

¿Cómo se protegen las plantas de los insectos? Un ejercicio práctico de laboratorio para ilustrar los mecanismos de defensa de la planta a través de metabolitos secundarios

How do plants protect themselves from insects? A practical laboratory exercise to illustrate plant defense mechanisms through secondary metabolites

Como as plantas se protegem dos insetos? Um exercício prático de laboratório para ilustrar os mecanismos de defesa da planta através de metabólitos secundários

Erika Banchio¹

Ana Laura Raquel Correa²

Resumen.

A pesar de la creciente conciencia de la importancia de los metabolitos secundarios de las plantas, el contenido de la Licenciatura en Ciencias Biológicas generalmente no proporciona un concepto claro a los estudiantes en relación con la inducción de las defensas de las plantas por parte de los metabolitos secundarios, lo que implica que los estudiantes no obtienen una buena comprensión del metabolismo secundario y sus funciones. Independientemente de que los alumnos tengan conocimientos previos de química orgánica, bioquímica y fisiología vegetal, no tienen un conocimiento claro del metabolismo secundario. Para subsanar esta carencia, pensamos diseñar un ejercicio práctico para impartir a los alumnos de grado de la asignatura opcional "Biocontrol y Productos Naturales" de los últimos años de la carrera de Cs Biológicas. En las clases de laboratorio propuesta se determinará la inducción fitoquímica de metabolitos secundarios en plantas aromáticas sometidas a herbivoría. EL Trabajo Practico de laboratorio que proponemos, promueve el pensamiento crítico en los estudiantes. Los estudiantes podrán involucrarse en esta forma de aprendizaje, donde puedan construir su comprensión a partir de los resultados y hallazgos obtenidos, y así tener la oportunidad de evaluar críticamente los datos y apoyar cualquier conclusión utilizando la evidencia obtenida.

Palabras clave.

Trabajo Practico de Laboratorio, Métodos de Enseñanza-Aprendizaje Activos, Metabolitos Secundarios, Herbivoría.

¹ Diplomatura superior en enseñanza de las prácticas experimentales en ciencias. Universidad Nacional de Rio Cuarto. Argentina. ebanchio@exa.unrc.edu.ar. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8588-587X>

² Universidad Nacional de Rio Cuarto. Córdoba, Argentina.

Abstract.

Despite the growing awareness of the importance of plant secondary metabolites, the content of the Bachelor of Biological Sciences generally does not provide a clear concept to students regarding the induction of plant defenses by metabolites. secondary, which implies that students do not gain a good understanding of secondary metabolism and its functions. Although students have previous knowledge of organic chemistry, biochemistry, and plant physiology, they do not have a clear knowledge of secondary metabolism. To remedy this deficiency, we plan to design a practical exercise to teach undergraduate students the optional subject "Biocontrol and Natural Products" in the last years of the Biological Sciences degree. In the proposed laboratory classes, the phytochemical induction of secondary metabolites in aromatic plants subjected to herbivory will be determined. The Practical Laboratory Work that we propose promotes critical thinking in students. Students will be able to engage in this form of learning, where they can build their understanding from the results and findings obtained, and thus could critically evaluate the data and support any conclusions using the evidence obtained.

Keywords.

Practical Laboratory Work, Active Teaching-Learning Methods, Secondary Metabolites, Herbivory.

Resumo.

Apesar da crescente conscientização sobre a importância dos metabólitos secundários vegetais, o conteúdo do Bacharelado em Ciências Biológicas geralmente não fornece um conceito claro aos alunos sobre a indução de defesas vegetais por metabólitos. do metabolismo secundário e suas funções. Apesar de os alunos terem conhecimentos prévios de química orgânica, bioquímica e fisiologia vegetal, eles não têm um conhecimento claro do metabolismo secundário. Para colmatar esta deficiência, pretende-se conceber um exercício prático para ministrar aos alunos de licenciatura a disciplina optativa "Biocontrole e Produtos Naturais" nos últimos anos da licenciatura em Ciências Biológicas. Nas aulas laboratoriais propostas será determinada a indução fitoquímica de metabólitos secundários em plantas aromáticas sujeitas a herbivoria. O Trabalho Prático de Laboratório que propomos promove o espírito crítico dos alunos. Os alunos poderão envolver-se nesta forma de aprendizagem, onde poderão construir a sua compreensão a partir dos resultados e constatações obtidos, tendo assim oportunidade de avaliar criticamente os dados e fundamentar eventuais conclusões com base nas evidências obtidas.

Palavras-chaves.

Trabalhos Práticos de Laboratório, Métodos Ativos de Ensino-Aprendizagem, Metabolitos Secundários, Herbivoria.

Fecha de recepción: 15/12/2022

Fecha de aceptación: 19/05/2023

Resumen Extendido

A pesar de la creciente conciencia de la importancia de los metabolitos secundarios de las plantas, el contenido de la Licenciatura en Ciencias Biológicas generalmente no proporciona un concepto claro a los estudiantes en relación con la inducción de las defensas de las plantas por parte de los metabolitos secundarios, lo que implica que los estudiantes no obtienen una buena comprensión del metabolismo secundario y sus funciones. Independientemente de que los alumnos tengan conocimientos previos de química orgánica, bioquímica y fisiología vegetal, no tienen un conocimiento claro del metabolismo secundario. Para subsanar esta carencia, proponemos un ejercicio práctico para impartir a los alumnos de grado de la asignatura opcional "Biocontrol y Productos Naturales" de los últimos años de la carrera de Ciencias Biológicas. En las clases de laboratorio propuesta se determinará la inducción fitoquímica de metabolitos secundarios en plantas aromáticas sometidas a herbivoría. En esta propuesta se prevé luego de la clase teórica de la temática vinculada a las defensas vegetales, que los alumnos evalúen en 4 clases de laboratorio experimental la inducción de metabolitos secundarios como compuestos fenólicos y aceite esencial en plantas de menta dañada por una isoca (*Rachiplusia nu*). Al final de ese práctico se espera que, con base en los resultados podrán determinar si sus hallazgos apoyan o no las hipótesis discutidas durante la parte teórica del curso. Los estudiantes tendrán una mejor comprensión de las respuestas de defensa de las plantas a los herbívoros; ser capaz de ilustrar las consecuencias de la herbivoría de insectos en relación con la inducción de metabolitos secundarios de plantas, generando simultáneamente un debate sobre la evolución; adquirir habilidades de laboratorio relacionadas con el uso del espectrofotómetro; ser capaz de comprender y analizar un informe de cromatografía gaseosa. Considerando que las experiencias auténticas de investigación en el aula, se consideran elementos valiosos para promover la ciencia a nivel de grado, además de motivar al estudiante.

EL presente Trabajo Práctico de laboratorio promueve el pensamiento crítico. Los estudiantes lograrán involucrarse en esta forma de aprendizaje, donde podrán construir su comprensión a partir de los resultados y hallazgos obtenidos, y así tendrán la oportunidad de evaluar críticamente los datos y apoyar cualquier conclusión utilizando la evidencia obtenida.

Problemática que intenta abordar el proyecto

La propuesta tiene como objetivo introducir al alumno en la química de las interacciones entre plantas e insectos, desde una perspectiva ecológica y química. También se abordarán los alcances y perspectivas del uso de metabolitos secundarios para el control de plagas.

Metas o finalidades del proyecto

A pesar de la creciente conciencia de la importancia de los metabolitos secundarios de las plantas, en asignaturas de la Licenciatura en Ciencias Biológicas generalmente no se proporciona un concepto claro a los estudiantes en relación con la inducción de las defensas de las plantas por parte de los metabolitos secundarios, lo que implica que los estudiantes no obtienen una buena comprensión del metabolismo secundario y sus funciones. Independientemente de que los alumnos tengan conocimientos previos de Química Orgánica, Química Biológica y Fisiología Vegetal, no tienen una comprensión clara de este metabolismo. Para subsanar esta carencia, pensamos diseñar una experiencia auténtica de investigación en el módulo: Interacción insecto-planta, de la asignatura opcional "Biocontrol y Productos Naturales" para alumnos de grado del último año de la carrera de Ciencias Biológicas, en cuyas clases se determinará la inducción fitoquímica de metabolitos secundarios en plantas aromáticas sometidas a herbivoría.

Nuestra experiencia ha demostrado que los estudiantes de Ciencias Biológicas tienen una falta de práctica experimental relacionada con la fitoquímica. Aunque las definiciones de metabolismo secundario son intrínsecamente difusas (Erb y Kliebenstein, 2020), las diferencias entre los metabolitos primarios, secundario y las hormonas vegetales se han abierto camino en los libros de texto y dan forma a nuestro pensamiento en biología vegetal hasta el día de hoy. Un ejemplo ilustrativo es el campo de las interacciones planta-herbívoro, donde se han realizado grandes esfuerzos para desentrañar cómo las plantas protegen sus metabolitos primarios (que sirven como nutrientes para los herbívoros) usando metabolitos secundarios (como defensas para las plantas), y también cómo los herbívoros adaptados logran extraer metabolitos primarios mientras evitan cualquier efecto negativo de metabolitos secundarios (Erb y Reymond, 2019).

En particular, los estudiantes de la carrera de Ciencias Biológicas abordan la temática interacción insecto-planta, en asignaturas como

Ecología. Particularmente el tema de la inducción fitoquímica después del ataque de insectos se aborda solo mediante clases teóricas. En consecuencia, los estudiantes, a pesar de tener conceptos claros con respecto a las defensas físicas de las plantas, demuestran su inseguridad cuando se les pide que expliquen la inducción química en las defensas vegetales. Con base en estas consideraciones, se diseñó una actividad práctica para brindar a los estudiantes clases de laboratorio donde puedan determinar la inducción fitoquímica de metabolitos secundarios en plantas aromáticas sometidas a herbivoría. Está previsto realizar diferentes actividades experimentales, discutir aspectos teóricos, realizar anticipaciones y analizar los resultados que se van logrando, socializando las experiencias en una construcción colectiva del conocimiento.

Objetivos de aprendizaje

Teniendo en cuenta lo anterior, hemos diseñado una serie de actividades experimentales originales destinadas a mejorar la comprensión de los estudiantes y la identificación de las respuestas de defensa de las plantas a la herbivoría, esencialmente mediante la revisión e integración de los conceptos enseñados en cursos anteriores. Esta actividad contempla el estudio de la inducción de los compuestos fenólicos totales y de aceites esenciales (AE) en plantas de *Mentha piperita* (menta) dañada por una isoca (larva de tercer estadio de *Rachiplusia nu*). Esta interacción se sugiere porque la menta es una planta aromática y medicinal cultivada en todo el mundo principalmente por sus aceites esenciales, que luego se utilizan en las industrias de fragancias, especias y farmacéuticas (Lubbe y Verpoorte, 2011). Los AE son mezclas complejas, constituidas por hidrocarburos terpenoides, terpenos oxigenados y sesquiterpenos. Se originan en el metabolismo secundario de la planta y son los responsables de su característico aroma. Los extractos de plantas de menta también tienen flavonoides, polifenoles y carotenos, lo que resulta en una alta actividad antioxidante (Farnad et al., 2014).

Al final de esta actividad experimental, además de obtener una mejor comprensión de las respuestas de defensa de las plantas a los herbívoros, los estudiantes podrán: (a) ilustrar las consecuencias de la herbivoría de insectos en relación con la inducción de metabolitos secundarios de plantas; (b) Adquirir habilidades de laboratorio relacionadas con el uso del espectrofotómetro; (c) comprender y analizar un informe de cromatograma obtenido del análisis de muestras por Cromatografía Gaseosa; (d)

Incrementar habilidades en la interpretación, discusión y registro de resultados experimentales.

Desde el punto de vista del aprendizaje, el enfoque adoptado al vincular la enseñanza con la investigación se construye para sumergir a los alumnos en experiencias de investigación auténticas, ya que la investigación en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias debe implicar la identificación y formulación de preguntas apropiadas, planteando hipótesis, diseñando y realizando investigaciones, recolectando evidencia, sacando conclusiones, y comunicando y defendiendo hallazgos.

Contextualización

Esta actividad propuesta se llevará a cabo en el módulo 1: Interacción insecto-planta, del programa de la asignatura: "Biocontrol y Productos Naturales" de modalidad optativa, que se impartirá en un cuatrimestre del último año de la Licenciatura en Ciencias Biológicas (Segundo Cuatrimestre de 5to año de la carrera) que se dictará en la Universidad Nacional de Río Cuarto Facultad de Ciencias Exactas, Fisicoquímicas y Naturales. La asignatura tiene una carga horaria total de 70 h.

Las plagas y enfermedades en cultivos agrícolas representan una de las principales amenazas al suministro de alimentos en el mundo. El surgimiento de estos problemas es complejo, como también lo es su solución. Frente a estos retos, el biocontrol y los bioinsumos aparecen como una alternativa que presentan innumerables beneficios. En las últimas décadas se ha renovado el interés en ellos debido a las demandas de una agricultura no contaminante y de la seguridad de las personas. El uso de bioinsumos se están convirtiendo en una nueva tendencia para el manejo de plagas en la agricultura moderna y agricultura orgánica (Kalpana y Anil, 2021).

El objetivo del módulo 1 es que los estudiantes adquieran el conocimiento de las implicancias de la interacción insecto-planta. Proporcionar al alumno una amplia información conceptual y metodológica sobre las diversas interacciones que ocurren entre los insectos y las plantas tanto en ecosistemas naturales como en agroecosistemas.

Se enfatiza las interacciones que tienen relevancia evolutiva, así como aquellas que deben de tomarse en cuenta en la investigación de índole básica y en el manejo de los recursos naturales. Durante el módulo se analizarán los mecanismos que las plantas han desarrollado para responder a la presencia de insectos en su entorno, estudiando esta interacción desde

un enfoque bioquímico, molecular y ecológico. Se tratan distintos temas en torno al reconocimiento, señalización, activación y temporalidad de las respuestas defensivas involucradas durante la herbivoría. También se estudiará el impacto de estas defensas sobre otros insectos y plantas presentes en su entorno.

Fundamentación del proyecto

Con esta actividad en el aula, se pretende promover el pensamiento crítico en los estudiantes. Se intenta que los estudiantes se involucren en esta forma de aprendizaje, donde puedan construir su comprensión a partir de los resultados y hallazgos obtenidos, y así tener la oportunidad de evaluar críticamente los datos y apoyar cualquier conclusión utilizando la evidencia obtenida (Rivarosa y Moroni, 2008, Flores *et al.*, 2009, Meinardi, 2012).

Para la actividad propuesta, se diseñó una sesión práctica sin restricciones de tiempo (4 días de laboratorio). De esta manera, los alumnos tienen más tiempo para la reflexión y la interacción, ambos factores esenciales para que se produzca un “aprendizaje significativo” (Rivarosa, 2009). Sin embargo, el aprendizaje significativo requiere que el alumno posea algún conocimiento previo de un tema y que el alumno elija aprender de una manera eficaz (Rivarosa *et al.*, 2013; Astudillo *et al.*, 2018). Mediante la realización de esta experiencia, los estudiantes lograrán involucrarse en esta forma de aprendizaje, asimismo podrán construir su comprensión a partir de los resultados y hallazgos obtenidos, y así tendrán la oportunidad de evaluar críticamente los datos y apoyar cualquier conclusión utilizando la evidencia obtenida (Abidin *et al.*, 2013). Esta forma de aprendizaje significativo ocurre en tres dominios: hacer (psicomotor), pensar (metacognitivo) y sentimientos, emociones y actitudes (afectivo) (George-Williams *et al.*, 2019). Finalmente, los estudiantes comunicarán sus hallazgos en un informe escrito, basado en la idea de que el proceso de escritura conduce a una comprensión más profunda de los conceptos en desarrollo (Rivarosa y Moroni 2008).

Descripción del proyecto

El procedimiento de la actividad propuesta se llevará a cabo en tres sesiones de laboratorio de aproximadamente 3-4 horas, con la participación simultánea de no más de veinte estudiantes. Luego se

requiere una cuarta sesión, de aproximadamente 2 horas, para el registro de datos y el análisis de los resultados (Tabla 1). Finalmente, sus hallazgos serán comunicados en un informe escrito. Trabajarán en dos grupos a lo largo de las actividades.

Este ejercicio de laboratorio debe ser planificado por el profesor con antelación, ya que es necesario trabajar con larvas de tercer estadio de *Rachiplusia nu* hambreadas durante 24 h.

Tabla 1. Cronograma de actividades a desarrollar.

Día	Tiempo (hs)	Actividades
1	3	Explicación teórica
		Definición de objetivos e hipótesis
		Creación de grupos de trabajo. Descripción del procedimientos
		Exposición de las plantas a los insectos
2 (48 h posterior a la clase 1)	1	Procedimiento: cuantificación de fenoles totales (FT) Preparación del material vegetal para la cuantificación del contenido de FT (24 h incubación)
	2	Extracción Aceites Esenciales (AE): Hidrodestilación, concentración y adquisición de AE
3 (24 h posterior a la clase 2)	2	Procedimiento: cuantificación de fenoles totales (FT) Obtención de la curva de calibración contenido de FT
		Medición de las muestras por la técnica de espectrometría
	2	Extracción AE: Análisis e interpretación de los reportes de cromatografía gaseosa Análisis estadístico y gráficos
4	2	Análisis y discusión de los resultados. Presentación de un informe de laboratorio escrito

Actividad, participación de los estudiantes, finalidades y fundamentos del proyecto

Antes del primer día de laboratorio, los estudiantes deberán leer una guía de trabajo que presenta los temas y antecedentes teóricos. El docente se encargará de preparar previamente las plantas y las larvas. Se plantea la

pregunta problema: ¿Cómo se protegen las plantas de los insectos? ¿Qué función cumplen los mecanismos de defensa de la planta a través de metabolitos secundarios? y se plantea la interacción entre las plantas de *Mentha piperita* (menta) dañada por una isoca (larva de tercer estadio de *Rachiplusia nu*).

De esta forma tendrán información sobre las plantas de menta, particularmente el tipo de metabolitos secundarios que posee (aceites esenciales y compuestos fenólicos) y las características de las larvas de *Rachiplusia*. Con toda esta información y con la guía del docente, los estudiantes propondrán la hipótesis de trabajo y las actividades experimentales a desarrollar para poner a prueba la hipótesis planteada.

Se establecerán dos grupos de trabajo y deberán discutir qué metabolitos secundarios evaluar; y en base a la bibliografía aportada, deberán proponer el estudio cualitativo y cuantitativo de los mismos. Se debatirá el ensayo a desarrollar para poder resolver la hipótesis planteada con la ayuda del docente

Luego, través de la discusión que se genere y la guía del docente se desarrollará el diseño experimental a Implementar.

Posteriormente, los estudiantes iniciarán la actividad experimental con la exposición de las plantas a las larvas.

En el segundo día (48 h después de la primera clase), Se recolectará el material vegetal. El docente explicará la metodología para la determinación de metabolitos secundarios (compuestos fenólicos totales y la extracción de aceites esenciales).

En el tercer día de laboratorio terminarán el análisis de compuestos fenólicos totales, para ello utilizarán el espectrofotómetro. Se realizará la curva de calibración estándar para el ácido gálico (los alumnos ya tienen conocimientos previos para la realización de curvas de calibración), para luego poder cuantificar el contenido de fenoles de cada extracto y ser expresado en mg/g de peso fresco de la planta, basándose en la curva de calibración del material de referencia de ácido gálico.

Cabe señalar que los estudiantes obtienen beneficios de esta experiencia de laboratorio además del contenido propio de la asignatura, incluye la posibilidad de practicar nuevamente metodologías aprendidas en cursos anteriores, como es el caso de la técnica de espectrofotometría. Relacionado con esto, en cursos previos, por lo general en prácticas de laboratorio se realizan determinaciones de muestras biológica por espectrofotometría. Aunque los alumnos disponen de una guía de estudio donde se explican los antecedentes de la técnica, sólo tienen que

configurar los reactivos en la muestra para obtener la coloración y medir la densidad óptica. En general se observa que los estudiantes realizan las mediciones sin comprender completamente el alcance de la metodología para ciertas situaciones biológicas. En este caso en particular, pueden hacer un uso práctico de la técnica, ya que realizan la determinación del contenido de compuestos fenólicos (extraídos del material vegetal por ellos mismos) sometido a distintos tratamientos. De esta forma, esta actividad de laboratorio mejora y afianza sus conocimientos sobre esta técnica y genera una apreciación de la versatilidad de esta.

Para el análisis de los aceites esenciales, el docente presentará una explicación de el fundamento de la técnica analítica de GC (cromatografía de gaseosa) y brindará una breve explicación sobre cómo leer e interpretar el reporte del análisis cromatográfico. Se sugiere que el docente realice la inyección en el cromatógrafo de gases, identifique los principales compuestos y entregue los reportes a los estudiantes con la identificación del tiempo de retención de cada uno de los principales compuestos a analizar. Esto se propuso porque la inyección de todas las muestras requeriría demasiado tiempo. De esta forma los estudiantes analizarán los reportes proporcionados por el docente.

En relación con la técnica analítica de GC que permite la separación e identificación de compuestos orgánicos, en la asignatura de Química Orgánica los alumnos no tienen ningún ejemplo práctico de esta técnica. En la presente actividad de laboratorio, aunque los estudiantes no utilizan personalmente el equipo de cromatografía, obtendrán una mejor comprensión del principio de la cromatografía de gases; a pesar de no realizar ellos la inyección en el equipo, el docente le dará el fundamento de la técnica y los alumnos obtienen y preparan una muestra, y fundamentalmente, también aprenderán a interpretar el informe de GC.

En el cuarto día, los resultados obtenidos durante las clases anteriores serán analizados por los alumnos. Esto implicará combinar los resultados de los dos grupos. Los resultados experimentales se compararán con los de los tratamientos de control realizando el análisis estadístico requerido, y se graficarán los resultados observados. Se discutirá los resultados en relación con la hipótesis planteada; luego determinan si sus hallazgos respaldan o no la hipótesis discutida durante la parte teórica del curso.

En esta actividad de laboratorio se hizo especial énfasis en el uso de la estadística ya que los estudiantes manifiestan que completan la asignatura, pero nunca la aplican en ninguna actividad práctica. Así mismo, cuando están desarrollando sus estudios de posgrado no saben cómo deben usar los conocimientos previamente adquiridos.

Luego, realizarán un gráfico que muestre el efecto de la herbivoría de insectos utilizando los datos obtenidos de ambos grupos. En relación con esto, se espera que las plantas expuestas al daño de las larvas tuvieran compuestos fenólicos totales significativamente mayor, y también mayores cantidades de mentona, mentol y pulegona presentes en los aceites esenciales de menta (Cappellari *et al.*, 2020).

Los resultados serán discutidos y analizarán si respaldan o no la hipótesis planteada. También será discutido si existiera cualquier resultado atípico con respecto a las características del diseño experimental y posibles efectos de errores cometidos durante el procedimiento. Se espera que los estudiantes analicen sus resultados, obtengan conclusiones y decidan si se necesitan más experimentos, así como que mencionen nuevas preguntas que pudieran haber surgido durante el transcurso de la investigación.

Es importante debatir con los estudiantes, que los efectos de la herbivoría en las plantas son complejos. Se destacará que cada planta interactúa con los insectos de manera diferente, y que los insectos de la misma especie pueden producir diferentes efectos en las plantas dependiendo de la especie de planta particular dañada (Erb y Reymond, 2019). Además, se discutirá la evolución de las defensas de las plantas en el contexto de que los insectos se encontraban entre los primeros herbívoros terrestres y actuaban como los principales agentes de selección de las plantas. Las plantas desarrollaron defensas químicas contra esta herbivoría y los insectos, a su vez, desarrollaron mecanismos para lidiar con las toxinas de las plantas (Erb y Reymond, 2019).

Finalmente, se solicitará a los estudiantes que redacten un informe estructurado como una publicación científica, considerando que los alumnos del último año de la carrera ya tienen experiencia de asignaturas anteriores, de la lectura y discusión de trabajos científicos. Este informe final brindará la oportunidad de mejorar sus habilidades de redacción científica, lo que contribuirá aún más al proceso de aprendizaje.

En particular, al tener esta actividad práctica, los estudiantes lograrán una mejor comprensión de los conceptos teóricos. Esta actividad práctica también acerca a los estudiantes con la tecnología de extracción y concentración para el estudio de AE. Demostrando la facilidad con la que se pueden obtener los AE, algo que nunca antes han considerado en la carrera. También se enfatiza en que los AE se utilizan en una amplia variedad de bienes de consumo, como detergentes, jabones, productos de tocador, cosméticos, productos farmacéuticos, perfumes, productos alimenticios de confitería, refrescos, bebidas alcohólicas destiladas e insecticidas. Concientizando que la producción y el consumo mundial de

AE y perfumes están aumentando muy rápidamente. Además, la tendencia emergente de un retorno a la naturaleza ha provocado un cambio de preferencia de productos naturales (Gunjan *et al.*, 2015). Por lo tanto, es importante crear interés en los estudiantes sobre estos temas novedosos, que actualmente son el centro de un esfuerzo de investigación (Gasper y Gardner, 2013).

Finalmente, los estudiantes lograrán avances significativos en habilidades en mejorar sus capacidades de comunicación, tanto entre los miembros del equipo como mediante la redacción de un informe de laboratorio común y completo. Así, las actividades realizadas en grupo son una buena técnica educativa para mejorar las prácticas de comunicación entre estudiantes.

En conclusión, la inclusión de la experiencia auténtica de investigación propuesta para estudiar los efectos de la herbivoría en los metabolitos secundarios de una planta aromática/medicinal se diseñó como una actividad práctica de laboratorio y siguió un procedimiento experimental científico, en el que los estudiantes plantean una hipótesis, desarrollan un diseño experimental, recopilan y analizan sus resultados y luego determinan si sus hallazgos respaldan o no la hipótesis discutida durante la parte teórica del curso. En el campo de la enseñanza de las ciencias, esta actividad brinda al docente la oportunidad de introducir nuevas metodologías instruccionales que favorezcan la investigación y la creación de conocimiento (Adúriz-Bravo, 2010). Los trabajos prácticos en el aula se consideran elementos valiosos para promover la ciencia, a través de la motivación del estudiante y vinculando la investigación con la docencia (Wilson *et al.*, 2016). La serie de experimentos de laboratorio descritos es un enfoque para modificar las actividades prácticas existentes para promover el pensamiento crítico en los estudiantes, apoyando así un aprendizaje mejorado. En particular, en las clases de laboratorio, donde el alumno traduce la teoría a la práctica, los estudiantes no consideran la importancia de sus resultados. En el presente experimento de laboratorio, mucho más que solo procesar información, se considera la evaluación, interpretación y manipulación o transformación de la información. En esta actividad, se pide a los estudiantes que planteen una hipótesis, diseñen los ensayos experimentales, obtengan y analicen los datos que recopilaron, combinen datos de diferentes fuentes y generaren argumentos o conclusiones sobre sus datos, considerándolo pensamiento crítico. Sin embargo, en contraste, cuando los estudiantes simplemente siguen las instrucciones de laboratorio del llamado "libro de cocina" que les exigen confirmar conclusiones predeterminadas, no se involucran en el pensamiento crítico (Reynders *et al.*, 2020). Este tipo de actividades

ayudan a los estudiantes a integrar la teoría y la práctica, asegurando que tengan una mejor comprensión de la relación entre estos dos elementos, y también motiva a los estudiantes inclinados a la investigación científica a considerar esta posibilidad para su futura carrera.

Referencias Bibliográficas

- Abidin, I. I. Z., Zain, S. F. H. S., Rasidi, F. E. M. y Kamarzaman, S. (2013). Chemistry Lab Reports at University: To Write or Not to Write. *J. Coll. Teach. Learn*, 10(3), 203–212.
- Adúriz-Bravo, A. (2010). Aproximaciones histórico-epistemológicas para la enseñanza de conceptos disciplinares. *Revista EDUCyT*, 1(1), 125-140.
- Astudillo, C., Rivarosa, A. y Adúriz-Bravo, A. (2018). Evolución biológica y reflexión metacientífica. Aportes para la formación docente del profesorado de ciencias. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, 43, 91–116. <https://doi.org/10.17227/ted.num43-8653>
- Cappellari, L., Chiappero, J., Palermo, T.B., Giordano, W. y Banchio, E. (2020). Impact of Soil Rhizobacteria Inoculation and Leaf-Chewing Insect Herbivory on *Mentha piperita* Leaf Secondary Metabolites. *J Chemical Ecol*, 46(7), 619–630. <https://doi.org/10.1007/s10886-020-01193-3>
- Erb, M. y Reymond, P. (2019). Molecular interactions between plants and insect herbivores. *Annu Rev Plant Biol*, 70, 527–557. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050718-095910>
- Erb, M. y Kliebenstein, D. J. (2020). Plant secondary metabolites as defenses, regulators, and primary metabolites: the blurred functional trichotomy. *Plant Physiol*, 184, 39-52. <https://doi.org/10.1104/pp.20.00433>
- Farnad, N., Heidari, R. y Aslanipour, B. (2014). Phenolic composition and comparison of antioxidant activity of alcoholic extracts of Peppermint (*Mentha piperita*). *J. Food Meas. Charact*, 8, 113–121. <https://doi.org/10.1007/s11694-014-9171-x>
- Flores J., Caballero C. y Moreira, M.A. (2009). El laboratorio en la enseñanza de las ciencias: Una visión integral en este complejo ambiente de aprendizaje. *Revista de Investigación. Caracas*, 68(33), 75-112
- Gaspar, B. J. y Gardner, S. M. (2013). Engaging students in authentic microbiology research in an introductory biology laboratory course is correlated with gains in student understanding of the nature of

- authentic research and critical thinking. *J. Microbiol. Biol. Educ.*, 14, 25–34. <https://doi.org/10.1128/jmbe.v14i1.460>
- George-Williams, S. R., Karis, D., Ziebell, A.L., Kitson, R. R., Coppo, P., Schmid, S. y Overton, T.L. (2019). Investigating student and staff perceptions of students' experiences in teaching laboratories through the lens of meaningful learning. *Chemistry Education Research and Practice*, 20, 187-196. <https://doi.org/10.1039/C8RP00188J>
- Gunjan, M., Naing T. W., Saini, R. S., Ahmad, A., Naidu, J. R. y Kumar, I. (2015). Marketing Trends & Futures Prospects of Herbal Medicine in the Treatment of Various Diseases. *Revista mundial de investigación farmacéutica*, 9, 132–155.
- Kalpana, T. y Anil, K. (2021). A review of biopesticides and their plant phytochemicals information. *Ann. Romanian Soc. Cell Biol.* 25, 3576–3588. <http://annalsofrscb.ro/index.php/journal/article/view/468>
- Lubbe, A. y Verpoorte, R. (2011). Cultivation of medicinal and aromatic plants for specialty industrial materials. *Ind Crop Prod*, 34,785–801. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.01.019>
- Meinardi, E. (2012). Otras formas de pensar el aprendizaje de ciencias: la perspectiva piagetiana. *Revista de Educación en Biología*, 15(1). 67–70
- Rivarosa, A. y Moroni, C. (2008). Análisis de las representaciones de los estudiantes universitarios de Biología acerca de las prácticas en ciencias: una alternativa para la enseñanza. *Revista de Educación en Biología*, 11(1), 18-30.
- Rivarosa, A. (2009). *Aprendiendo a enseñar: La reflexión histórica y epistemológica en la formación de formadores*. Río Cuarto, Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina.
- Rivarosa, A., Astudillo, C., Altamirano, M., Astudillo, M. y Trefs, F. (2013). *Nueva Cultura Científica*. Proyecto aprobado por resolución del Ministerio de Ciencia y Tecnología N 58/2013.
- Reynders, G., Lantz, J., Ruder, S. M., Standford, C. L. y Cole, R. S. (2020). Rubrics to assess critical thinking and information processing in undergraduate STEM courses. *IJ STEM Ed*, 7(9),1–15. <https://doi.org/10.1186/s40594-020-00208-5>
- Wilson, A., Howitt, S. y Higgins, D. (2016). A fundamental misalignment: intended learning and assessment practices in undergraduate science research projects. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 41(6), 869-884. <https://doi.org/10.1080/02602938.2015.1048505>

Forma de citar este artículo

Banchio, E. y Correa, A. L. R. (2023). ¿Cómo se protegen las plantas de los insectos? Un ejercicio práctico de laboratorio para ilustrar los mecanismos de defensa de la planta a través de metabolitos secundarios. *Revista Latinoamericana de Educación Científica, Crítica y Emancipadora (LadECiN)*, 2(1), 409-424. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8126646>