



XXI CONGRESO LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE
DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

XVII CONGRESO ARGENTINO DE CIENCIA Y
TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS



CyTAL[®]-ALACCTA 2019



20 al 22 de Noviembre de 2019
Universidad Católica Argentina
Sede Puerto Madero
Buenos Aires - Argentina



Congreso de Tecnología de Alimentos -CyTAL®-ALACCTA

Libro de trabajos completos CyTAL®-ALACCTA 2019 : parte I / compilado por Stella Maris Alzamora. - 1a ed compendiada. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Asociación Argentina de Tecnólogos Alimentarios - AATA , 2020.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

Edición para Asociación Argentina de Tecnólogos Alimentarios - AATA

ISBN 978-987-47615-0-7

1. Tecnología de los Alimentos. I. Alzamora, Stella Maris, comp. II. Título.

CDD 664.001





ESTUDIO DE LA EXTRACCIÓN ALCOHÓLICA CON PRE-TRATAMIENTO ENZIMÁTICO DE ACEITE DE COLLETS DE GIRASOL

Rodríguez, L. ^(1,2); Fernández M.B. ⁽³⁾; Pérez, E. ^(1,2); Crapiste, G. ^(1,2).

⁽¹⁾ *(Departamento de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Sur (UNS, 8000 Bahía Blanca, Argentina)*

⁽²⁾ *Planta Piloto de Ingeniería Química–PLAPIQUI (UNS-CONICET), 8000 Bahía Blanca, Argentina*

⁽³⁾ *Grupo TECSE, Facultad de ingeniería, UNCPBA, Olavarría 7400, Argentina.
Email: lurodriguez@plapiqui.edu.ar*

RESUMEN

El etanol y el isopropanol son solventes recomendados para el reemplazo del *n*-hexano en la extracción de aceites vegetales debido a su desempeño de aplicación, toxicidad e impacto sobre el medio ambiente, siguiendo la tendencia mundial de la química verde. Dichos alcoholes son biorenovables, de baja toxicidad y producen aceites y harinas de mayor calidad. Sin embargo, una de las desventajas es que los alcoholes presentan una baja selectividad hacia los triglicéridos, además la solubilidad de los lípidos está drásticamente afectada por el contenido de agua del solvente y la temperatura de extracción. Diversos estudios sugieren que las enzimas pueden ser utilizadas para mejorar la producción de aceite en los procesos de extracción donde se utilicen solventes no convencionales, aunque hasta el momento solo han sido aplicadas en extracciones acuosas. La efectividad de las enzimas para romper la pared celular, podrían actuar de forma sinérgica con otros solventes “verdes”, por lo cual resulta de interés el estudio de un tratamiento enzimático previo a una extracción alcohólica.

El objetivo del presente trabajo fue estudiar el efecto de la humedad, el tiempo y el tipo de solvente en la eficiencia de extracción de aceite de collets de girasol tratados enzimáticamente.

Los “collets” de girasol pretratados enzimáticamente se sometieron a extracción mediante equipo Soxhlet. El trabajo fue dividido en tres etapas: en la primera, se analizó el efecto del contenido de humedad a 6 h de extracción con etanol; en la segunda etapa, se analizó el efecto del tiempo durante la extracción etanólica y en la última, se comparó el uso de etanol e isopropanol (IPA) en la extracción a dos tiempos. En todos los ensayos, se llevó a cabo una muestra control con muestra sin tratar enzimáticamente. Se cuantificó la fracción lipídica correspondiente al total del material extraíble con etanol por separación fraccionaria con solventes para determinar la eficiencia de extracción y la fracción no lipídica correspondiente al material extraíble total con etanol. A su vez, se analizaron componentes minoritarios de los aceites.

A partir del 12% de humedad el rendimiento de aceite en las muestras pretratadas no varía significativamente, pudiendo recuperarse alrededor de un 85% del aceite total presente en la muestra. Durante todos los tiempos analizados, los collets pretratados presentaron una mayor eficiencia de extracción que los collets sin tratar. El solvente IPA fue más eficiente para la extracción y a su vez, la cantidad de material no lipídico se redujo en un 70% comparado con el etanol.



Palabras claves: etanol, isopropanol, extracción alcohólica, pre-tratamiento enzimático, collets de girasol.

1. INTRODUCCIÓN

A luz de esta nueva tendencia que conduce a una mayor protección ambiental y al desarrollo de una química ecológica, se han llevado a cabo varios estudios destinados a reemplazar el *n*-hexano con alcoholes como disolventes para extracción de aceite (Hron *et al.*, 1994; Sineiro *et al.*, 1998). Algunos autores reportaron el uso de etanol e isopropanol (alcoholes de cadenas cortas) como ejemplos de solventes alternativos debido a su alta disponibilidad, biorenovabilidad y baja toxicidad (Navarro *et al.*, 2016). Sin embargo, una de las desventajas de los alcoholes es su baja selectividad hacia los triglicéridos extrayendo junto con el aceite una mayor cantidad de azúcares, fosfolípidos, pigmentos, ceras y otros compuestos. Además la solubilidad de los lípidos se ve afectada por el contenido de agua del solvente y la temperatura de extracción, disminuyendo el rendimiento de la extracción. Algunos autores sugieren que las enzimas pueden ser utilizadas en el proceso extractivo de aceite de semillas oleaginosas para mejorar la extracción por solvente, sin embargo, hasta el momento solo han sido aplicadas a extracciones acuosas o como tratamiento previo a la extracción con hexano (Ramadan *et al.*, 2009).

El uso de alcoholes en la extracción de aceite de semillas y collets de girasol ha sido estudiado previamente en algunos trabajos (Baümler *et al.* 2016, 2017), aunque la información aún es relativamente escasa y no se han informado antecedentes en el uso de etanol e isopropanol en collets de girasol tratados enzimáticamente. Por lo expuesto anteriormente, resulta de interés comparar la eficiencia de la extracción de aceite con etanol e isopropanol, en collets con y sin tratamiento enzimático, considerando también el efecto del contenido de humedad de las muestras.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Materias primas

Se utilizó como materia prima, material expandido obtenido luego de la primera prensada, denominada “collets”, provisto por una empresa local. La enzima utilizada para el pre-tratamiento enzimático fue Viscozyme® L, complejo enzimático con una amplia gama de carbohidrasas (actividad enzimática de 112 FBGU g⁻¹).



2.2. Procedimiento

Los experimentos se realizaron en tres etapas. La primera etapa tuvo como objetivo analizar el efecto del contenido de humedad de la materia prima sobre la recuperación de aceite. Para ello, se acondicionaron los collets a diferentes contenidos de humedad mediante pulverización con cantidades precalculadas de agua destilada (7, 12, 25, 40 y 65 % b.s.).

La segunda etapa tuvo por finalidad analizar el tiempo de extracción y efecto del tratamiento enzimático sobre los collets de girasol. Para lo cual, se acondicionaron los collets originales y los collets pretratados al contenido de humedad seleccionado a partir de los resultados de la etapa 1 y, posteriormente, fueron sometidos a extracción con etanol durante distintos tiempos en el intervalo de 1 a 6 horas.

Finalmente, en la tercera etapa se comparó la capacidad extractiva del etanol con la del isopropanol para la recuperación del aceite de los collets tratados enzimáticamente a dos tiempos diferentes.

2.3. Pretratamiento enzimático

El pretratamiento enzimático fue realizado en recipientes encamisados con agitación y temperatura constantes 249 rpm y 42°C, respectivamente. Los collets fueron suspendidos en buffer citrato (0,1 M), pH = 5, con una relación líquido:sólido de 10: 1 (mL/g), una relación enzima:sustrato de 1,72% durante 52 minutos (Rodríguez, 2017; Rodríguez, 2019). Después del pretratamiento, la fracción sólida se separó por filtración con vacío a través de un papel de filtro Whatman N°4 y se refrigeró a 4 °C hasta su uso en extracción alcohólica.

2.4. Extracción alcohólica

La extracción se llevó a cabo en un equipo Soxhlet (IUPAC, 1992). Luego de finalizada la extracción se evaporó el solvente en un evaporador rotatorio a 50 °C bajo vacío, hasta reducir el volumen de etanol en un 90 % aproximadamente. Con el objetivo de cuantificar la fracción lipídica correspondiente al total del material extraíble con alcohol se procedió a la separación fraccionaria por solvente. Luego de reducir el volumen de la mezcla (material extraído + solvente) obtenida, se trasvasó a un tubo Falcon y se le añadieron aproximadamente 10 mL de *n*-hexano, se agitó y se centrifugó 15 minutos a 3000 rpm. Se obtuvieron dos fases separadas con nitidez: una superior, en donde se encuentran los compuestos solubles en *n*-hexano, y que denominaremos *fase lipídica* y otra inferior, en donde se solubilizan compuestos en etanol y a la que llamaremos *resto*. La fase lipídica fue retirada con pipeta Pasteur y colocada en frasco de color caramelo, de 15 mL, previamente



tarados. Este procedimiento se repitió reiteradas veces hasta no percibir coloración en la fase superior (3-5 extracciones) y las alícuotas fueron reunidas. Luego se eliminó el solvente de cada fracción por arrastre del solvente con corriente de nitrógeno hasta peso constante.

2.5. Análisis estadístico

El análisis estadístico de los resultados fue llevado a cabo por medio del Análisis de Varianza (ANOVA) usando el software Infostat (Di Rienzo, 2011). La comparación de medias se realizó mediante el test de Tukey con un nivel de significancia de $p \leq 0,05$.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Efecto de la humedad en la extracción etanólica

En la primera etapa, las extracciones de aceite de collets de girasol fueron realizadas con etanol a diferentes contenidos de humedad. La Tabla 1 muestra el porcentaje de material total extraído (Y_{MET}), fracción lipídica (W_a) y la eficiencia de la extracción de aceite (E_a) en función del contenido de humedad.

Tabla 1: Porcentaje de material total extraído, la fracción lipídica y la eficiencia de la extracción de aceite para los diferentes contenidos de humedad analizados.

Humedad (% b.s)	Y_{MET} ($\frac{g \text{ material extraíble}}{100 g \text{ de collets seco}}$)	W_a ($\frac{g \text{ aceite}}{100 g \text{ material extraíble}}$)	E_a ($\frac{g \text{ aceite}}{100 g \text{ aceite inicial en el collets}}$)
7,0	32,04 ± 0,72 ^{ab}	70,13 ± 1,13 ^a	98,51 ± 0,63 ^a
12,0	34,48 ± 0,26 ^b	63,84 ± 0,56 ^b	96,54 ± 1,56 ^{ab}
25,0	32,88 ± 1,12 ^{ab}	62,25 ± 1,26 ^b	86,32 ± 1,04 ^c
40,0	29,99 ± 0,15 ^a	61,53 ± 1,83 ^b	80,96 ± 2,83 ^c
65,0	32,94 ± 0,88 ^{ab}	60,50 ± 0,88 ^b	87,41 ± 3,90 ^{bc}

Los datos son valores medios ± error estándar. Los valores en la misma columna con la misma letra no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) por método Tukey.

El material total extraído estuvo comprendido entre 30 y 34,5 % (g material extraíble/100 g collets seco) y no se observa una funcionalidad con la humedad de la muestra, no presentando diferencias significativas en el intervalo analizado ($p > 0,05$). La fracción lipídica (W_a) estuvo comprendida entre un 60,5 % y un 70,1 % del material extraíble, indicando la menor selectividad del etanol respecto al *n*-hexano durante la extracción. Los resultados sugieren una disminución de esta fracción con la humedad, pero el análisis estadístico sólo indica diferencias significativas a la menor humedad ($p = 0,001$).



La eficiencia de la extracción de aceite presentó mayor variabilidad. A la humedad del 7%, el etanol tiene una capacidad similar a la del *n*-hexano para extraer aceite, con una eficiencia de 98,51 %. En cambio, en el rango de mayores humedades no se observan diferencias significativas y la extracción cae a valores de alrededor del 85%. A estas humedades la extractabilidad del aceite se vió afectada por la mezcla agua:solvente, observándose que cuando la concentración de solvente disminuye, la fracción de aceite también lo hace, dando lugar a una mayor extracción de los compuestos que representan el material no lipídico (resto) obtenido durante la extracción etanólica.

A humedades relativamente altas la mayor parte del agua está condensada y es retenida mecánicamente en los espacios vacíos y macrocapilares del sólido, por lo que tiene un comportamiento similar al agua libre. Este agua libre puede interferir con la penetración del solvente cuando es inmisible como el hexano, reduciendo la velocidad de extracción pero no significativamente el rendimiento (Pérez *et al.*, 2018). Pero en el caso de un solvente miscible en agua como los alcoholes, un alto contenido de agua libre puede modificar la composición, y en consecuencia, las propiedades del solvente. Cuando la concentración de alcohol disminuye, la solubilidad del aceite se reduce bruscamente a causa de que la polaridad del solvente aumenta, y con ello también aumenta la extracción de otros componentes solubles en solventes polares (Navarro *et al.*, 2016).

Luego del tratamiento enzimático, la materia prima posee un contenido de humedad elevado del orden de entre 48 y 65 % b.s., lo que implicaría la incorporación de una etapa intermedia de secado si se desea realizar la extracción a baja humedad. Los resultados obtenidos hasta el momento sugieren que a humedades relativamente altas no se observaron diferencias significativas en la eficiencia de extracción de aceite, presentando una eficiencia promedio de 85%. Por estas razones se decidió utilizar el collet pretratado tal cual sale del extractor batch.

3.2. Efecto del pre-tratamiento enzimático en la extracción etanólica

En la segunda etapa se analizó el efecto del tiempo de extracción de aceite de collets de girasol pretratados enzimáticamente. Los collets fueron acondicionados a la humedad de salida de los collets tratados enzimáticamente (48% b.s.) para que puedan ser comparados.

El análisis estadístico presentó diferencias significativas en la eficiencia de extracción entre las muestras ($p = 0,005$) y entre los tiempo de extracción ($p < 0,0001$).

La Figura 1 muestra comparativamente la eficiencia de la extracción E_a para las muestras con y sin pretratamiento enzimático. Para todos los tiempos, se observa que E_a fue superior en las muestras con pretratamiento.

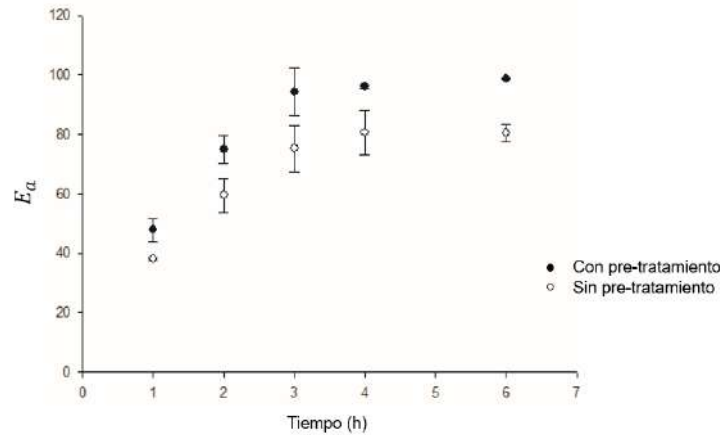


Figura 1: Eficiencia de la extracción etanólica del aceite de girasol en collets sin y con pretratamiento enzimático

La Tabla 2 muestra la fracción lipídica (W_a) de la extracción alcohólica con y sin pretratamiento enzimático. La fracción lipídica presenta diferencias significativas entre los tratamientos ($p = 0,005$) y entre los tiempos de extracción ($p = 0,005$). La muestra sin tratamiento enzimático presentó un aumento significativo en la fracción lipídica del material extraído sobre el tiempo de extracción ($p < 0,001$). La prueba de Tukey mostró, con un error de menos del 5%, que después de las 3 horas no hubo diferencias en la fracción lipídica promedio a lo largo del tiempo (hasta 6 h). Esto puede explicarse en términos de la baja selectividad del etanol hacia los triglicéridos. Al principio, algunos compuestos polares que tiene afinidad con el etanol lixivian más rápidamente que los lípidos por lo que la fracción resto (W_r) es más alta. Luego, a medida que se va extrayendo el aceite, aumenta la fracción lipídica. Aparentemente al final, cuando el rendimiento de aceite alcanza asintóticamente el máximo, el etanol continúa extrayendo otros compuestos polares del sólido.

Tabla 2: Fracción lipídica en collets con y sin pretratamiento enzimático (humedad de 48% b.s.)

Tiempo (h)	Sin pretratamiento	Con pretratamiento
	W_a	W_a
1	48,54 ± 0,20 ^a	75,36 ± 0,27 ^a
2	67,54 ± 3,04 ^b	77,98 ± 0,02 ^a
3	67,00 ± 0,94 ^b	84,64 ± 2,46 ^b
4	59,59 ± 0,88 ^c	80,42 ± 1,99 ^{ab}
6	61,54 ± 1,83 ^{bc}	78,94 ± 1,30 ^{ab}

Valores en la misma columna seguida por diferentes letras minúsculas son significativamente diferentes con $p < 0,05$ Test Tukey.



Por otro lado, las muestras pretratadas presentaron un comportamiento similar aunque de menor intensidad, con un máximo a las 2-3 horas, y fracciones lipídicas significativamente superiores a las de los collets. Esto puede deberse en gran medida a que la extracción acuosa-enzimática puede eliminar parte de algunos compuestos como azúcares reductores, polifenoles, proteínas solubles y fosfolípidos hidratables, provocando una disminución del contenido de estos componentes antes de la extracción alcohólica. Si bien, varios autores han mencionado la baja selectividad de los alcoholes durante la extracción, solo algunos han realizado fraccionamiento para separar los componentes lipídicos de los no lipídicos y los antecedentes sobre el tema aun resultan escasos (Baümler *et al.* 2016).

3.2.1. Contenido de fosfolípidos en aceites a dos tiempos de extracción.

La Tabla 3 presenta los resultados obtenidos para el contenido total de fosfolípidos en el aceite y su perfil a dos tiempos de extracción.

Tabla 3: Análisis de fosfolípidos en aceites obtenidos por extracción con etanol.

Fosfolípidos	Tiempo 1 h		Tiempo 4 h	
	Sin pretratamiento	Con pretratamiento	Sin pretratamiento	Con pretratamiento
Totales (g/kg Aceite)	8,87 ± 0,22a	26,26 ± 1,32b	7,95 ± 0,19a	16,95 ± 0,51b
PC (%)	44,29 ± 0,13	48,85 ± 1,06	36,24 ± 0,61	44,14 ± 1,57
PI (%)	40,89 ± 3,61	38,97 ± 1,44	48,96 ± 0,25	41,15 ± 2,23
PE (%)	11,20 ± 1,00	7,55 ± 0,79	8,69 ± 0,55	9,97 ± 0,12
PA (%)	3,61 ± 0,01	4,62 ± 0,70	6,11 ± 0,19	4,74 ± 0,54

Valores en la misma fila seguida por diferentes letras minúsculas (comparación del efecto del tratamiento al mismo tiempo) son significativamente diferentes con $p < 0,05$ Test Tukey.

Los aceites con y sin tratamiento enzimático obtenidos en la extracción etanólica presentaron un mayor contenido de fosfolípidos totales con respecto al aceite obtenido en la caracterización de la materia prima (4,62 y 2,08 g/kg Aceite). Esto podría ser explicado por la diferencia de polaridades de los disolventes. Los lípidos polares están ligados por fuerzas electrostáticas y puentes de hidrógeno, requieren disolventes polares capaces de romper tales uniones y liberarlos (Brum y Arruda, 2009). El etanol al ser más polar extrae más lípidos con estas características, como son los fosfolípidos, que el hexano utilizado para extraer el aceite original. El contenido de fosfolípidos del aceite extraído de los collets pre-tratados fue elevado, alrededor de 10 veces superior al contenido original y 2-3 veces superior al de las muestra sin tratar. Los fosfolípidos, en las semillas de girasol, están presentes no solo en las membranas de los cuerpos lipídicos, asociados con las proteínas, sino también en las



membranas biológicas. Esta distribución de los fosfolípidos dentro de la célula, podría explicar la extracción de una mayor cantidad de los mismos, atribuyendo el aumento no solo a la polaridad del solvente sino también a la ruptura de las estructuras de las membranas por acción enzimática.

3.3. Efecto del tipo de alcohol

En esta etapa se evaluó el comportamiento de un alcohol alternativo como el isopropanol en la extracción de aceite de collets con y sin pretratamiento enzimático, a dos tiempos de extracción (1 y 4 horas). Estos tiempos fueron seleccionados en base al análisis realizado en la sección anterior, considerando por un lado tiempos que presenten diferencias significativas entre ellos, y por otro lado un tiempo en el que la eficiencia es cercana a la capacidad extractiva máxima para el etanol en las condiciones analizadas. En la Tabla 4 se presentan los correspondientes valores de la eficiencia de extracción para ambos alcoholes.

Tabla 4: Eficiencia de la extracción (E_a) con isopropanol y etanol.

Tiempo (h)	Etanol		Isopropanol	
	Sin pretratamiento	Con pretratamiento	Sin pretratamiento	Con pretratamiento
1	38,03 ± 0,30 ^a	47,72 ± 3,87 ^b	74,75 ± 0,53 ^a	78,98 ± 4,63 ^a
4	80,57 ± 7,33 ^a	96,08 ± 0,57 ^b	92,11 ± 1,24 ^a	96,23 ± 1,66 ^a

Valores en la misma fila seguidos por mismas letras minúsculas (comparación del efecto del tratamiento al mismo tiempo, mismo solvente) no son significativamente diferentes con $p > 0,05$ Test Tukey.

Al comparar ambos alcoholes se puede observar que, en general, la extracción con isopropanol fue mayor que con etanol. La mayor diferencia se presentó a 1 hora donde la eficiencia de la extracción con isopropanol superó a la del etanol en un 96 % y 65 % en collets sin y con pretratamiento, respectivamente. En cambio, a las 4 horas la mejora en la eficiencia al usar isopropanol fue del 14% en los collets sin tratar, no observándose diferencias significativas en las muestras tratadas. El tiempo no fue una variable significativa ($p > 0,05$) para las muestras pretratadas extraídas con isopropanol.

Del mismo modo que el etanol, el isopropanol también presentó baja selectividad, ya que además de material lipídico se obtuvieron otros componentes no solubles en *n*-hexano. La Tabla 5 presenta la fracción resto (W_r) obtenida luego de la separación de las fracciones para la extracción con ambos solventes.

Como se mencionó en la sección anterior, el etanol extrae una elevada cantidad de material no lipídico, observándose una amplia diferencia entre el material que recibió tratamiento enzimático y el que no, para ambos tiempos analizados. La fracción resto en las extracciones



etanólicas de collets tratado se redujo considerablemente, siendo aproximadamente un 79 % menor que en la extracción etanólica de collets sin tratar ($p < 0,0054$).

Tabla 5: Material no lipídico (W_r) de la extracción con etanol e isopropanol.

Tiempo (h)	Etanol		Isopropanol	
	Sin pretratamiento	Con pretratamiento	Sin pretratamiento	Con pretratamiento
1	51,46 ± 0,20 ^{aA}	24,64 ± 0,27 ^{bA}	19,89 ± 1,30 ^{aA}	15,15 ± 0,72 ^{bA}
4	40,41 ± 0,88 ^{aB}	19,58 ± 1,99 ^{bB}	19,55 ± 4,98 ^{aA}	11,99 ± 2,76 ^{aA}

Valores en la misma fila seguida por diferentes letras minúsculas (efecto del tratamiento el mismo alcohol alcoholes) son significativamente diferentes con $p < 0,05$ Test Tukey.

Valores en la misma columna seguida por diferentes letras mayúscula (efecto del tiempo para un mismo tratamiento con el mismo alcohol) son significativamente diferentes con $p < 0,05$ Test Tukey.

En el caso del isopropanol, la fracción no lipídica fue marcadamente inferior a la obtenida con etanol, del orden del 40-60 %. Sólo se presentó diferencias significativas ($p = 0,0462$) en la fracción no lipídica al menor tiempo de extracción.

4. CONCLUSIONES

Se observó que a partir del 12% de humedad el rendimiento de aceite de collets de girasol no varía significativamente, pudiendo recuperarse alrededor de un 85% del aceite total presente en la muestra. Por ello, se considera que el etanol podría ser utilizado para extraer el aceite de los collets tratados, aun con elevado contenido acuoso, ya que la miscibilidad del aceite en etanol podría aumentarse utilizando temperaturas de ebullición o cercanas a la misma.

La máxima capacidad extractiva del etanol en los collets con y sin tratamiento enzimático, con un contenido de humedad de 48 % (b.s.), se obtuvo a partir de las 3 horas, donde la eficiencia de la extracción comienza a hacerse asintótica. El rendimiento promedio fue de 79,84 %, mientras que en los collets tratados la eficiencia máxima fue de 96,32 %. Durante todos los tiempos analizados, los collets pretratados presentaron una mayor eficiencia de extracción que los collets sin tratar, pudiendo concluir que un pretratamiento acuoso-enzimático podría ser beneficioso para la extracción etanólica.

Uno de los inconvenientes que presentó el uso de etanol en la extracción de aceite fue su baja selectividad, extrayendo además de aceite, otros compuestos polares. En las extracciones sin tratamiento enzimático previo, el porcentaje de resto varió entre 6,5% y 12%, mientras que en las extracciones con pretratamiento se observó una reducción del 45-70% respecto de las muestras sin tratar. Si bien el uso de enzimas, en estas condiciones, favorecería la extracción de aceite con etanol, el hecho de que el solvente sea más polar que el *n*-hexano, también



favoreció la extracción de fosfolípidos de la estructura celular, que resultan no deseables en el aceite.

El estudio comparativo de etanol frente al isopropanol (IPA) en la extracción de aceite de collets con y sin pretratamiento enzimático, indicó que el IPA presentó una mayor eficiencia durante la extracción y con una reducción del 70% de material no lipídico.

La extracción alcohólica con pre-tratamiento enzimático podría ser un proceso alternativo para la producción de aceite, en la medida que aparezcan restricciones regulatorias al uso del hexano. El costo de la enzima sigue siendo uno de los principales problemas para su aplicación, constituyendo entre un 20%-50% del costo total de los materiales utilizados. No obstante, el uso de alcoholes (etanol e isopropanol) resulta más económico que el hexano, reduciendo el costo de solvente en un 20-60% dependiendo del tipo de alcohol utilizado. En cambio, el costo energético de la recuperación de solvente aproximadamente se duplica en función de los calores latentes de vaporización de los solventes. Por otra parte, resulta de interés evaluar la factibilidad de recuperar los coproductos de la fracción resto a fin de mejorar la rentabilidad. Es necesario realizar el escalado y una evaluación económica completa para analizar la viabilidad del proceso a nivel industrial.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT) de PICT-2014-348 y la Universidad Nacional del Sur (UNS) en Argentina de PGI -24 / M132.

REFERENCIAS

- Bäumler, E. R., Carrín, M. E., & Carelli, A. A. (2016). Extraction of sunflower oil using ethanol as solvent. *Journal of Food Engineering*, 178, 190-197.
- Bäumler, E. R., Carrín, M. E., & Carelli, A. A. (2017). Diffusion of tocopherols, phospholipids and sugars during oil extraction from sunflower collets using ethanol as solvent. *Journal of Food Engineering*, 194, 1-8.
- Brum, A. A. S., & Arruda, L. F. D. (2009). Métodos de extração e qualidade da fração lipídica de matérias-primas de origem vegetal e animal. *Química Nova*, 32(4), 849-854.
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo C.W. (2017). InfoStat software version 2017, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Hron, R., Kuk, M., Abraham, G., & Wan, P. (1994). Ethanol extraction of oil, gossypol and aflatoxin from cottonseed. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 71(4), 417-421.
- Navarro, S. L., Capellini, M. C., Aracava, K. K., & Rodrigues, C. E. (2016). Com germ-bran oils extracted with alcoholic solvents: Extraction yield, oil composition and evaluation of protein solubility of defatted meal. *Food and Bioproducts Processing*, 100, 185-194.
- Pérez, E. E., Bäumler, E.R., Crapiste, G.H. & Carelli, A.A. (2018). Effect of sunflower collets moisture on extraction yield and oil quality. *European Journal of Lipids Science and Technology*, 121(2), 1-7.
- Ramadan, M. F., & Moersel, J. T. (2009). Oil extractability from enzymatically treated goldenberry (*Physalis peruviana* L.) pomace: range of operational variables. *International Journal of Food Science & Technology*, 44(3), 435-444.
- Rao, R. K., & Arnold, L. K. (1956). Alcoholic extraction of vegetable oils. III. Solubilities of babassu, coconut, olive, palm, rapeseed, and sunflower seed oils in aqueous ethanol. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 33(9), 389-391.
- Rodriguez, L.; Fernández M.B.; Pérez, E.; Crapiste, G. H. (2017). Estudio de las variables operativas del proceso de extracción acuoso-enzimático mediante diseño de experimentos." IX Congreso Argentino de Ingeniería Química.
- Rodriguez, L. (2019). Aplicación de enzimas en la obtención de aceite de girasol con solventes renovables: impacto del procesamiento en la composición y calidad de aceites y harinas. Tesis doctoral. Departamento de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina.