

EXTRACCIÓN DEL ACEITE DE LA CÁSCARA DE *Bactris gasipaes* HBK USANDO DIÓXIDO DE CARBONO PRESURIZADO

Antonio Pasquel; Abel del Castillo
Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la UNAP, Iquitos, Perú
antoniopasquel@universia.edu.pe

Víctor Sotero; Dora García
Facultad de Ingeniería Química de la UNAP, Iquitos, Perú

ABSTRACT

*This work is a part of an integral research on the fruit of *Bactris gasipaes* HBK or *Guilielma gasipaes*, known as "pijuayo" in the Peruvian Amazon, that intends the extraction of its oils using pressurized carbon dioxide, characterizing them of the point of view of its chemical composition, evaluating the kinetic aspects of the process, and comparing the results with those obtained by means of conventional extraction (Soxhlet) using hexan as the solvent.*

The effect of the temperature, the pressure, the particle size, and the static period in the process has been determined, being used a Fractional Factorial Design 2^{4-1} . To evaluate the pressures one kept in mind the high power of solvation of the CO_2 in the critical point neighbor: 80 and 65 bar. To determine the effects of the four studied variables was carried out an analysis of variances of the results obtained in each one of the used experimental conditions.

It has been that the temperature only exercises statistically effect significant in the process, considering the total quantity of extract or the quantity of saturated and unsaturated fatty acids. The total quantity of oil and the quantity of saturated fatty acids to increase with the increase of the temperature, however the quantity of unsaturated fatty acids diminishes under the same conditions, becoming evident that it is advisable to work with the smaller temperature (20°C) to obtain an oil of better alimentary quality.

It has also been that 9,80% of saturated fatty acids present in the oil obtained under the experimental conditions of 20°C, 80 bar, zero of static period, and particle size of -8+10 mesh (Test 3), it assures a good alimentary quality, especially when it is compared with the olive oil (saturated: 11,70%), colza oil (saturated: 7,30%), soya oil (saturated: 15,40%) and corn oil (saturated: 13,60%).

Key Words: *Pijuayo; *Bactris gasipaes*; *Guilielma gasipaes*; Carbon dioxide; Pressurized Extraction; Oils*

RESUMEN

El presente trabajo forma parte de un proyecto de estudio integral del fruto de la palmera *Bactris gasipaes* HBK conocida en la Amazonía Peruana como “pijuayo”, actualmente en ejecución, comprendiendo cáscara, pulpa y semilla, que se propone la extracción de sus aceites mediante el uso de dióxido de carbono presurizado, caracterizándolos del punto de vista de su composición química, evaluando los aspectos cinéticos del proceso, y comparando los resultados con los obtenidos mediante extracción sólido-líquido convencional tipo Soxhlet utilizando hexano como solvente. Se ha determinado el efecto de la temperatura, la presión, la granulometría y el período estático en el proceso, utilizándose un Diseño Factorial Fraccionado 2⁴⁻¹.

Para evaluar las presiones se tuvo en cuenta el alto poder de solvatación del CO₂ en las inmediaciones del punto crítico, escogiéndose una presión ligeramente superior y otra ligeramente inferior a tal punto: 80 y 65 bar. Para determinar los efectos de las cuatro variables estudiadas se realizó un análisis de varianzas de los resultados obtenidos en cada una de las condiciones experimentales utilizadas.

Se ha encontrado que únicamente la temperatura ejerce efecto estadísticamente significativo en el proceso, sea en función a la cantidad total de extracto o a la cantidad de ácidos grasos saturados e insaturados. La cantidad total de aceite y la cantidad de ácidos grasos saturados en el mismo aumentan con el aumento de la temperatura, sin embargo la cantidad de ácidos grasos insaturados disminuyen en las mismas condiciones, haciéndose evidente que en aras de un aceite de mejor calidad alimentaria es recomendable trabajar a la menor de las dos temperaturas evaluadas (20 y 27°C).

Se ha encontrado también que el 9.80% de ácidos grasos saturados presentes en el aceite obtenido bajo las condiciones experimentales de 20°C, 80 bar, sin período estático y granulometría de -8+10 mesh (Experimento 3), asegura una óptima calidad alimentaria, especialmente al compararse con el aceite de oliva (saturados: 11.70%), aceite de colza (saturados: 7.30%), aceite de soya (saturados: 15.40%) y aceite de maíz (saturados: 13.60%).

Palabras Claves: Pijuayo; *Bactris gasipaes*; *Guilielma gasipaes*; Dióxido de Carbono; Extracción Presurizada; Aceites.

1. INTRODUCCIÓN

Bactris gasipaes HBK “pijuayo” es una palmera con varios tallos o estípites cilíndricos de 15 a 30 cm de diámetro, que pueden alcanzar hasta 25 m de altura. Los frutos son drupas de coloración diferente, verduzcos, amarillos, anaranjados, rojos y colores intermedios; tienen diversas formas, cónica, ovoide o elipsoide; son de distinto tamaño, desde muy pequeños (de 1 a 1.5 cm de diámetro en frutos sin semilla), hasta muy grandes (7 cm de diámetro en frutos normales); el peso es variable y clasifica al fruto en razas:

microcarpa de 4 a 20 g, *mesocarpa* de 20 a 70 g y *macrocarpa* de 70 a 250 g; el pericarpo es delgado y a veces adherido al mesocarpo, el cual es de color amarillo o anaranjado, carnoso, amiláceo, fibroso o aceitoso; el endocarpo es negro y de consistencia dura con tres poros en el ápice. La semilla es ovoide, cónica o elipsoidal, mide de 1 a 2 cm de largo y pesa entre 1 y 5 g; el endosperma es blanco y comestible (Flores, 1997 citado por Brack Egg, 1999).

El pijuayo se distribuye en toda la Amazonía

y la América tropical. El fruto es comestible en estado maduro y cocido: harina, pasta, enlatado en salmuera, enlatado en salsa de cocona, etc. Del fruto se extrae aceite comestible que contiene ácidos grasos no saturados de gran demanda en el mercado actual. Según Soria (1991) citado por Brack Egg (1999), el fruto del pijuayo posee una gran riqueza nutricional que se aprecia en las Tablas 1 y 2.

Tabla 1: Contenido nutricional de 100 g de pulpa de pijuayo

Agua	50.7%
Grasa	5.8%
Proteínas	6.3%
Carbohidratos	35.7%
Fibra	1.3%
Cenizas	0.8%
Calcio	14.0 mg
Fósforo	16.0 mg
Hierro	1.0 mg
Vitamina A	867.7 UI
Tiamina	0.05 mg
Riboflavina	0.16 mg
Niacina	1.4 mg
Ácido ascórbico	3.5 mg
Calorías	196.0

Tabla 2: Ácidos grasos del aceite de pijuayo

Ácido Graso	Composición porcentual del aceite	
Ácido Palmítico	29.3	a 40.2
Ácido Palmitoleico	5.3	a 9.3
Ácido Esteárico	0.4	
Ácido Oleico	50.3	a 53.6
Ácido Linoleico	1.3	a 12.5
Ácido Linolénico	1.8	
Ácidos grasos insaturados	53.7	a 64.6

Los ácidos grasos componentes de las grasas y aceites suministran a estos de importantes atributos de textura y sabor los cuales son la parte central en la percepción de las propiedades sensoriales de los alimentos. Las grasas y aceites tienen un rol importante en la absorción de las vitaminas solubles A, D, E y K y también producen la sensación de saciedad que regula la cantidad de ingestión de alimentos. Las grasas y aceites como es bien conocido representan la mayor cantidad como fuente de calorías en la dieta. (aproximadamente 9 kcal por gramo de grasa en comparación a la 4 kcal por gramo para las proteínas y carbohidratos). Las recomendaciones establecen que un máximo del 30% de las calorías derivadas de las grasas y aceites deben ser consumidas en la dieta de las personas adultas en EE.UU., para prevenir las enfermedades crónicas (enfermedades coronarias y cáncer). En el crecimiento del cuerpo la evidencia sugiere que el metabolismo de las grasas y aceites se ven influenciadas por la composición total que constituyen sus ácidos grasos, más específicamente el tamaño, la configuración isomérica, grado de insaturación y la posición del éster en la molécula de glicerol (Kitts & Jones, 1996).

La extracción con fluidos presurizados es una tecnología que coincide con las exigencias actuales del mercado mundial, en el sentido de requerir productos industriales cada vez más limpios en términos ecológicos, lo que garantiza una opción preferente por productos naturales extraídos con un solvente atóxico como el dióxido de carbono, por ejemplo, en lugar de los tradicionales tóxicos y costosos solventes orgánicos utilizados en las separaciones fisicoquímicas convencionales, tanto a nivel industrial como a nivel de laboratorios de investigación.

McHugh & Krukonis (1994) llaman la atención sobre algunas interpretaciones distorsionadas en relación a las propiedades de los fluidos supercríticos, especialmen-

te en cuanto se refiere a sus propiedades de transferencia de masa. Recuerdan que con frecuencia se ha leído y escuchado que la extracción supercrítica supera las limitaciones de transferencia de masa observadas en la extracción líquida. Sin embargo esta aseveración no es enteramente correcta: si la etapa limitante¹ de un proceso de separación es la transferencia de un soluto desde la superficie de un sólido hacia el solvente, entonces la difusividad casi gaseosa de un fluido supercrítico, ciertamente, incrementará la difusión si se compara al proceso a través de un líquido; sin embargo, si la extracción se realiza desde una fase líquida hacia un fluido supercrítico, seguramente la etapa limitante será la difusión en la fase líquida, por lo que la característica de difusión casi gaseosa del solvente supercrítico, no será determinante en la velocidad global de transferencia de masa; y, similarmente, si se extrae un soluto del interior de una partícula no porosa, como un polímero por ejemplo, donde seguramente la etapa limitante del proceso será la difusión al interior de la partícula sólida, la mayor velocidad de difusión externa en el solvente supercrítico tendrá poca influencia en la velocidad global de transferencia de masa; pero si el solvente supercrítico altera las características internas del sólido, entonces sí habrá una influencia en la velocidad de transferencia de masa.

La literatura actual es casi unánime en cuanto se refiere a la denominación Extracción con Fluidos Supercríticos (SFE, del inglés *Supercritical Fluid Extraction*) o Extracción Supercrítica, para referirse a la extracción que usa como solvente un fluido arriba de su presión crítica (P_c) y de su temperatura crítica (T_c); sin embargo existen algunas otras definiciones que con menor frecuencia acostumbran aparecer en la literatura especializada: gases supercríticos, gases densos, fluidos o gases presurizados. A par-

¹Es decir la etapa de mayor resistencia a la transferencia de masa.

tir de la consideración de que la separación por destilación se basa en las diferencias de presión de vapor de los componentes, y la separación por extracción se basa en las propiedades del soluto que determinan la interacción molecular con las moléculas del solvente, y tomando en cuenta que ambas características están presentes en la extracción supercrítica, Zosel (1978) propuso el uso del término *destracción* para denominar el proceso que nos ocupa.

Excepto la *Mauritia flexuosa* “aguaje” que fue caracterizado por França *et al.* (1999), y unos ensayos preliminares con un pariente del pijuayo (Araújo *et al.*, 2000), pocas otras especies vegetales amazónicas, de importancia económica potencial o efectiva, han sido estudiadas mediante la técnica de extracción con fluidos presurizados.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Preparación de la materia prima

Para realizar el presente trabajo se utilizó frutos de pijuayo maduro de color rojo de la Estación Experimental El Dorado del INIA en el km 29 de la carretera Iquitos-Nauta. Los frutos fueron separados en cáscara, pulpa y semilla. Este reporte está referido sólo al caso de la cáscara, que fue picada tamizada utilizando un agitador magnético. La humedad inicial promedio de la cáscara fue de 5.0% deshidratada al medio ambiente.

2.2 Equipo utilizado para la extracción

El montaje del equipo realizado tomando como punto de partida los trabajos de Pasquel *et al.* (1998 y 1999) y Pasquel (1999), es explicado en una presentación anterior (Pasquel *et al.*, 2000).

La extracción con dióxido de carbono

presurizado fue realizada utilizando un caudal másico promedio de dióxido de carbono de 3.18 ± 0.06 g/min, y como diseño experi-

mental un factorial fraccionado 2^{4-1} de cuatro variables y dos niveles, según se observa en la Tabla 1

Tabla 1: Diseño Experimental Factorial Fraccionado 2^{4-1}

Experimento	Presión (bar)	Temperatura (°C)	Granulometría (mesh)	Período Estático (horas)
2	80.0 ± 0.4	27.0 ± 0.1	-10+14	0
4	80.0 ± 0.4	20.1 ± 0.7	-10+14	1
7	65.4 ± 0.3	20.1 ± 0.7	-8 +10	1
3	80.0 ± 0.4	20.1 ± 0.7	-8 +10	0
6	65.4 ± 0.3	27.0 ± 0.1	-10+14	1
8	65.4 ± 0.3	20.1 ± 0.7	-10+14	0
5	65.4 ± 0.3	27.0 ± 0.1	-8 +10	0
1	80.0 ± 0.4	27.0 ± 0.1	-8 +10	1

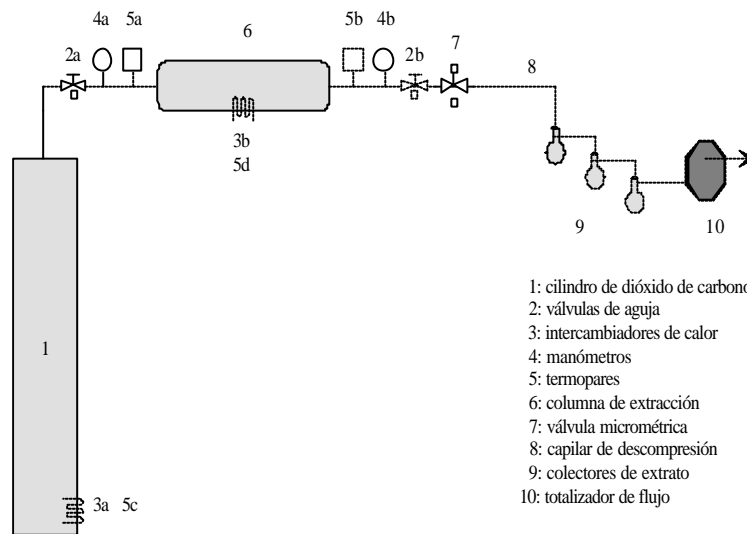


Figura 1: Unidad experimental de extracción con fluidos presurizados

El equipo de la Figura 1 tiene los siguientes componentes principales: un cilindro sifonado con capacidad de carga de hasta **30 kg de CO₂**, una columna de extracción de 60.50 cm de largo y 2.16 cm de diámetro, fabricada en acero inoxidable 316 y con resistencia mecánica comprobada hasta 80 bar,

dos manómetros digitales marca PSI-Tronix para lecturas de hasta 500 bar, dos baños termostáticos con circulación marca Polystat, un indicador de temperatura de cinco salidas marca Robert Shaw T4WM, un medidor de caudal marca LAO modelo G1, una válvula micrométrica marca Autoclave Engineers,

dos válvulas de aguja marca Detroit modelo 1AV.

El procedimiento operacional para la utilización de la unidad experimental fue el siguiente: pesar y cargar la célula extractora con la materia prima. Prender y programar el baño a la temperatura deseada, y dejar que la materia prima de la célula extractora alcance la temperatura de trabajo. Dejar transcurrir el período estático abriendo la válvula 2a. Inicio de la extracción abriendo las válvulas 2b y 7 en la Figura 1. Las colectas fueron horarias durante las 15 horas del proceso.

2.3 Equipo para la caracterización de los extractos

La esterificación de los ácidos grasos fue realizada según la técnica de Hartman & Lago (1973). La identificación de los ácidos grasos fue realizada en un cromatógrafo a gas marca Shimadzu CG 17A, con detector de ionización de llama, con columna capilar de sílica fundida VA-WAX (polietilenglicol) de 30 m de largo y 0.25 mm de diámetro interior, utilizando helio como gas de arrastre con un flujo de 1 mL/min. La programación de tem-

peratura en la columna fue de 150°C, isotérmica por 11 minutos, velocidad de calentamiento de 3°C por minuto hasta 210°C, permaneciendo por 5 minutos a esta temperatura.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1 Efecto de las variables en estudio

Utilizando el módulo Experimental Design del software comercial Statistica 6.0, se realizó el análisis de varianzas de los extractos totales obtenidos y mostrados en la segunda columna de la Tabla 2, observándose que para una evaluación realizada a un 95% de nivel de significancia, existe un efecto estadísticamente significativo sólo de la temperatura ($p = 0.0127$), mas no de las otras tres variables en estudio, como se aprecia en la Tabla 3, pues al aumentar la temperatura de $20.1 \pm 0.7^\circ\text{C}$ a $27.0 \pm 0.1^\circ\text{C}$, el rendimiento total de extracto aumenta en una media de 3.18, independiente de las otras tres variables en estudio.

Tabla 2: Resultados de extracto total y por tipo de ácido graso

Experi- mento	Rendimiento de extracto (%)	Composición porcentual en grupos de ácidos grasos				
		Saturados	Mono- insaturados	Poliinsaturados		
				SubTotal	Linoleico	Linolénico
2	12.04	32.13	55.45	12.42	9.08	3.34
4	9.13	12.14	70.51	17.35	12.55	4.80
7	8.38	15.68	67.55	16.77	12.21	4.56
3	7.08	9.80	72.78	17.41	12.75	4.67
6	10.47	34.97	51.48	13.55	9.69	3.86
8	7.23	15.18	68.14	16.77	12.06	4.71
5	10.25	36.58	50.26	13.17	9.38	3.79
1	11.79	41.49	46.42	12.09	8.69	3.40
Media	9.55	24.75	62.32	15.02	10.80	4.15
Desviación Estándar	1.91	12.74	10.48	2.28	1.74	0.60

Tabla 3: Análisis de varianzas de los extractos totales

Variabes	Efecto	p
Media	9.55	
Presión	0.9275	0.2162
Temperatura	3.1825	0.0127
Granulometría	-0.3425	0.6044
Período Estático	0.7925	0.2742

Dado la trascendencia de los ácidos grasos poliinsaturados a nivel de la fisiología humana, fue realizado un análisis de varianzas similar al realizado para el extracto total, utilizando los resultados mostrados en la quinta columna de la Tabla 2; observándose que, nuevamente, existe un efecto estadísticamente significativo sólo de la temperatura ($p = 0.0035$), aunque mucho más notorio, y en sentido inverso al efecto mostrado en el caso del extracto total.

Tabla 4: Análisis de varianzas del contenido de ácidos grasos poliinsaturados

Variabes	Efecto	P
Media	14.94	
Presión	-0.2475	0.6593
Temperatura	-4.2675	0.0035
Granulometría	-0.1625	0.7699
Período Estático	-0.0025	0.9964

Se aprecia en la Tabla 4 que al aumentar la temperatura de $20.1 \pm 0.7^\circ\text{C}$ a $27.0 \pm 0.1^\circ\text{C}$, el rendimiento total de ácidos grasos poliinsaturados (linoleico y linolénico), disminuye en una media de 4.27, independiente de las otras tres variables en estudio.

Tabla 5: Análisis de varianzas del contenido de ácidos grasos saturados

Variabes	Efecto	p
Media	24.75	
Presión	-1.7125	0.5481
Temperatura	23.0925	0.0028
Granulometría	2.2825	0.4346
Período Estático	264.75	0.3734

La Tabla 5 muestra el análisis de varianzas en función al contenido de ácidos grasos saturados, ratificándose una vez más el efecto estadísticamente significativo de la temperatura ($p = 0.0028$), al incrementarse la presencia de los mismos en más de 23 puntos porcentuales con el aumento de la temperatura. Como se observa en el ítem 3.3, y en la Tabla 7, el ácido graso saturado de mayoritaria presencia en la cáscara del pijuayo es el ácido palmítico.

Todo lo anterior lleva a concluir que trabajando en las inmediaciones del punto crítico del CO_2 (65 y 80 bar), y considerando como criterio de calidad del aceite de la cáscara de pijuayo extraído su minimización de ácidos grasos saturados y maximización de ácidos grasos insaturados, es preferible trabajar con temperaturas bastante menores a la temperatura crítica (alrededor de 20°C), esto es, garantizando el estado de líquido comprimido del solvente, a pesar de que estas condiciones no garantizan el máximo rendimiento total de aceite.

3.2 Cinética del proceso de extracción

En la Figura 2 se observa que las curvas de extracción del extracto total de los experimentos 1 y 2 (ver condiciones en la Tabla 1) presentan un comportamiento convencional en este tipo de procesos, esto es, un marcado período de tasa constante hasta la novena hora aproximadamente. La Figura 2 muestra que prácticamente no existe diferencias

entre estas dos curvas, lo que ratifica la observación, ya indicada por el análisis estadístico, de la poca trascendencia de la granulometría y el período estático, que son las variables diferentes en estos dos experimentos, en comparación con la presión y la temperatura. Similar comportamiento, pero con un período menor de tasa constante (al-

rededor de 6 horas) se observa en los experimentos 3, 8 y 7, y en el experimento 4 con 5 horas de período de extracción constante. Como en el caso de las curvas de los experimentos 1 y 2, las curvas de los experimentos 3 y 8 también son muy parecidas, a pesar de las diferencias de presión.

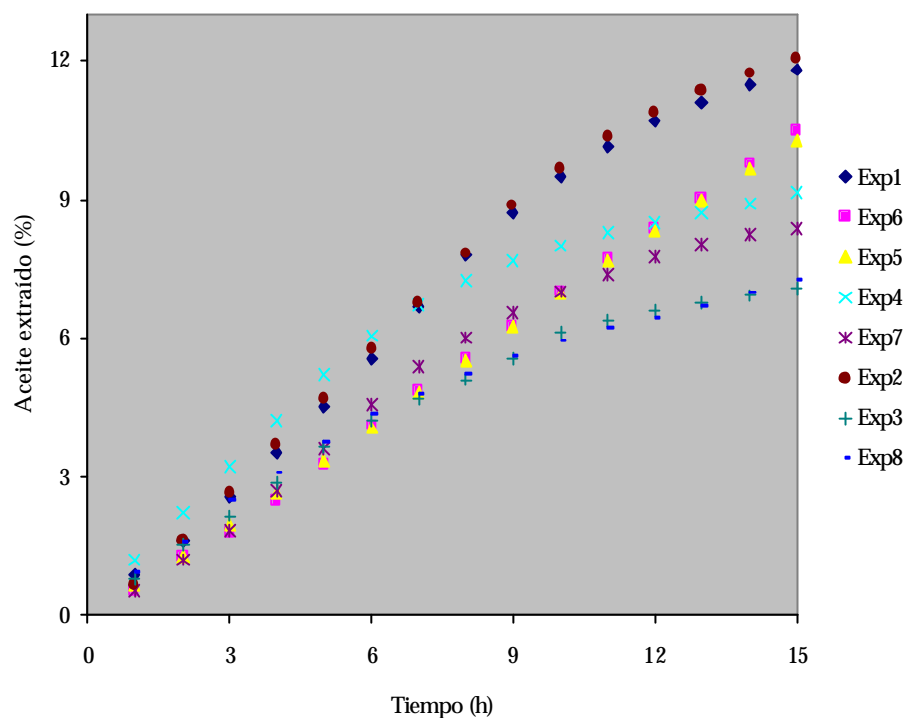


Figura 2: Curvas de extracción de la cáscara de pijuayo con CO₂ presurizado

En los experimentos 5 y 6 se observa que transcurridas las quince horas de extracción no se consigue salir de la etapa de extracción constante.

3.3 Caracterización de los extractos

Las Tablas 6 y 7 y la Figura 3, muestran la composición de ácidos grasos en el aceite de la cáscara de pijuayo en función a las di-

ferentes condiciones experimentales de temperatura, presión, granulometría y tiempos estático, y como ya fue discutido en los párrafos precedentes, sólo la primera de estas variables ejerce efecto significativo en los diferentes resultados. Muestran también de manera comparativa su composición de ácidos grasos en relación al aceite de otras especies vegetales de importancia oleaginosa.

De acuerdo a las Tablas 6 y 7 y a la Figura 3, se puede observar que la mayor concentración corresponde a los ácidos grasos insaturados, especialmente en cuanto concierne a los experimentos 3, 4, 7 y 8. Los dos primeros, a temperaturas de alrededor de 20°C

y presiones de alrededor de 80 bar, presentan una composición de ácidos grasos saturados e insaturados muy similar al aceite de especies vegetales de reconocida calidad alimentaria como son el aceite de oliva, aceite de colza, aceite de soya y aceite de maíz.

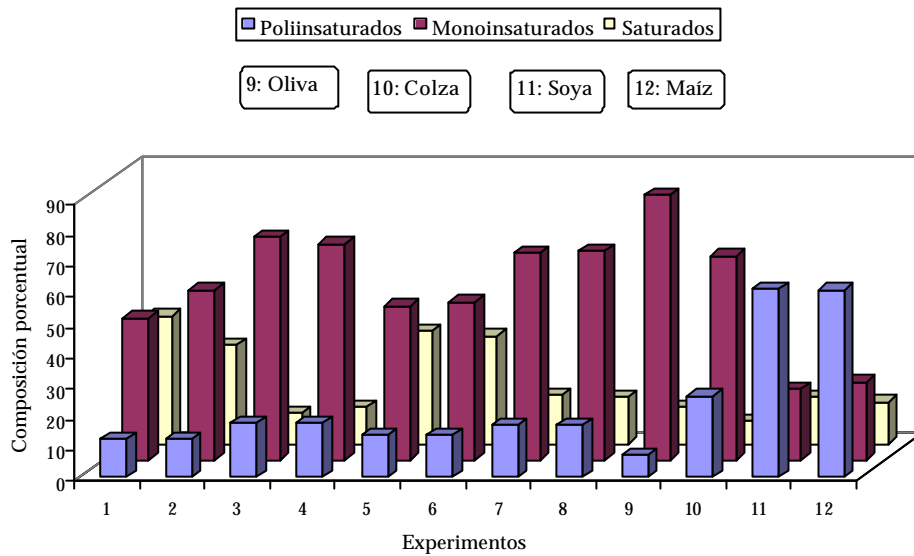


Figura 3: Comparativo del aceite de cáscara de pijuayo y el de otras especies vegetales

Si el aceite obtenido en el experimento 3 (80 bar, 20°C, -8+10 mesh de granulometría y sin período estático) es comparado con el aceite de las 4 especies citadas, en función al contenido de ácidos grasos saturados, se observa que solo pierde para el aceite de colza. La diferente composición del aceite de cáscara de pijuayo obtenida en el presente trabajo, en función a las diferentes condiciones experimentales se explica por el conocido rol fraccionador de la variación de presión y temperatura en la capacidad de solvatación del dióxido de carbono. La Tabla 7 y la Figura 4 permiten observar, también, que son los ácidos grasos insaturados

los que primero son extraídos, haciéndose evidente el incremento en la extracción de los ácidos grasos saturados a partir del último tercio del proceso.

Esto conlleva una ventaja desde el punto de vista alimenticio, por cuanto recientemente han sido reconocidas las funciones biológicas de los ácidos ω -3. El ácido linoleico (18:2, ω -6) y linolénico (18:3, ω -3), son reconocidos como las matrices de la serie de los ácidos ω -6 y ω -3 y considerados esenciales, por no ser sintetizados por los mamíferos (Kitts & Jones, 1996). Estos bajo sucesivas desaturaciones y alargamientos, dan origen a varios productos metabólicos

con importantes funciones biológicas (Nawar, 1996). Curi *et al.* (1999) destacan los innúmeros estudios que vienen siendo realizados para caracterizar los efectos de los

ácidos de las familias ω -3 y ω -6 y la posibilidad de que estos sean empleados en la prevención y tratamiento de ciertas patologías.

Tabla 7: Contenido de ácidos grasos en el experimento 2

Horas	Saturados		Monoinsaturados		Poliinsaturados	
	% Hora	Acumulado	% Hora	Acumulado	% Hora	Acumulado
1	1.21	1.21	3.47	3.47	0.97	0.97
2	2.68	3.89	4.13	7.60	1.11	2.08
3	2.89	6.78	4.51	12.11	1.22	3.30
4	2.74	9.52	4.49	16.59	1.22	4.52
5	2.40	11.92	4.37	20.96	1.41	5.93
6	2.74	14.66	4.91	25.87	1.31	7.24
7	2.45	17.11	4.61	30.48	1.21	8.45
8	2.66	19.77	5.07	35.55	1.19	9.74
9	2.19	21.96	5.00	40.54	1.17	10.91
10	1.68	23.64	5.54	46.08	0.00	10.91
11	2.09	25.73	3.03	49.11	0.71	11.62
12	1.74	27.47	2.14	51.26	0.48	12.09
13	1.65	29.12	1.80	53.06	0.38	12.47
14	1.63	30.75	1.38	54.44	0.29	12.76
15	1.38	32.13	1.01	55.45	0.22	12.98

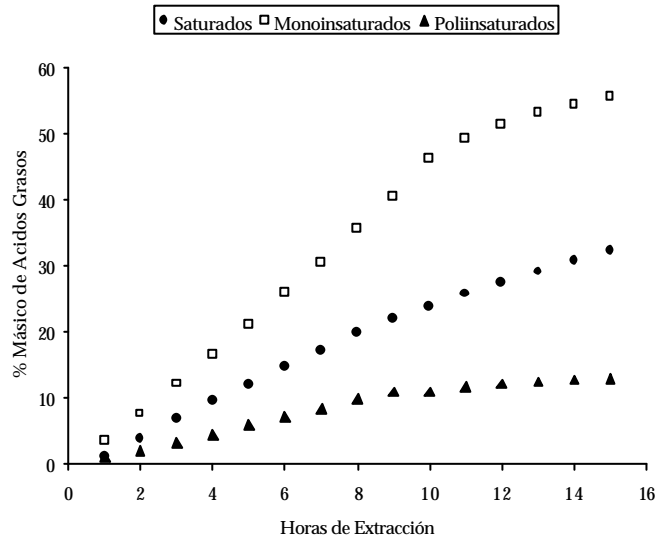


Figura 4: Comportamiento de la extracción de los ácidos grasos en el experimento 2

Los mamíferos pueden sintetizar ácidos grasos saturados y monoinsaturados a partir de otros precursores, pero son incapaces de sintetizar ácido linoleico y ácido linoléico, que abundan en las plantas, y de los cuales deben ser obtenidos. Estos ácidos requieren ser suministrados con la dieta y se llaman ácidos grasos esenciales. El ácido linoleico es un precursor necesario para la síntesis del ácido araquidónico en los mamíferos, el cual no se encuentra en las plantas. Los ácidos grasos esenciales en los mamíferos son necesarios para la biosíntesis de las prostaglandinas, sustancias parecidas a las hormonas y que desempeñan importantes funciones fisiológicas (Villavicencio, 1994).

Las altas concentraciones de los ácidos palmítico (C16:0) y oleico (C18:1) en la cáscara de pijuayo, coincide con los reportados por diferentes investigadores obtenidos en el aceite de la pulpa (García *et al.*, 1998). Cabe indicar que en los ácidos saturados se pudo identificar trazas de ácido margárico, el cual se le encuentra en baja proporción en el aceite de canola (0.3%). Asimismo de behénico y tetracosanoico, los cuales en forma similar se les encuentra en una proporción menor al 0.8% en los aceites de canola, soya y azafrán. De los insaturados el heptadecenoico (17:1) también se reporta en la canola (2.5%); en cuanto al ácido gadolenico (20:1), se le encuentra en muy baja concentración (menos de 0.4%) en los aceites de canola, soya, azafrán y coco y, en cuanto al ácido erúcico (22:1), la proporción es menor a la del aceite de canola (4.7%).

De otro lado, extracciones tipo Soxhlet de quince horas utilizando hexano como solvente consiguieron rendimientos de sólo 10.83% de aceite de la cáscara de pijuayo, lo que evidencia una menor capacidad de extracción de alrededor del 20% en relación al experimento 2 con CO₂ presurizado (80.3 ± 0.4 bar y 26.8 ± 0.1°C).

4. CONCLUSIONES

El rendimiento másico es mayor en la extracción con dióxido de carbono presurizado que en la extracción convencional con solventes orgánicos como el hexano.

Trabajando en las inmediaciones del punto crítico del CO₂ (65 y 80 bar), y considerando como criterio de calidad del aceite de la cáscara de pijuayo extraído su minimización de ácidos grasos saturados y maximización de ácidos grasos insaturados, es preferible trabajar con temperaturas bastante menores a la temperatura crítica (alrededor de 20°C), esto es, garantizando el estado de líquido comprimido del solvente, a pesar de que estas condiciones no garantizan el máximo rendimiento total de aceite.

No existe efecto estadísticamente significativo de la presión, granulometría y período estático en las condiciones descritas en la Tabla 1, durante la extracción del aceite de la cáscara de pijuayo con dióxido de carbono presurizado.

La mayor concentración de ácidos grasos en los aceites obtenidos en las diferentes condiciones experimentales corresponde a los insaturados, especialmente en cuanto concierne a los experimentos 3, 4, 7 y 8. Los dos primeros, a temperaturas de alrededor de 20°C y presiones de alrededor de 80 bar, presentan una composición de ácidos grasos saturados e insaturados muy similar al aceite de especies vegetales de reconocida calidad alimentaria como son el aceite de oliva, aceite de colza, aceite de soya y aceite de maíz.

Al comparar el aceite obtenido en el experimento 3 (80 bar, 20°C, -8+10 mesh de granulometría y sin período estático) con el aceite de las 4 especies citadas en el párrafo precedente, en función al contenido de ácidos grasos saturados, se observa que solo pierde para el aceite de colza.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana por el apoyo financiero para la realización del presente trabajo, en el marco del proyecto de investigación de la facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias, intitulado “*Estudio Cinético de la Extracción Presurizada de Productos Naturales de Origen Vegetal*”.

A la Universidad de São Paulo (Brasil), por las facilidades otorgadas para el análisis cromatográfico de los extractos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araújo M.E.; Machado, N.T.; França, L.F.; Meireles, M.A.A. Supercritical extraction of pupunha (*Guilielma speciosa*) oil in a fixed bed using carbon dioxide. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, v.17, nº3, September, São Paulo (2000)
- Badui, S.D. Química de los alimentos. 3ª Edición, 2ª reimpresión. Editorial Alhambra Mexicana, S.A. (1995)
- Brack Egg A. Diccionario enciclopédico de plantas medicinales. Centro de Estudios Regionales Andinos “Bartolomé de Las Casas”, Cuzco (1999)
- Brunner, G. Gas extraction: an introduction to fundamentals of supercritical fluids and the application to separation processes. Springer, New York (1984)
- Curi R.; Myasaka C.K.; Guimaraes A.R.P.; Azevedo-Martins A.K.; Peres C.M.; Poméia C.; García J.R.; Bittencourt Jr. P.I.; Procopio J.; Carpinelli A.R.; Manzini Filho J. Papel funcional dos lípidos em leucócitos. In: SEMINÁRIO SOBRE ÓLEOS E GORDURAS: TENDENCIAS E INOVAÇÕES. São Paulo. Sociedade Brasileira de Óleos e Gorduras. p. 4-16 (1999)
- França L.F.; Reber G.; Meireles M.A.A.; Machado N.T.; Brunner G. Supercritical extraction of carotenoids and lipids from buriti (*Mauritia flexuosa*) a fruit from the amazon region. *The Journal of Supercritical Fluids*, v.14, p.247 (1999)
- García D.E.; Sotero V.E.; Leéis E. Caracterización de la fracción lipídica de tres razas de pijuayo (*Bactris gasipaes* H.B.K.). *Folia Amazónica*, v.9, nº1-2, p.29-43 (1998)
- Hartman L; Lago B.C.A. Rapid preparation of fatty acid methyl esters from lipids. *Lab. Pract. London*, v. 22, p.475-477 (1973)
- Kitts D.D.; Jones J.H. Dietary fats: discriminative partitioning for energy and síntesis of triacylglycerides. *Food Research International*. v.29, nº1, p. 57-69 (1996)
- McHugh M.A.; Krukonis V.J. Supercritical fluid extraction: principles and practice. 2nd Ed., Butterworth-Heinemann, Boston (1994)
- Nawar W.W. Lipids. In: FENNEMAVO.R., Ed. *Food Chemistry*, 3rd Ed. New York: Marcel Dekker, p.39-244 (1996)
- Pasquel A.; Del Castillo A.; Linares D. Montaje de un extractor de fluidos presurizados para el estudio de productos vegetales de la biodiversidad amazónica. *Sociedad Química del Perú, XXIV Congreso Latinoamericano de Química y XXI Congreso Peruano de Química*, Lima (2000)
- Pasquel A. Extração dos glicosídeos da estévia com fluidos pressurizados. Tese para Doutor en Engenharia, Departamento de Engenharia de Alimentos, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil (1999).
- Pasquel A.; Marques M.O.M.; Meireles M.A.A. Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) leaves pretreatment with pressurized CO₂: an evaluation of the extract composition. *Society for the Advancement of Supercritical Fluids. Proceedings of 6th Meeting on Supercritical Fluids*, 501-506, Nottingham, United Kingdom (1999)

- Pasquel A.; Meireles M.A.A.; Marques M.O.M. Extracción con CO₂ presurizado como etapa previa a la extracción de los glicósidos de la estevia. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo-CYTED. Anales del II Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos, CD-ROM, Bahía Blanca, Argentina, Trabajo 87 (1998)
- Villavicencio M.N. Bioquímica. Ed. Concytec. Lima (1994)
- Zosel K. Separation with supercritical gases: practical applications. *Angewandte Chemie International, Edition in English*, v.17, n°10, p.702-709 (1978).