción) o el aceite esencial de menta el cual está entre 611,12 US\$/Kg [19] En el caso del aceite de uva obtenido solo mediante simulador y modelos matemáticos en Hysis estimaron los costos de producción de aceite de uva entre 6.31 US\$/Kg y 8.61 US\$/Kg a comparación de una extracción por hexano. [20] Esto sucede porque no se arranca desde el acondicionamiento de la materia prima.

ii. Indicadores de rentabilidad según la variación de precios de venta

Tomando los datos de la tabla VI en la cual se dan tres escenarios. Con la cual se obtienen los siguientes datos de la tabla XII.

TABLA XII
RESUMEN EJECUTIVO DEL PROYECTO EN
DIFERENTES ESCENARIOS

Resumen ejecutivo	Escenario 1 Pesimista	Escenario 2 Optimista	Escenario 3 Sin venta de sub productos
Capital de inversión total (US\$)	6'321,000	6'321,000	6'321,000
Costo operativo anual (US\$)	4'499,000	4'499,000	4'499,000
Venta anual de aceite de semilla de lúcumo (US\$/año)	1'512,000	2'160,527	2'160,527
Venta anual de aceite de semilla de uva (US\$/año)	566,388	1,132,776	1,132,776
Venta anual de productos secundarios (ver tabla XI) (US\$/año)	3'285,612	3'285,717	0
Venta total (US\$/año)	5'364,000	6'579,020	3'293,000
Tasa de producción anual de aceite de semilla de lúcumo (Presentaciones de 250 mL)	432,105	432,105	432,105
Tasa de producción anual de aceite de semilla de Uva (Presentaciones de 250 mL)	113,278	113,278	113,278
Margen de ganancia (%)	16.14	31.62	-36.60
Retorno de inversión (%)	9.89	23.04	-19.07
Tiempo de recuperación de capital (años)	10.43	4.34	-
TIR (%)	2.89	15.23	-
VAN (A 7% de la tasa de descuento) (MUS\$)	-1,741	4,123	- 14,617

El escenario 3, tal como se muestra en la tabla XII, contempla únicamente el costo del aceite de uva y lúcumo, a diferencia de los otros escenarios, en los cuales se comercializan también los subproductos. Esto nos indica que para esta planta procesadora es necesario vender los sub productos para que sea rentable. Esto se justifica ya que comparado los costos de producción (Tabla XI) y los costos de venta (Tabla VI) el costo de producción del aceite de uva y el aceite de lúcumo son superiores al precio de venta, por ende, no hay un ingreso suficiente para devolver la inversión y los costos operativos. He allí importancia de vender los sub productos.

IV. CONCLUSIONES

El rendimiento óptimo solo en el proceso de extracción para el aceite de lúcumo y uva se dan a altas presiones que van desde 315 a 450 bar y cuando las temperaturas están entre 45 a 60 °C. En el caso de la lúcumo se llega a un rendimiento de 2.6 % y en el caso del aceite de uva a 8.1 %. Sin embargo, el rendimiento global del proceso, que considera todas las etapas, es relativamente bajo, con un 2.7 % para el aceite de la lúcumo y 0.7 % del aceite de uva. Lo cual es un rendimiento bajo. Esto daría pie la necesidad de ver la posibilidad de transformar o comercializar los residuos que son: Pericarpio de lúcumo, semilla de lúcumo molida sin aceite, cáscara de uva, semilla de uva molida sin aceite. Estos subproductos podrían tener aplicaciones potenciales en la industria alimentaria, cosmética o farmacéutica, lo que permitiría maximizar la eficiencia y la rentabilidad del proceso de extracción.

El proceso de obtención de aceite de lúcumo y uva se vuelve económicamente rentable si se comercializan todos los residuos, tal como se detalla en el escenario 3 de la tabla VI. En este escenario, los resultados financieros indican un margen de ganancia de 31.62 %, un tiempo de recuperación de la inversión en 4.34 años, un TIR 15.23 % y un VAN de \$ 4'123,000. Estos indicadores evidencian que, al aprovechar los subproductos generados durante la extracción, el proyecto puede alcanzar una rentabilidad considerable, lo que mejora su viabilidad económica y aumenta su atractivo para posibles inversores.

V. AGRADECIMIENTO

Se agradece a la Pontificia Universidad Católica del Perú por permitir el uso del laboratorio de procesos industriales para la realización de los experimentos y a Concytec por el financiamiento del proyecto de investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. P. Gil, «Recuperacao de compostos bioactivos a partir de residuos da industria vitivinicola,» Tesis de doctorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil, 2013.
- [2] FAO, «Despilfarro de alimentos: datos y cifras clave,» 2011.

- [3] R. Ravindran, S. Hassan, G. Williams y A. Jaiswa, «A Review on Bioconversion of Agro-Industrial Wastes to Industrially Important Enzyme.» *Bioengineering*, vol. 5, n° 4, 2018.
- [4] H. S. Ng , P. E. Kee , H. S. Yim , P. Chen, Y. Wei and J. Lan, "Recent advances on the sustainable approaches for conversion and reutilization of food wastes to valuable bioproducts," *Bioresour Technol*, 2020.
- [5] R. Rossetto, G. Maciel, D. Bortolini, V. Ribeiro and C. Isidoro, "Acai pulp and seeds as emerging sources of phenolic compounds for enrichment of residual yeasts (*Saccharomyces cerevisiae*) through biosorption process," *Food Sci. Technol. LWT*, vol. 128, 2020.
- [6] J. Wong, D. Muñoz, P. Aguilar, J. Ascacio, K. Cruz, C. Reyes, R. Rodriguez and C. Aguilar , Extraction of Bioactive Phenolic Compounds by Alternative Technologies, vol. 4, Mexico: Elsevier, 1917, pp. 229-246.
- [7] L. Cantao , J. Rodrigues , A. Caladas da Costa, F. Figueiredo, R. Holanda and R. Nunes de Carvalho, "From waste to sustainable industry: How can agro-industrial wastes help in the development of new products?," *Resources, Conservation & Recycling*, 2021.
- [8] E. Montesinos Nolasco, «Bancos Peruanos ofrecen mejores tasas en depósitos a plazo corto ante recesión.» 28 Noviembre 2023. [En línea]. Available: <https://www.infobae.com/peru/2023/11/22/depositos-a-plazo-fijo-cambian-con-la-nueva-tasa-de-referencia-del-bcr-por-que-ahora-conviene-dejar-tu-dinero-a-menos-tiempo/>.
- [9] R. Sinnott y G. Towler, Diseño en Ingeniería Química, Barcelona: Editorial Reverté S.A, 2012.
- [10] G. Núñez y J. Valle, «Supercritical CO2 oilseed extraction in multi-vessel plants. 2. Effect of number and geometry of extractors on production cost.,» *Journal of Supercritical Fluids*, vol. 92, pp. 324-334, 2014.
- [11] J. Acevedo, J. Hernández, C. Valdés y S. Khanal, «Analysis of operating costs for producing biodiesel from palm oil at pilot-scale in Colombia.» *Bioresource technology*, vol. 188, pp. 117-123, 2015.
- [12] Indeed, «Indeed.» [En línea]. Available: <https://pe.indeed.com/>. [Último acceso: 20 Enero 2025].
- [13] Computrabajo, «Computrabajo.» [En línea]. Available: [https://pe.computrabajo.com.](https://pe.computrabajo.com/) [Último acceso: 20 Enero 2025].
- [14] SUNAT, «Cálculo de Beneficios Laborales en Perú.» SUNAT, Lima, 2024.
- [15] Ministerio de Trabajo y Promoción de Empleo, «Informe trimestral del mercado laboral. Situación del empleo. 2024 Trimestre I.» Ministerio de Trabajo y Promoción de Empleo, Lima, 2024.
- [16] L. E. Rojo, C. M. Villano, G. Joseph, B. Schmidt , V. Shulaev, J. L. Shuman, M. A. Lila y I. Raskin, «Wound-healing properties of nut oil from *Pouteria lucuma*,» *Journal of Cosmetic Dermatology*, pp. 186-196, 2010.
- [17] X. Cao y Y. Ito, «Supercritical fluid extraction of grape seed oil and subsequent separation of free fatty acids by high-speed counter-current chromatography,» *Journal of Chromatography A*, vol. 1021, n° 1-2, pp. 117-124, 2003.
- [18] N. Juárez Trujillo, V. M. Jiménez Fernández, J. A. Guerrero Analco, J. L. Monribot Villanueva y M. Jiménez Fernández, «Caracterización del aceite y harina obtenido de la semilla de uva silvestre (*Vitis tiliifolia*),» *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, vol. 8, n° 5, pp. 1113-1126, 2017.
- [19] N. Mezzomo, J. Martínez y S. R. Ferreira, «Economical viability of SFE from peach almond, spearmint and marigold,» *Journal of Food Engineering*, pp. 473-479, 2011.
- [20] R. M. Fonseca Pérez, A. Almena, C. Ramírez Márquez, A. Bonilla Petriciolet y M. Martín, «Techno-economic and environmental comparison of processes for the production of grape oil,» *Journal of Cleaner Production*, p. 141041, 2024.
- [21] M. Peanparkdee y S. Iwamoto, «Bioactive compounds from by-products of rice cultivation and rice processing: Extraction and application in the food and pharmaceutical industries,» *Trends in Food Science & Technology*, pp. 109-119, 2019.