

EJE TEMÁTICO: Enseñanza de temas de Química Orgánica y Química Biológica

ESTRATEGIAS PARA GESTIONAR LA ENSEÑANZA DE QUÍMICA ORGÁNICA EN CARRERAS UNIVERSITARIAS

STRATEGIES FOR MANAGING THE TEACHING OF ORGANIC CHEMISTRY IN UNIVERSITY CARRERS

Vanina A. Guntero^{1,2}, Leyla Mántaras¹, Pedro M.E. Mancini¹ y María N. Kneeteman^{1*}

1- IQAL (UNL-CONICET) – LABORATORIO FESTER – QUÍMICA ORGÁNICA (FIQ), Universidad Nacional del Litoral, Facultad de Ingeniería Química, Santa Fe, Argentina.

2- Universidad Tecnológica Nacional (UTN), Facultad Regional San Francisco, San Francisco, Córdoba, Argentina.

*Email: mkneeteman@fiq.unl.edu.ar

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es analizar distintas estrategias para la enseñanza de la química orgánica, las cuales están basadas en el desarrollo de experiencias en laboratorio utilizando productos naturales. En este sentido, se diseñaron trabajos prácticos que contemplan técnicas de extracción de aceites esenciales, purificación y el aislamiento de compuestos útiles para síntesis química, incluyendo la caracterización espectroscópica de los productos obtenidos. Los resultados demostraron que en el laboratorio, los estudiantes pueden integrar sus conocimientos, intensificando así, el interés por la temática abordada y logrando una relación teórica-práctica satisfactoria.

PALABRAS CLAVE: química orgánica, productos naturales, métodos de extracción, espectroscopia.

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El aprendizaje es un proceso de configuración activo que implica una interacción dinámica entre una serie de factores. Los enfoques de la enseñanza actual indican que el aprendizaje permanente depende de la comprensión conceptual [1]. En la búsqueda de la comprensión y asimilación de los conceptos desarrollados en forma teórica es que se plantearon trabajos prácticos a desarrollar por los alumnos de la carrera de ingeniería química y licenciatura en química. A través de estas prácticas en contexto se espera que los estudiantes le confieran significado a lo aprendido, aumenten su sensibilidad con el conocimiento, establezcan conexiones y desarrollen autonomía. Este entorno de aprendizaje debe ser diseñado adecuadamente para facilitar un proceso activo y colaborativo [2]. Los trabajos prácticos se plantearon de manera tal de no caer en experimentos mecánicos, sino que la secuencia de realización debe guiar a los estudiantes hacia el desarrollo de las competencias necesarias para futuros estudios y dotarlos de aquellos conocimientos que le permitan analizar y resolver problemas de manera sostenible.

Existen distintas investigaciones en educación que permiten verificar que el interés y compromiso de los estudiantes aumenta cuando las actividades del laboratorio son paralelas a la realidad [3]. Siguiendo esta línea de pensamiento, se estudiaron las propiedades y usos del aceite esencial de *clavo de olor*, entre las que se destacan, propiedades antibacteriana, antifúngica, insecticida y antioxidante [4], con objeto de incorporar este conocimiento a su vida diaria, resaltando sus beneficios y aplicaciones, y desarrollando así los contenidos de química de forma más amigable. El aceite esencial de *clavo de olor* se aísla de la especie *Syzygium aromaticum*, y es ampliamente utilizado en las industrias de fragancias y aromas, cosméticos y alimentos [5]. Sus componentes mayoritarios son: eugenol, β -cariofileno, y acetato de eugenol [6]. El eugenol (4-alil-2-metoxifenol) presenta un especial interés como precursor en rutas de síntesis. De esta manera, se resalta la importancia de la diversidad de especies de plantas, animales, microorganismos, y organismos marinos que desempeñan un papel vital en los procesos que sustentan la química verde [7,8].

La obtención de los aceites esenciales a partir de la especie propuesta se realizó mediante dos métodos convencionales (destilación por arrastre de vapor y extracción Soxhlet) y un método no convencional (extracción asistida por microorganismos). El análisis de los resultados permitió encontrar las mejores variables de extracción.

En la tabla 1 se especifican los contenidos conceptuales abordados y los objetivos que se esperan alcanzar luego de realizar los trabajos prácticos de laboratorio.

Tabla 1. Contenidos conceptuales y objetivos específicos de los trabajos prácticos de laboratorio

<i>Contenidos Conceptuales</i>	<i>Objetivos Específicos del trabajo de laboratorio</i>
Aceites esenciales. Definición. Propiedades. Mecanismo de oxidación lipídica. Aplicaciones de antioxidantes naturales en alimentos procesados.	Desarrollar habilidades y técnicas del manejo del material del laboratorio y equipamientos. Desarrollar el pensamiento crítico.
Métodos de extracción de aceites esenciales: destilación por arrastre de vapor, extracción Soxhlet, extracción asistida por microondas. Variables que intervienen en el rendimiento obtenido. Diseño experimental.	Afianzar y relacionar el contenido teórico desarrollado con la parte experimental. Fortalecer el deseo de aprender.
Separación de eugenol del aceite esencial.	Capacitar al estudiante para la resolución de problemas. Conocer métodos de obtención de aceites esenciales.
Solubilidad del aceite esencial y del eugenol. Polaridad de los solventes utilizados.	Analizar los resultados obtenidos en función de las características y variables que intervienen en cada método de extracción.
Cromatografía gaseosa: Curva de calibración, Técnica operatoria. Espectroscopia infrarroja: Análisis de grupos funcionales, Técnica operatoria. Resonancia magnética nuclear: Determinación de estructuras. Experimentos.	Separar componentes de aceites vegetales. Introducir a los estudiantes en el desarrollo y análisis de técnicas espectroscópicas.

METODOLOGÍA

La secuencia metodológica se dividió en dos fases, las cuales se detallan a continuación:

Durante la primera fase se desarrolló el contenido teórico relativo a las propiedades y usos de los aceites esenciales (AE): análisis de su composición, solubilidad de sus componentes, los distintos métodos de extracción de matrices vegetales, separación de componentes de un aceite vegetal, los fundamentos de la cromatografía gaseosa (GC), los fundamentos de espectroscopia infrarroja (IR) y los relativos a la resonancia magnética nuclear (NMR).

En la segunda fase, los trabajos prácticos se desarrollaron a través de un seminario intensivo de dos semanas de duración (80 horas), en el cual se dividió a los catorce estudiantes en dos grupos. Los mismos asistieron al laboratorio en diferentes horarios, de manera de ir alternando las tareas y garantizar la continuidad del trabajo.

Tratamiento de la materia vegetal: las muestras de *clavo de olor* fueron secadas en estufa a 40 °C hasta pesada constante, y luego molidas en un mortero.

Destilación por arrastre de vapor: el equipo de destilación consistió en un generador de vapor de 1000 mL de capacidad, el cual está conectado a un matraz de 500 mL donde se colocó la muestra (30 g). Los vapores de destilación se desplazan por un refrigerante, donde resultan condensados, desembocando en un tubo Florentino que permite separar el agua del aceite esencial. Este método se llevó a cabo a distintos tiempos (4, 6 y 8 h), determinando para cada caso el rendimiento de aceite esencial (ecuación 1) en la muestra vegetal y contenido de eugenol (ecuación 2) presente en el AE extraído empleando cromatografía gaseosa como método de evaluación.

$$\text{Rendimiento de AE (\%)} = \frac{\text{masa de AE (g)}}{\text{masa de clavo de olor (g)}} * 100\% \quad (1)$$

$$\text{Rendimiento de Eugenol (\%)} = \frac{\text{concentración de eugenol } \left(\frac{\text{g}}{\text{L}}\right)}{\text{masa de AE (g)}} * 100\% \quad (2)$$

Extracción Soxhlet: el tratamiento de la muestra con el solvente elegido permite en este método un método de extracción semicontinuo, lo que genera la concentración en el mismo de los principios activos del material vegetal. Se realizaron experiencias con solventes de distinta polaridad (agua, n-hexano y etanol) durante un tiempo medio de 6 h. Después de cada extracción, se analizó por medio de la cromatografía gaseosa considerando al contenido de eugenol como base, cual es el mejor solvente de extracción. Los ensayos se realizaron con el solvente elegido a distintos tiempos de extracción (4, 6 y 8 h). En todos los casos se mantuvo constante la cantidad de muestra (30 g).

Extracción asistida por microondas: se realizó en un microondas Anton Paar Monowave300. Se eligieron como parámetros de estudio la temperatura (30, 40, 50, 60 y 70 °C), agitación (20, 40, 60, 80 y 100 % del máximo valor que puede alcanzar el equipo y que corresponde a 1200 rpm), tiempo (5, 10, 15, 20 y 25 min), relación líquido-sólido (7, 10, 13, 16 y 19 mL/mg) y concentración del solvente (20, 40, 60, 80 y 100 %). Bajo estas condiciones se aplicó el método de Taguchi con 5 factores y 5 niveles mediante el programa Minitab 17 (Tabla 2) [9].

Tabla 2. Método de Taguchi con 5 factores y 5 niveles

Corrida N°	Factor 1 Temperatura (°C)	Factor 2 Agitación (rpm)	Factor 3 Tiempo (min)	Factor 4 Concentración de etanol (%)	Factor 5 Relación líquido:sólido (mL/mg)
1	30	240	5	20	7
2		480	10	40	10
3		720	15	60	13
4		960	20	80	16
5		1200	25	100	19
6	40	240	10	60	16
7		480	15	80	19
8		720	20	100	7
9		960	25	20	10
10		1200	5	40	13
11	50	240	15	100	10
12		480	20	20	13
13		720	25	40	16
14		960	5	60	19
15		1200	10	80	7
16	60	240	20	40	19
17		480	25	60	7
18		720	5	80	10
19		960	10	100	13
20		1200	15	20	16
21	70	240	25	80	13
22		480	5	100	16
23		720	10	20	19
24		960	15	40	7
25		1200	20	60	10

Separación de eugenol desde el aceite esencial de clavo de olor: A la mezcla obtenida en los métodos de extracción se le realizan extracciones con diclorometano y luego a la fase orgánica se la trata con hidróxido de sodio al 5%. De este modo, el eugenol se encuentra bajo la forma de su sal fenólica, la cual es soluble en medio acuoso. El lavado de esta fase en diclorometano elimina todos los demás componentes orgánicos que pudieran quedar. Seguido, se trata con ácido clorhídrico diluido para obtener nuevamente el fenol y se extrae con un solvente orgánico. La fase orgánica se seca con sulfato de sodio, se filtra y se lleva a evaporador rotario para eliminar solvente.

Cromatografía gaseosa: se realizó en un equipo Perkin Elmer Autosystem XL. Mediante esta técnica se determinó el contenido de eugenol en las muestras correspondientes a cada experiencia. La curva de calibración se realizó usando como estándar interno salicilato de metilo (SM) (ecuación 3).

$$\frac{\text{área de eugenol (mV)}}{\text{área (SM)}} = 46,191 \frac{\text{concentración de eugenol } \left(\frac{g}{L}\right)}{\text{concentración SM } \left(\frac{g}{L}\right)} + 0,415 \quad (3)$$

Espectroscopia infrarroja: se realizó en un equipo espectrofotómetro FTIR-8000. Se utilizó para identificar los grupos funcionales presentes en el eugenol.

Resonancia magnética nuclear: se realizó en un equipo Bruker 300. Este ensayo brindó información acerca de la estructura del eugenol. Se realizó ^1H RMN.

La figura 1 muestra detalles del trabajo realizado en el laboratorio.



Figura 1. (a) Clavo de olor, (b-c) Extracción asistida por microondas, (d-e) Equipo Soxhlet, (f) Ensayo IR.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos durante los trabajos prácticos fueron presentados en distintos informes, los cuales contienen los respectivos análisis y conclusiones. Posteriormente los mismos fueron socializados. Cada informe detalla el fundamento de las técnicas empleadas, los materiales utilizados, los equipos y reactivos, explicando además los cálculos realizados y presentando los resultados mediante un software de procesamiento de datos. Finalmente, se detallaron las conclusiones a las que se arribó.

En cada caso los procesos estuvieron descriptos fotográficamente. En la tabla 3 se indican los resultados.

Tabla 3. Resultados y conclusiones presentadas por los estudiantes

Destilación por arrastre de vapor	El rendimiento de AE máximo fue de 8,66 % en un tiempo de 4 h. El rendimiento máximo en eugenol fue de 49,15 % en un tiempo de 6 h respecto al AE extraído.
Extracción Soxhlet	El mayor rendimiento de AE se obtuvo con n-hexano y fue de 43,63 %. Sin embargo éste método presentó un bajo rendimiento en eugenol respecto al AE extraído (0,04 %). Al emplear etanol como solvente de extracción el rendimiento de AE fue menor que en el caso de la extracción con n-hexano (30%) pero el rendimiento de eugenol respecto al aceite esencial extraído fue de 1,39 %, muy superior al obtenido con los otros dos solventes. Por ello se eligió el etanol como solvente de extracción para los siguientes ensayos, los cuales se analizaron a distintos tiempos. A partir de los mismos se puede concluir que el mejor rendimiento de AE fue alcanzado en un tiempo 4 h, siendo el mismo de 31,9 %, mientras que el contenido de eugenol respecto al AE extraído fue de 3,68 %. Este resultado, en comparación con aquel empleando n-hexano, se debe a que al ser el etanol un compuesto de polaridad intermedia -para esta consideración solo se tuvo en cuenta la permitividad-, disminuye la pureza del extracto obtenido.
Extracción asistida por microondas	Los valores medios de los niveles de cada factor obtenidos siguiendo el método de Taguchi, indican cómo cambiará el rendimiento de extracción cuando se cambie el nivel de ese factor. El rendimiento de AE respecto a la solución de etanol, disminuyó a partir de una solución del 40 %, indicando un óptimo en esta concentración. Con respecto a las demás variables el óptimo fue a 50 °C, 720 rpm, 15 min, y la relación líquido:sólido de 7 mL/mg. Mientras que el mayor contenido de eugenol respecto al AE obtenido se obtuvo bajo las siguientes condiciones, etanol al 100 %, 70 °C, 480 rpm, 5 min, y relación líquido: sólido de 16 mL/mg.
Separación de eugenol desde el aceite esencial	Se separó el eugenol del AE obtenido por destilación por arrastre de vapor. El rendimiento de eugenol respecto al AE coincidió con el obtenido con el cromatograma completo.
Ensayo de IR y RMN del eugenol	IR $\nu_{\text{máx.}}$ (cm^{-1}): 3500 (OH); 2885 (=CH); 2880 (-CH ₂ -); 2850 (-OCH ₃); 1640 (C=C); 1590 (C=C _{Ar}); 1470 (C=C _{Ar}); 1370 (C=C _{Ar}). ¹ HRMN (300 MHz, Acetona-d ₆): 3,31 (d, 2H, CH ₂); 3,83 (s, 3H, OCH ₃); 5,02 (d, 1H, HC=C); 5,10 (d, 1H, HC=C); 5,97 (m, 1H, HC=C); 6,66 (s, 1H _{Ar}); 6,67 (d, 1H _{Ar}); 6,79 (d, H _{Ar}).

CONCLUSIONES

La realización de estos trabajos en el laboratorio permitió reforzar y enriquecer el proceso de enseñanza-aprendizaje de los contenidos específicos de la asignatura, evaluando en forma continua a los alumnos de manera de corregir los errores detectados. Como puede observarse en el desarrollo fueron abarcados distintos tópicos relacionados a las propiedades dinámicas básicas, tanto físicas como químicas. El contexto ayudó a los estudiantes a cuestionar metodologías, a potenciar sus deseos de aprender, a desarrollar sus habilidades cognitivas y experimentales, y a inferir que aspectos necesitan mejorar.

Durante el desarrollo de estas prácticas, los estudiantes fueron capaces de compilar, analizar e interpretar datos, proponer respuestas y comunicar el resultado. Los mismos demostraron un buen nivel de entendimiento y comprensión de los métodos de extracción de metabolitos secundarios a partir de matrices vegetales, sobre las variables que intervienen en dichos métodos y en relación a la forma que influyen en los resultados. La modalidad de presentación de un informe final escrito les permitió a los estudiantes profundizar en el conocimiento del tema y darle un cierre a lo aprendido.

Se espera que la base adquirida a través de estas estrategias haga permanente el aprendizaje en las próximas etapas de la carrera.

REFERENCIAS

- [1] N. Akkuzu and M. A. Uyulgan, *Chem. Educ. Res. Pract.* **2013**, 17, 36–57.
- [2] V. A. Guntero, M. N. Kneeteman, and P. M. Mancini, *World J. Chem. Educ.* **2017**, 5(3), 86–90, 2017.
- [3] L. V. Daconta, T. Minger, V. Nedelkova, *J. Chem. Educ.* **2015**, 92, 1741–1744.
- [4] G. Wenqiang, L. Shufen, Y. Ruixiang, T. Shaokun, and Q. Can, *Food Chem.* **2007**, 101, 1558–1564.
- [5] C. Sebaaly, A. Jraij, H. Fessi, C. Charcosset, and H. Greige-gerges, *FOOD Chem.* **2015**, 178, 52–62.
- [6] A. E. Aguilar-González, A. López-Malo, *Temas Sel. Ing. los Aliment.* **2013**, 7(2), 35–41.
- [7] Z. Guo, *Acta Pharm. Sin. B* **2017**, 7(2), 119–136.
- [8] B. Roberto, *Eco-Friendly Synthesis of Fine Chemicals*. RSC Publishing (Ed.), **2009**.
- [9] Minitab, “<http://www.minitab.com/es-mx/>.” .