

DESARROLLO DE LA TECNOLOGIA DE EXTRACCIÓN POR BIÓXIDO DE CARBONO SUPERCRITICO DE ACEITE DE POLVILLO DE ARROZ A NIVEL INDUSTRIAL EN EL VALLE DE MAJES

DEVELOPMENT OF EXTRACTION TECHNOLOGY BY SUPERCRITICAL CARBON DIOXIDE OF RICE BRAN OIL TO INDUSTRIAL LEVEL IN THE MAJES VALLEY

Fernando Mejía Nova
José Peña Machicao
Gonzalo Dávila Del Carpio
Camilo Fernández Barriga
Sergio Mestas Ramos
Molino Arrocerero Chapí
Universidad Católica Santa María
Instituto de Investigación y Desarrollo del Sur (IIDS)

RESUMEN

El arroz es uno de los productos con gran importancia económica en la Región Sur de nuestro País, principalmente en la zona de Corire, región Arequipa, donde ha logrado desarrollarse satisfactoriamente con altos rendimientos principalmente, las variedades IR 43 y Tacuarí. Con la finalidad de aprovechar los subproductos del pilado del arroz, tal como el polvillo, se propuso la extracción de aceite mediante la técnica de fluidos supercríticos, la cual nos permite extraer aceite por medio de presiones altas a bajas temperaturas. Inicialmente se utilizó un equipo de fluidos supercríticos de 100 ml de capacidad a nivel de laboratorio, permitiendo la optimización de los parámetros de extracción del aceite, lográndose rendimientos cercanos hasta un 20 %; seguidamente se realizó el diseño y construcción de un equipo de 04 litros de capacidad, con resultados exitosos. La investigación se llevó a cabo gracias al apoyo del FINCYT, la empresa Molino Arrocerero Chapí y las instituciones como la Universidad Católica Santa María y el Instituto de investigación del Sur.

PALABRAS CLAVE

Fluidos supercríticos, polvillo de arroz, aceite, CO₂, temperatura, flujo.

ABSTRACT

Rice is one of the products with great economic importance in the southern region of our Country, mainly in the area of Corire, Arequipa region, which has successfully developed high yields mainly varieties IR 43 and Tacuarí. In order to take advantage of the products of husped rice, such as bran, we proposed an oil extraction technique by supercritical fluid which allows us to extract oil by means of high pressure and low temperatures. Initially a machine of supercritical fluids 100 ml capacity in the laboratory allowing the search for oil extraction

parameters achieving yields close to 20% , then the design and construction of a machine of 04 liters of capacity with successful results. The research was conducted with support from FINCYT, Chapí Rice Mill Company and institutions like the Universidad Católica de Santa Maria and the Instituto de Investigación del Sur.

KEY WORDS

Supercritical fluids, rice dust oil, CO₂, temperature, flow

INTRODUCCIÓN

La competencia en la industria arrocera en la Región, hacen disminuir márgenes de utilidad y ponen en peligro su supervivencia, por lo que es necesario desarrollar tecnologías que permitan mejorar su competitividad. El objetivo del proyecto fue desarrollar una tecnología adecuada, a nivel industrial, de procesamiento del polvillo de arroz para la obtención de aceite refinado de arroz (*oryza sativa*), utilizando bióxido de carbono en condiciones supercríticas.

Las líneas de investigación a trabajar fueron, extracción de aceite crudo de polvillo de arroz, utilizando CO₂ Supercritico a nivel de laboratorio; refinamiento del aceite a través de la reducción de ácidos grasos libres, blanqueado y filtrado a nivel de laboratorio; escalamiento de la tecnología de extracción y refinado, a nivel industrial, mediante el diseño y construcción de la planta piloto de 04 litros de capacidad.

Las grasas y los aceites son nutrientes esenciales tanto de la dieta de los seres humanos como de los animales, proporcionan la fuente de energía más concentrada que pueda tener ningún producto, da ácidos grasos esenciales, suministran ácidos grasos esenciales, contribuyen enormemente al sentimiento de saciedad después de las comidas, son portadores de las vitaminas grasas solubles, y sirven para hacer las comidas más apetecibles.

MATERIAL Y MÉTODOS

La investigación fue desarrollada en la Universidad Católica Santa María a nivel de laboratorio, en donde se adquirió un equipo de fluidos supercríticos de 100 ml de capacidad en la cual se determinaron los parámetros óptimos para la extracción del aceite mediante la técnica de fluidos supercríticos. Otro de los objetivos fue el diseño y construcción de un equipo de fluidos supercríticos de 04 litros de capacidad construido en las instalaciones del Instituto de investigación y desarrollo del Sur.

El Molino Arrocero Chapi (MACH) procesa anualmente alrededor de 5 000 TM de arroz, durante el período febrero-julio, las cuales generan 600 TM/año de polvillo, el cual se vende para ser usado como alimento para animales, el aceite cuenta con más de 68 % de ácidos grasos insaturados, principalmente el ácido oleico, ácido linoleico y el ácido graso linoléico, compuestos que son responsables de evitar problemas cardíacos y promover un bajo contenido de triglicéridos en la sangre.

Para desarrollar la investigación a nivel de laboratorio se planteó las siguientes actividades:

- Una caracterización fisicoquímica del polvillo de arroz.
- Inactivación de la enzima lipasa.
- Determinación de los parámetros de extracción los cuales incluyen: tiempo de extracción, temperatura de extracción, flujo de CO₂, tiempo retención o saturación.

- Determinación de los rendimientos en función de la optimización de cada parámetro planteado.
- Una evaluación fisicoquímica del aceite extraído y la determinación de los ácidos grasos de mayor importancia.
- Se realizaron pruebas para el refinado del aceite debido a las características peculiares del polvillo de arroz.

A nivel industrial o piloto diseño y construcción del equipo de fluidos supercríticos, se plantearon las siguientes actividades

- El diseño del equipo de fluidos supercríticos mediante un escalamiento, con una capacidad 04 litros.
- La construcción del equipo de fluidos supercríticos mediante la compra y materiales e insumos para su armado.
- La pruebas para determinar los parámetros de extracción a nivel Piloto.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Respecto a la caracterización del polvillo de arroz: El rendimiento es uno de los aspectos importantes para poder planificar, puesto que deseamos conocer cuánto se produce de polvillo de arroz y cuál es la variedad apropiada, porque evaluados aspectos importantes primero que tenga un mayor rendimiento en la producción de polvillo y segundo que este polvillo tenga alto rendimiento en aceite. En el arroz con cascara se le realizó el análisis morfométrico dando en promedio de largo 97 mm, ancho de 35 mm siendo la relación largo/ ancho de 2,77. Seguidamente se realizó la caracterización de las variedades de arroz Tacuari e IR43 que son las de mayor producción en la zona de Corire. En la Tabla N°01 se muestran los rendimientos en el pilado del arroz de la variedad Tacuarí.

Tabla N°01
Los rendimientos en el pilado del arroz de la variedad Tacuarí

Partes del arroz	Rendimiento %
Arroz entero	64 - 66
Granillo	15
Polvillo	9 -10

El molino arrocero Chapí Actualmente procesa en promedio 5000 toneladas de arroz, La planta cuenta con dos molinos; Uno de 2 TM/h y Uno de 1TM/h, esto garantizan la producción de polvillo de arroz para los efectos del proyecto.

La variedad IR 43 normalmente ocupa el 90 % de la producción recibida en planta. La cosecha se lleva a cabo cuando tiene una humedad aproximada de 16 % con la cual se puede ingresar la materia prima a la planta donde es colocada sobre piso de cemento para completar el secado respectivo.

Luego se realizó el análisis proximal del polvillo de arroz el cuan se muestra en la Tabla N°02 Análisis proximal del polvillo de arroz.

Tabla N°02
Análisis proximal del polvillo de arroz

Humedad	Cenizas	Grasa	Proteínas	Carbohidratos
9,93 %	10,71%	21,05%	13,22%	45,09%

De las evaluaciones realizadas a las materias primas se pudo determinar que la variedad de mayor volumen de producción en el Molino Arrocero Chapí es el IR-43. Que el rendimiento en % de polvillo en esta variedad es de 21,14.

Que el contenido de aceite en el polvillo de arroz es de 21,05 % y que la empresa cuenta con una cantidad suficiente de arroz y por lo tanto garantiza la producción de polvillo de arroz para la obtención de aceite. Para la inactivación de la enzima lipasa se realizó el tratamiento en una estufa con recirculación de aire a 80°C durante un período de 2 horas y luego la muestra fue almacenada a temperaturas debajo de 8°C.

Determinación de los parámetros de extracción: Primeramente se realiza el llenado del Vessel, con aproximadamente 30 gr de polvillo de arroz inactivado, seguidamente se prende el equipo por unos 15 minutos para que enfríe y luego se abre la llave del tanque de CO₂ para que pueda trabajar la bomba en forma adecuada se debe tener una presión mínima de 750 psi. Debemos asegurarnos que el CO₂ esté totalmente líquido y la bomba no tenga complicaciones. Ahora programamos la presión a la cual se ha trabajado. Luego se procede a regular las temperaturas en este caso se trabajó a 40°C del horno y 80°C en a la temperatura de restricción. Seguidamente

se programa el tiempo de saturación con la finalidad de que el CO₂ tome contacto en forma total con el polvillo y pueda una mejor solubilidad del aceite, se ha trabajado con tiempos desde 15 a 20 minutos.

Seguidamente se abre la llave micrométrica para que obtenga el aceite de polvillo regulado del flujo de salida para evitar pérdidas. En el flujometro se puede ver el flujo másico del CO₂. Se recibe el aceite en envases especiales puesto que ambos compuestos a medio ambiente tienen diferentes comportamientos el aceite líquido o sólido según condiciones de trabajo, mientras que el CO₂ es gas, esto permite la separación de ambos compuestos.

Tabla N°03

Determinación de los rendimientos y parámetros de extracción a nivel de laboratorio

RESUMEN DE DATOS SOBRE EXTRACCIONES DE ACEITE DE POLVILLO DE ARROZ - SCF

Proceso	Muestra gramos	Tiempo Total		Tiempo (minutos)			Temperatura (°C)		Caudal (ml/min)			Extracción (%)	Presión Inicial tanque de CO ₂ (PSI)
		Ext. (horas)	Estático Sat.	Dinámico Ext.	Horno	Restricción	Presión (PSI)	Bomba CO ₂	Flujometro Aceite	Peso Acumulado (g.)			
1	M1 - 30.003	8	20	20	40	80	4350	20	5	3,612	12,04		
2	M2 - 30.008	8	15	15	45	80	4350	24	6	4,557	15,18		
3	M3 - 30.001	8	20	10	45	80	4350	24	6	4,031	13,44	778	
4	M4 - 30.005	8	15	15	50	80	4350	24	6	4,463	14,87	760	
5	M5 - 30.003	8	15	15	45	80	2900	24	6	2,508	8,36	780	
6	M6 - 30.000	8	15	15	45	80	5800	24	6	4,946	16,49	700	
7	M7 - 30.001	8	15	15	55	80	5800	24	6	4,928	14,76	679	
8	M8 - 30.002	8	15	15	35	80	5800	24	6	5,048	16,83	707	



Fig. N°01: Determinación de los rendimientos

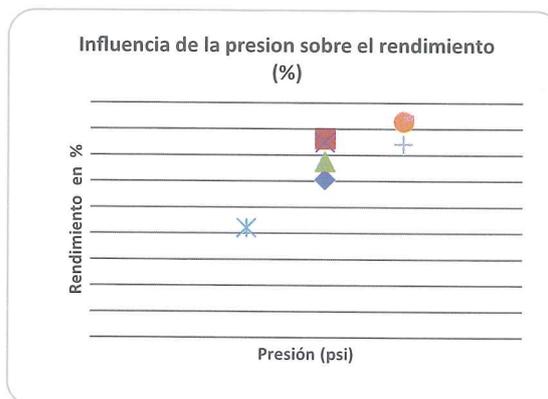


Fig. N°02: Efecto de la presión sobre el rendimiento

En la Tabla N° 04 se muestran los parámetros óptimos para la extracción de aceite del polvillo de Arroz.

Tabla N°04
Parámetros óptimos de extracción a nivel de laboratorio

Temperatura °C	Presión (psi)	Flujo o caudal de CO2 en ml/min	Tiempo de extracción (h)	Rendimiento %
35 - 45	4350-5800	6	8	14-17

Se realizaron los análisis Físicoquímicos del aceite de la variedad Tacuarí en donde se lograron los siguientes resultados: Contenido de grasa Basal: 21.95 Densidad en g/ml: 0.817, Índice de refracción: 1.47, Punto de fusión: 32 °C, Determinación del color: 317 nm.

Proceso de refinación del aceite de polvillo de arroz; Establecimiento de las características físicoquímicas del aceite; La acidez del aceite se encuentra entre: 16.93 a 22.59 estos datos son fundamentales para realizar el proceso de neutralización del aceite que relativamente son altos. El índice de peróxidos varía desde 12.56 hasta 30.11, haciendo estos valores que el aceite sea para el consumo humano y respecto al índice de yodo, los valores van a variar desde 57.74 – 64.07 g 12/100 g muestra. Esta cantidad es importante porque reafirma el alto contenido de ácidos grasos insaturados en el aceite de polvillo de arroz.

Desgomado; Esta operación es la separación de todas las partículas existentes en el aceite, esta operación no ha sido establecida puesto que los volúmenes eran muy pequeños y que en la extracción los sólidos quedan retenidos en el filtro con que cuenta el Vessel o Extractor. Por lo tanto se realizó una filtración del aceite habiéndose logrado una pérdida del 1,5 % del total del aceite.

Blanqueado; Se ha realizado de evaluación en del color del aceite extraído lográndose una lectura de la absorbancia de 317 nm, similar a los aceites comerciales. Por lo tanto no necesitamos decolorar o blanquear el aceite. Gracias a las características de extracción con que cuenta el equipo, además hace que no tengamos pérdidas en esta operación.

Neutralización; Esta operación para el caso del aceite de polvillo de arroz es importante, por la presencia en las muestras iniciales de la enzima lipasa. Necesitamos realizar una evaluación más minuciosa en toda la cadena productiva y ver cómo es el comportamiento de esta enzima.

Para este caso se han tenido que utilizar concentración de NaOH que varían desde 9,42 a 12.64 % para valores de acidez que varían de 16.93 a 22.59 respectivamente. Se han determinado pérdidas por la refinación que han llegado entre 20 a 22 %.

A nivel industrial o piloto; Diseño y construcción del equipo de fluidos supercríticos de 04 litros de capacidad a nivel piloto. En el presente hito hemos realizado el escalamiento del nivel de laboratorio, al nivel industrial, utilizando el equipo de Fluidos Supercríticos diseñado y construido por el proyecto.

Parámetros óptimos para el proceso de extracción; La experimentación se realizó durante los meses de octubre y noviembre del 2011, utilizando polvillo de la variedad Tacuarí, de arroz del valle de Majes.

Temperatura: En la experimentación de laboratorio, se definió la temperatura de 40 °C como la óptima para el proceso de extracción de aceite desde el polvillo de arroz. Este valor concuerda con lo señalado por otros investigadores en la literatura.

Se iniciaron las pruebas preliminares con temperaturas de 30, 40 y 50 °C; para presiones de 240, 300 y 325 bares. No se puede utilizar temperaturas mayores a 50

°C porque se corre el riesgo de producir la desnaturalización de elementos del aceite como el tocoferol, vitamina E, vitamina B, etc. La temperatura se mide en el interior de la celda de extracción o Vessel de 4 litros de capacidad construido en acero inoxidable. Los resultados se muestran en la Figura 03.

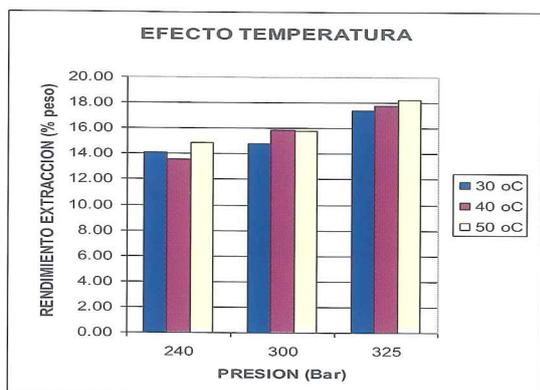


Fig. N°03: Efecto de la temperatura en la extracción en la planta piloto

Se observa que conforme aumenta la temperatura, los rendimientos de extracción también aumentan, con un mínimo de 13.58% y un máximo de 18.23%. Se concluye que la temperatura óptima de extracción es de 50 °C.

La interacción con la presión es directa, esto es si aumentamos la presión, el rendimiento de extracción aumenta también, para cualquier valor de la temperatura.

Presión: La bomba 784 KM.CO2 adquirida está diseñada para alcanzar presiones máximas de 345 bares (5000 psi). No hemos encontrado en el mercado, bombas que produzcan mayores presiones, dentro del presupuesto con el que contamos para la compra de la bomba en el proyecto.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos con el equipo experimental, se decidió probar 3 presiones de trabajo: 240, 300 y 325 bares. No podemos generar mayores presiones porque podemos dañar la bomba, además de que la válvula de seguridad del equipo libera

el flujo cuando la presión pasa de 340 bares.

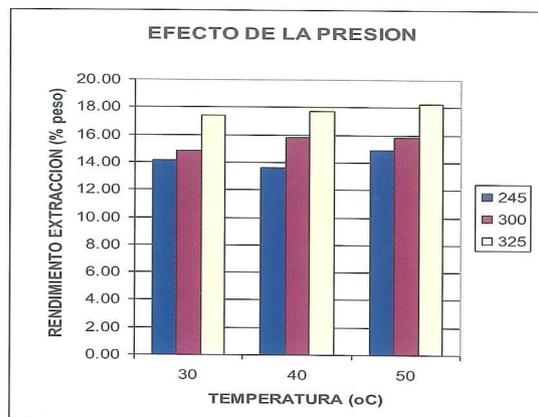


Fig. N°04: Efecto de la presión en la extracción a nivel de planta piloto

Se observa que conforme aumenta la presión, los rendimientos de extracción también aumentan, con un mínimo de 13.58% y un máximo de 18.23%. Se concluye que la presión óptima de extracción es de 325 bares. La interacción con la temperatura es directa, esto es, si aumentamos la temperatura, el rendimiento de extracción aumenta también, para cualquier valor de la presión.

Flujo: El flujo de CO₂ se reguló en base a los resultados de la experimentación en laboratorio y a las recomendaciones de la literatura de llenar el Vessel al 80% y circular el volumen restante 6 a 7 veces. El período de extracción se determinó en 4 horas, para que coincida con los turnos de trabajo en el molino arrocero Virgen de Chapí.

Durante la extracción, se bombea CO₂ por 15 minutos, y luego se deja que sature 15 minutos. Luego se bombea nuevamente por 15 minutos, se reposa 15 minutos y así sucesivamente. El flujo se calculó según los datos mostrados en el Tabla N°05.

Tabla N°05

Determinación del flujo de CO2 en el Vessel de extracción

Flujo Máximo Bomba	7.56	Litros/minuto
Densidad CO2 supercrítico	470	kg/m ³
Densidad polvillo de arroz	460	kg/m ³
Volumen vessel	4	Litros
Porcentaje llenado	0.80	%
Volumen que se llena	3.20	Litros
Volumen vacío	0.8	Litros
Peso de polvillo que se carga	1,472.00	Gramos
Tiempo total de extracción	4	Horas
Tiempo real de extracción	2	Horas
Ciclos de circulación	7	Ciclos
Volumen a circular	22.4	Litros
Caudal a circular	11.2	Litros/hora
	0.19	Litros/minuto

Se observa que el flujo recomendado es de 0.19 litros/minuto que equivale al 6% del volumen de polvillo cargado en el Vessel.

Asimismo, la capacidad de la bomba 7.56 litros/minuto, excede largamente al caudal requerido (0.19 litros/minuto). Pero esto es así porque el principal requerimiento es de presión, más que de caudal, durante la extracción; y para ello necesitamos bombas de alta presión para CO₂. Para determinar el período de extracción se consideró; El rendimiento de la extracción, en periodos acumulados

de tiempo de 30 minutos, cuyos resultados se muestran en la Figura 05.

La jornada de trabajo en la empresa, que es de 8 horas, por lo que es recomendable que el período de extracción sea un múltiplo o submúltiplo del valor de 8 horas. Las recomendaciones de la literatura señalan que el período de extracción debe de ser como mínimo de 1 hora, aunque este se ve afectado por la presión, el caudal y la temperatura de extracción.

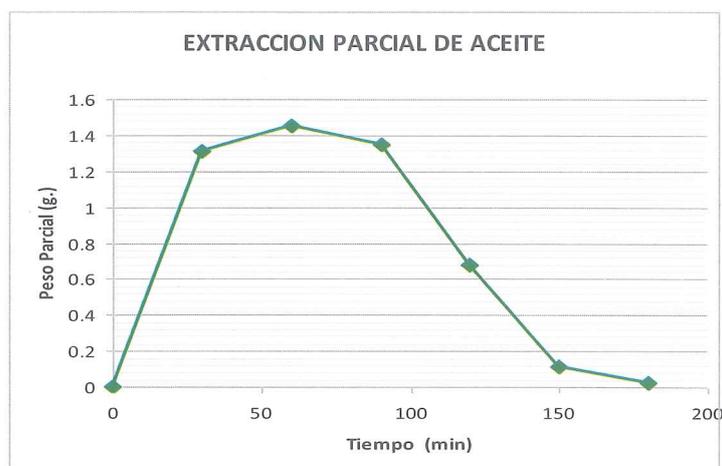


Fig. N°05. Rendimiento de la extracción según el tiempo de extracción

Considerando los factores anteriores, se determinó que el período de extracción debe de ser de 4 horas. Por lo tanto en la determinación de los parámetros de extracción a nivel de planta piloto fueron los siguientes; La temperatura óptima de extracción de aceite de polvillo de arroz con CO₂ supercrítico, para la planta diseñada, es de 50 °C. La presión óptima de extracción de aceite de polvillo de arroz con CO₂ supercrítico, para la planta diseñada, es de 325 bares (4 550 p.s.i.). El flujo o caudal óptimo para la extracción de aceite de polvillo de arroz con CO₂ supercrítico, en la planta diseñada, es de 0.19 litros/minuto, considerando periodos de reposo de 15 minutos, entre cada ciclo de extracción de 15 minutos. El período óptimo de extracción de aceite de polvillo de arroz con CO₂ supercrítico, para la planta diseñada, es de 4 horas.

Parámetros óptimos para el refinado, en planta piloto; Entre las pruebas de mayor importancia realizadas tenemos; La acidez, El índice de iodo, El índice de peróxidos, El índice de saponificación, y la neutralización del aceite. A la mayoría de los aceites se les realiza la refinación, puesto que las materias primas ya sean semillas o frutos cuentan con diferentes características, provocando en el aceite colores diferentes, contaminación; puesto que las semillas son colocadas al sol para que eliminen agua, estas actividades provocan el aumento de la acidez en el producto originando la hidrolización del triglicérido. El aceite de polvillo de arroz, cuenta en su composición con la enzima lipasa que se encuentra en forma natural y es uno de los principales problemas a la hora de extraer el aceite. Es por ello que luego de realizar el pilado inmediatamente se tiene que inactivar esta enzima, si se quiere tener aceite de buena calidad y con menores pérdidas en el proceso de refinado. Los ácidos grasos libres son neutralizados con soda cáustica y ceniza de soda, formando jabones. Este

concentrado es obtenido a través de un centrifugado y se obtiene el aceite neutralizado que es bombeado hacia un tanque de almacenamiento. El aceite neutralizado es mezclado con arcilla activa en la blanqueadora, en proporciones que depende de la intensidad de color que tenga el aceite a tratar, seguidamente se filtra para eliminar resto de arcillas acidas.

La desodorización se realiza con la finalidad de eliminar malos olores, esta operación se realiza a alta presión de vapor en una cámara sellada al vacío, quedando listo el producto para ser envasado y comercializado. Inicialmente realizó el análisis proximal del polvillo de arroz de la variedad Tacuarí, con la finalidad de conocer el contenido de aceite objetivo de la investigación así mismo el contenido de proteínas, carbohidratos, etc. En la Tabla N° 06, se muestran los resultados del análisis proximal del polvillo de arroz, realizado durante la fase experimental en laboratorio.

Tabla N°06
Análisis proximal del polvillo de arroz,
variedad Tacuarí

DESCRIPCION	VALOR PROMEDIO (%)
Humedad	9,93
	10,71
Grasa	21,05
	13,22
Carbohidratos	45,09

Estos resultados son datos promedio de dos repeticiones de muestras tomadas del polvillo del arroz variedad Tacuarí. Es importante señalar que el contenido de grasa en el polvillo ha alcanzado un 21.05 %, esto nos permite corroborar que el contenido de aceites es superior a lo esperado. En las pruebas de extracción, hemos llegado a obtener valores de 18.23% que equivalen a una eficiencia de extracción del 86.60%.

En la Tabla N° 07 se muestra los resultados de los análisis físicos químicos para la evaluación de la calidad del aceite.

Tabla N°07
Resultados obtenidos en la extracción

Muestra	Grasa Extraída (%)	Grasa Residual (%)
Basal		21.05
M-A	14.13	6.92
M-B	14.81	6.24
M-C	17.38	3.67
M-D	13.58	7.47
M-E	15.83	5.22
M-F	17.75	3.30
M-G	14.89	6.16
M-H	15.81	5.24
M-I	18.23	2.82
Grasa Basal	21.05%	

Se puede observar que el mayor rendimiento lo ha dado la muestra M – I con un 18.23 %. Esta extracción corresponde a una presión de 325 bares y una temperatura de 50 °C. Este rendimiento es alto e importante para la investigación, puesto que otros resultados bibliográficos nos indican menores rendimientos en el rango de 12 a 16%.

Proceso de refinado

Inicialmente realizamos una evaluación fisicoquímica del aceite obtenido. En la Tabla N° 08 mostramos los resultados de los análisis planteados

Tabla N°08
Evaluación fisicoquímica del aceite de polvillo de arroz

Muestra	Acidez %	Índice Peróxido meq/kg	Índice Yodo g/100
M-A	13.45	4.21	62.05
M-B	10.11	9.63	64.55
M-C	12.29	8.75	65.17
M-D	11.74	7.66	63.17
M-E	11.33	9.10	64.18
M-F	13.27	10.39	63.67
M-G	13.65	11.29	64.39
M-H	14.39	12.01	62.28
M-I	12.55	11.75	63.64
Promedio	12.53	9.42	63.68

Se puede observar que la acidez continua siendo alta, como se obtuvo en la etapa experimental en laboratorio, al igual que el índice de peróxido. Respecto al alto índice de yodo, este resultado es importante puesto que indica que el contenido de triglicéridos insaturados es alto, lo que nos permite tener un aceite de alta calidad.

Esta información se utilizó para realizar el proceso de refinación el Desgomado el aceite de polvillo de arroz, extraído se colocó en dos volúmenes de agua tratada, con la finalidad que las partículas se hidraten, los mucílagos aumenten su peso y precipiten al fondo del envase.

Luego se procedió a la filtración de los residuos. Se observó un pérdida de 0.63% del total del aceite tratado, valor similar al de 0.7% obtenido en la etapa experimental.

Neutralización; La acidez promedio del aceite es de 12.53, algo menor al valor alcanzado en la etapa experimental que fue de 13.03. La reducción en la acidez puede deberse a las mayores temperaturas utilizadas durante la etapa de extracción en la planta piloto. Se procedió a realizar la neutralización, agregando soda cáustica para provocar la formación de jabones con los ácidos grasos hidrolizados. Es importante realizar un cálculo lo más exacto posible para evitar la hidrolización de los triglicéridos. La relación normal es: por cada 2 grados de acidez se agrega 2 % del peso de ácidos grasos libres; por lo tanto se agregó 14.40 ml de soda, llegando a obtener una acidez de 0.20. Luego se filtró el aceite quedando la muestra, casi en su totalidad, compuesta por triglicéridos. Las pérdidas alcanzaron el 18.63% de la muestra original.

Blanqueado; Tiene por finalidad mejorar el color del aceite. El fundamento consiste en hacer pasar la muestra por arcillas tratadas con ácido clorhídrico, que tiene la propiedad de blanquear los aceites. Para ello se colocó concentraciones de 0,5 hasta 1,5 % de arcilla en un depósito a la temperatura de 90 °C por

un tiempo de 30 minutos, luego se filtró y se obtuvo un aceite de color comercial.

Desodorización; Esta operación se realiza con la finalidad de eliminar los olores con que cuenta el aceite de polvillo de arroz. Como no contamos con equipos al vacío, hemos realizado la desodorización calentado el aceite a 150°C, intercalando el tratamiento por cada 15 minutos, lográndose disminuir considerablemente el olor al arroz del aceite de polvillo de arroz.

Winterizado; Esta actividad no se ha cumplido porque se necesitan cámaras de frío para formar cristales con los glicéridos presentes en el aceite.

En el proceso de refinación se logró obtener los siguientes resultados

Las pérdidas en el proceso de refinado son de 18.63%, lo que determina una eficiencia de 81.37% en el proceso de refinado. El aceite de polvillo extraído presenta alta acidez (12.53) y altas concentraciones de peróxidos (9.42), por lo que debe prestarse especial atención al proceso de refinado. El alto índice de yodo del aceite de polvillo extraído (63.68), indica que el contenido de triglicéridos insaturados es alto, lo que nos permite tener un aceite de alta calidad. Proceso óptimo para la extracción y refinado de aceite de polvillo de arroz a nivel industrial se ha determinado los parámetros óptimos para la extracción y refinación del aceite de polvillo de arroz, de la planta de CO2 supercrítico construida. En lo que se refiere a la extracción por fluidos supercríticos a nivel piloto, se obtuvo rendimientos hasta de 18.23%, que son mayores a los obtenidos en el equipo experimental. En lo que respecta a la refinación del aceite, es importante ajustar el manejo post cosecha, de modo que se pueda lograr la inactivación de la enzima lipasa en forma rápida, para obtener aceites de mejor calidad y así tener menos pérdidas en la operación de la neutralización.

Definición de parámetros óptimos para la extracción de aceite en planta piloto

Proceso de extracción por CO2 supercrítico; Los resultados del trabajo de extracción del aceite con FSC, se resumen en la Figura N°6, donde se puede observar que la temperatura de extracción óptima es de 50 °C, y la presión óptima es de 325 bares. El rendimiento de extracción alcanza valores pico de 18.13% (para temperatura de 50 °C y presión de 325 bares)

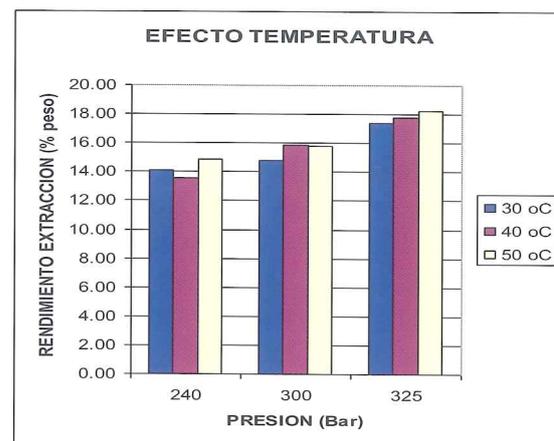


Fig. N°06: Efecto de la presión y temperatura en el rendimiento de la extracción por FSC

Puede observarse que el efecto de la presión sobre el rendimiento de extracción es más significativo que el efecto de la temperatura, ya que un incremento de 66.67% en la temperatura (de un valor inicial de 30 a uno final de 50 °C) produce un incremento de 5.62% en el rendimiento de la extracción (de un valor inicial de 15.44 a uno final de 16.31). En contraste, un incremento de 32.65% en la presión (de un valor inicial de 245 a uno final de 325 bares) produce un incremento de 25.26% en el rendimiento de la extracción (de un valor inicial de 14.20 a uno final de 17.79).

Tabla N°09

Efecto de la variación de temperatura y presión, sobre el rendimiento de la extracción

Temperatura (°C)	Rendimiento Extracción %	Incremento Temperatura	Incremento Rendimiento Extracción (%)
30	15.44	0.00	0.00

Presión (Bar)	Rendimiento Extracción %	Incremento Presión %	Incremento Rendimiento Extracción %
40	15.72	33.33	1.81
50	16.31	66.67	5.62
245	14.20	0.00	0.00
300	15.48	22.45	9.04
325	17.79	32.65	25.26

Definición de los parámetros óptimos para el refinado de aceite en planta piloto; en el refinado se debe realizar una estandarización del aceite extraído, este consiste en: Separar sólidos presentes, Eliminar los triglicéridos hidrolizados, que están dados por la acidez, Realizar el blanqueado para estabilizar el color de los aceites comerciales, en un amarillo brillante. Es importante señalar que la calidad de aceite va a depender del manejo de post cosecha del arroz. El tiempo de exposición del polvillo de arroz después del pulido, es importante porque en ese momento la lipasa que se encuentra en forma natural en el producto comienza a hidrolizar los triglicéridos provocando la aparición de compuestos como glicerol, monoglicéridos y diglicéridos, elementos que deben ser eliminados por el proceso de neutralización.

Desgomado; El aceite de polvillo de arroz, extraído se colocó en dos volúmenes de agua tratada, con la finalidad que las partículas se hidraten, los mucílagos aumenten su peso y precipiten al fondo del envase. Luego se procedió a la filtración de los residuos y se tuvo una pérdida de 0.63% del total del aceite tratado.

Neutralización; Se determinó la acidez del aceite llegando en promedio hasta 12.53. Este análisis nos permite determinar la calidad del aceite, con este valor realizamos la neutralización, operación que consiste en agregar soda cáustica provocando la formación de jabones con los ácidos grasos hidrolizados. Es importante realizar el cálculo lo más exacto posible para evitar la hidrolización de los triglicéridos. La relación normal es: por cada 2 grados de

acidez se agrega 2 % de peso de ácidos grasos libres; por lo tanto se agregó 14.40 ml de soda, llegando a obtener una acidez de 0.20.

Luego se filtró el aceite quedando la muestra, casi en su totalidad, compuesta por triglicéridos.

Las pérdidas alcanzaron el 18.63% de la muestra original.

Blanqueado; Tiene por finalidad mejorar el color del aceite. El fundamento consiste en hacer pasar la muestra por arcillas tratadas con ácido clorhídrico, que tiene la propiedad de blanquear los aceites. Para ello se colocó concentraciones de 0,5 hasta 1,5 % de arcilla en un depósito a la temperatura de 90 °C por un tiempo de 30 minutos, luego se filtró y se obtuvo un aceite de color comercial.

Desodorización; Esta operación se realiza con la finalidad de eliminar los olores con que cuenta el aceite de polvillo de arroz. Como no contamos con equipos al vacío, hemos realizado la desodorización calentado el aceite a 150°C, intercalando el tratamiento por cada 15 minutos, lográndose disminuir considerablemente el olor al arroz del aceite de polvillo de arroz.

Winterizado; Esta actividad no se ha cumplido porque se necesitan cámaras de frío para formar cristales con los glicéridos presentes en el aceite.

Determinación de los ácidos grasos en el aceite de polvillo de arroz. Se realizó la corrida del aceite obtenido de polvillo de arroz para cuantificar los contenidos de ácido graso oleico, linoleico y linoléico respectivamente, para lo cual se utilizó la variedad IR 43. Para esta prueba se utilizaron tres repeticiones. En el anexo N° 02 se muestran las corridas de la identificación realizadas en el Cromatógrafo de gases.

Muestra 1:

Obtenida a 50°C, 6580 psi y tiempo de saturación estático de 20 minutos y luego extracción continua por 4 horas: Ácido oleico: promedio: 4,3% (omega 9), Ácido

Linoleico: promedio: 3,61% (omega 6),
 Ácido Linolénico: promedio: 0,17%
 (omega 3)

Muestra 2:

Obtenida a 40°C, 6580 psi y tiempo de saturación estático de 20 minutos y luego extracción continua por 4 horas: Ácido oleico: promedio: 3,76%, Ácido Linoleico: promedio: 3,23%, Ácido Linolénico: promedio: 0,17%.

Muestra 3:

Obtenida a 35°C, 6580 psi y tiempo de saturación estático de 20 minutos y luego extracción continúa por 4 horas: Ácido oleico: promedio: 5,35 %, Ácido Linoleico: promedio: 4,73%, Ácido Linolénico: promedio: 0,26 %

CONCLUSIONES

Se diseñó, construyó y se experimentó una planta piloto de 4 litros para FSC (para pequeña industria), con resultados muy buenos en regulación de temperatura, presión y flujo de CO₂. En base a las operaciones de extracción y refinación se ha logrado determinar los parámetros óptimos para el proceso:

La temperatura óptima de extracción de aceite de polvillo de arroz con CO₂ supercrítico, para la planta diseñada, es de 50 °C. La presión óptima de extracción de aceite de polvillo de arroz con CO₂ supercrítico, para la planta diseñada, es de 325 bares (4 550 p.s.i.). El flujo o caudal óptimo para la extracción de aceite de polvillo de arroz con CO₂ supercrítico, en la planta diseñada, es de 0.19 litros/minuto, considerando periodos de reposo de 15 minutos, entre cada ciclo de extracción de 15 minutos. El período óptimo de extracción de aceite de polvillo de arroz con CO₂ supercrítico, para la planta diseñada, es de 4 horas. Las pérdidas en el proceso de refinado son de 18.63%, lo que determina una eficiencia de 81.37% en el proceso de refinado.

AGRADECIMIENTO

Al Instituto de Investigación y Desarrollo del Sur, FINCYT, al Molino Arroceros Chapí como empresas beneficiarias y cofinancieras del proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICA

1. CSEKE L. et. al. Natural products from Plants. Second Edition. Taylor & Francis Group, USA – 2006.
2. HANSON J. Natural Products: the secondary Metabolites. Royal Society of Chemistry. Great Britain, UK – 2003.
3. MEYER V. Practical High Performance Liquid Chromatography. Fourth Edition. Wiley Ed. Germany – 2004.
4. KROMIDAS S. HPLC made to measure, a Practical Handbook for optimization. Wiley-VCH. Germany – 2006.
5. BLIESNER D.M. Validating Chromatographic Methods: A Practical Guide. Wiley Interscience. USA – 2006.
6. PERALTA-BOHÓRQUEZ A.F., Armando Reyes Najar, Javier A. Rangel-Mendoza, Alejandro Nivia-Quintero, Alvaro A. Mendoza-Garzón, Luis I. Rodríguez-Varela, Fabián Parada-Alfonso. Diseño y construcción de equipos de extracción con fluidos supercríticos (efs) y algunas aplicaciones en análisis de alimentos Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
7. REQUE DÍAZ J.D. Estudio de pre-factibilidad para la fabricación de harina de arroz y su utilización en panificación. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, 2007.
8. GOLDEMBERG JULIO F. Desarrollo de la ingeniería básica de una planta industrial para extracción con CO₂ líquido. Departamento de Química.

- Centro Regional Universitario Bariloche. U.N.C.
9. SOTELO SANCHO JOSÉ LUIS, Overejo Escudero G. Procesos con fluidos supercríticos. Anales de la Real Sociedad Española de Química, Departamento de Ingeniería Química, Universidad Complutense
 10. ANDRÉS F. PERALTA-BOHÓRQUEZ, Armando Reyes Najar, Javier A. Rangel-Mendoza, Alejandro Nivia-Quintero, Alvaro A. Mendoza-Garzón, Luis I. Rodríguez-Varela, Fabián Parada-Alfonso Diseño y Construcción De Equipos De Extracción Con Fluidos Supercríticos (Efs) Y Algunas Aplicaciones En Análisis De Alimentos. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
 11. JOHNNY DANIEL DREQUE DIAZ. Estudio de pre-factibilidad para la fabricación de harina de arroz y su utilización en panificación”. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima – Perú 2007
 12. JULIO FERNANDO GOLDENBERG Desarrollo De La Ingeniería Basica De Una Planta Industrial Para Extracción Con Co2 Líquido. Departamento de Química. Centro Regional Universitario Bariloche. U.N.C.
 13. JOSÉ LUIS SOLETO SANCHO – GABRIEL, OVEREJO ESCUDERO. Extracción Con Fluidos Supercríticos Elsautors, 2005; Ediciones UPC, 2005. Fluidos Supercríticos. Anales de la Real Sociedad Española de Química, Departamento de Ingeniería Química, Universidad Complutense
 14. YUNUS A. CENGEL – MICHAEL A. BOLES, Termodinámica, Mcgraw-hill (2006, 5ª edición) 1028 páginas
 15. HOJA DE DATOS DEL PRODUCTO – PRAXAIR Producto: Dióxido de Carbono (LÍQUIDO REFRIGERADO) (HSDP N° P-4573)
 16. UNIVERSIDAD DE OHIO Engineering Thermodynamics - by Israel Urieli
 17. Thermodynamic Properties of R744 (Carbon Dioxide - CO2) Disponible en Internet [http://www.ent.ohiou.edu/~thermo/property_tables/CO2/index.html]
 18. PHILIP J. ROBERT S. CHARLES C. Gas chromatographic technologies for the analysis of essential oils. paper Australia.
 19. CAMILA G. PEREIRA A. MARCIA O.M. extracción de alcaloides indol a partir de *tabernaemontana catharinensis* utilizando CO2 supercrítico más etanol una evaluación de las variables del proceso y el origen de las materias primas. PAPER ELSEVIER 2003.
 20. J. PABLO FERNÁNDEZ-TRUJILLO. Extracción convencional de oleorresina de pimentón dulce y picante I. Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT). Departamento de Ingeniería de Alimentos y Equipamiento Agrícola. 2007.

CORRESPONDENCIA

Camilo Fernández Barriga

E-mail: cfernandezba@gmail.com

FECHA DE RECEPCIÓN : 11/10/2013

FECHA DE ACEPTACIÓN : 01/07/2014