



2P

Las microalgas en tu vida diaria

Dra. Ruby Alejandra Valdez Ojeda

Q. I. Tanit Toledano Thompson

Unidad de Energía Renovable

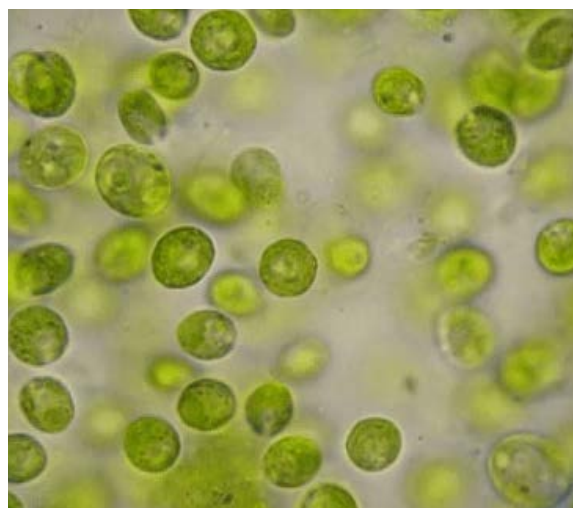
Descripción

Estudiaremos a las microalgas desde su constitución, su relevancia en el ámbito de la investigación y su impacto en el medio ambiente.

Los y las participantes conocerán algunas especies de microalgas y sus requerimientos nutricionales para cultivarlas siguiendo un protocolo y usando materiales de su entorno.

Objetivo

Que los y las participantes adquieran conocimientos básicos sobre las microalgas y su importancia en el cuidado del medio ambiente, mediante sus aplicaciones como fuente de energía renovable.



Materia afín

Ciencias experimentales/Ciencias de la Vida/Biología

(Currícula en: www.sems.gob.mx/curriculoems/implementacion-planes-y-programas-de-estudios)



¿Qué vas a aprender?

- Que los y las participantes sean capaces de comprender los conocimientos vinculados con el concepto de ciencia, la aplicación del método científico y posteriormente, relacionar estos con los de la biología como ciencia.
- Adquirirán los conceptos básicos para la caracterización de los distintos grupos de microalgas, así como de las condiciones idóneas para su reproducción, su importancia en la producción de biocombustibles y finalmente, su aplicación en los diferentes campos de las energías renovables.
- Los y las participantes serán capaces de realizar un cultivo de microalgas a partir de un reservorio de agua de su entorno, usando materiales de uso cotidiano.



Pregunta inicial

- ¿La microalga será capaz de crecer en condiciones diferentes a las de un laboratorio?
- ¿Crees que es posible cultivar microalgas a partir de un reservorio de agua de tu entorno?
- ¿Crees que las microalgas puedan ayudar a la disminución del calentamiento global?



Panorama general del tema

Las microalgas son organismos autótrofos unicelulares, coloniales y filamentosos que habitan diversos ambientes acuáticos en todas las latitudes y ecosistemas del planeta. A partir de las microalgas se obtienen biomoléculas y metabolitos de gran importancia económica y constituyen una fuente directa de alimento, medicamentos, forraje, fertilizante y combustible, e incluso, son indicadoras de contaminación [1].

En la actualidad, la principal actividad que demanda energía en México es el transporte, generada de la combustión de gasolina y diésel, según el *Balance Nacional de Energía 2015* de la Secretaría de Energía (SENER) [2]. El petróleo es la principal fuente de generación eléctrica. Sin embargo, su uso ha causado aumento de gases de efecto invernadero (CO_2), provocando el incremento de la temperatura y, por ende, el calentamiento global.

Esta problemática ha incentivado distintas investigaciones para aprovechar la biomasa microalgal como materia prima para obtener biocombustibles líquidos y gaseosos (biodiésel, bioetanol, biometano, biohidrógeno, etcétera) [3]. Fisicoquímicamente, el biodiésel presenta propiedades que lo hacen adecuado para reemplazar al petrodiesel o diésel de petróleo. La obtención de biodiésel a partir de microalgas lleva más de 20 años de investigación y, en la última década, este tema ha retomado vital importancia, especialmente en los sectores privado y académico.

Actualmente, investigadores de todo el mundo han demostrado el potencial de varias especies de microalgas (p. ej. *Chlorella minutissima*, *Thalassiosira pseudonana*, etcétera) como materia prima para producir biodiésel [4].



Presentación

El objetivo de este proyecto es que los y las participantes adquieran conocimientos básicos sobre las microalgas y su importancia como fuente de energía renovable.

Durante este proyecto documentaremos y aprenderemos acerca del estudio de las microalgas, así como la caracterización de los distintos grupos de estos microorganismos y sus requerimientos nutricionales para su crecimiento. De igual forma se llevará a

cabo la realización de cultivos microalgales y se investigará sobre la importancia de la producción de biocombustibles a partir de microalgas y sus aplicaciones.

Este proyecto fue creado por académicos expertos en la materia, quienes te guiarán en el proyecto durante sesiones de trabajo a distancia, y al finalizar desarrollarás una presentación de tu proyecto para el programa **Talento CICY 2021**.



Desarrollo



Actividad 1: ¿Qué son las microalgas?

Las microalgas son microorganismos unicelulares que realizan la fotosíntesis; utilizan la luz como energía y el dióxido de carbono (CO_2) como fuente de carbono. Generan biomasa orgánica a partir de este y la luz, usando agua como donador de electrones y convirtiéndola en oxígeno, el cual utilizamos para respirar [5].

Pero seguro has escuchado de las microalgas, puesto que, debido al calentamiento global, se ha dado a conocer que pueden ser capaces de disminuir las emisiones de CO_2 , ya que pueden asimilarlo de la atmósfera para sus funciones vitales y liberar oxígeno, el cual usamos para respirar.

Además, por su composición bioquímica, las microalgas han sido utilizadas para crear biocombustibles como el biodiesel y bioetanol debido a la capacidad de acumu-

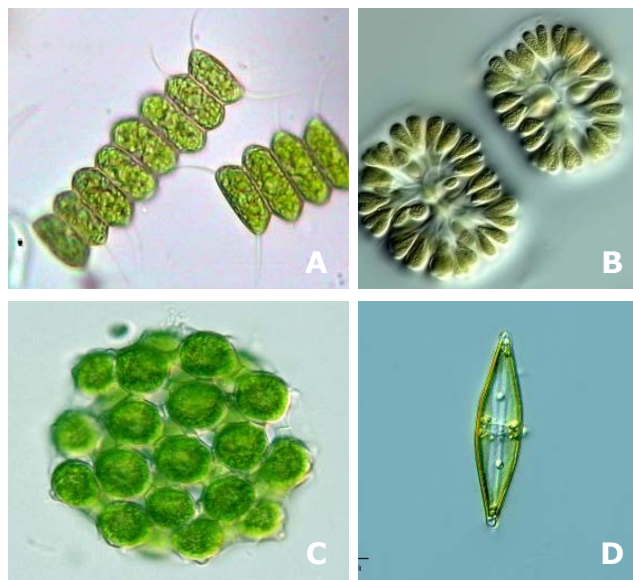


Figura 1. Especies de microalgas: A) *Scendesmus* sp., B) *Gomphosphaeria* sp., C) *Coelastrum* sp., D) *Navicula* sp.



lar grandes cantidades de lípidos y carbohidratos respectivamente. De igual forma pueden llegar a producir diversas sustancias de interés comercial, alimenticio, farmacéutico, entre otros [6].

Veamos en el siguiente apartado, más a detalle, la estructura y composición general de las microalgas y la función de cada uno de ellas.

Estructura y composición de una microalga

Las microalgas presentan una composición muy atractiva de interés comercial, ecológico y alimenticio, ya que poseen grandes cantidades de proteínas, lípidos, carbohidratos, vitaminas y minerales, carotenoides, ácidos grasos poliinsaturados esenciales como omega 3 y omega 6. La composición varía según la especie y las condiciones de crecimiento (que se revisarán en secciones posteriores). Mencionaremos solo algunas estructuras y compuestos de las microalgas [7].

Como se puede observar en la Figura 1, las microalgas presentan en su mayoría una coloración verdosa, algunas especies un verde-azul, cafés y rojas. La mayoría de las microalgas poseen **clorofila a** y **b**, lo que les otorga el color verde característico.

La clorofila es el pigmento básico para la transformación de la energía del sol en energía química mediante la fotosíntesis. Otro pigmento que pueden llegar a tener algunas especies de microalgas son los carotenoides, cuya función principal es deshacerse del exceso de energía luminosa y evitar el daño celular. Poseen cloroplastos, donde se lleva a cabo la fotosíntesis [8].

La pared celular de las microalgas está compuesta por **celulosa**; algunas especies

pueden presentar otros polímeros estructurales. Estos le aportan protección a la célula [9]. Además, están compuestas de **proteínas, lípidos y carbohidratos** de reserva como el **almidón**, la principal reserva de energía y de carbono en las microalgas. Un **pirenoide**, donde se almacenan los carbohidratos de reserva. Algunas especies de microalgas pueden llegar a presentar estructuras externas como los flagelos, que le ayudan a la movilidad, y espinas, que les sirve como defensa ante sus depredadores (Figura 2) [8].

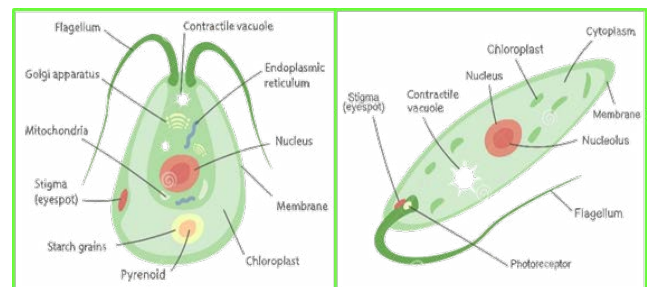


Figura 2. Estructura de la microalga: A) *Chlamydomonas* sp. y B) *Euglena* sp.

Tarea

Conforme a lo expuesto con anterioridad y como retroalimentación de esta sección, elige 4 estructuras o compuestos de las microalgas que más te hayan llamado la atención y escribe el nombre o dibújalo en la columna de la izquierda. Así mismo, explica con tus propias palabras (en la columna de la derecha) la función de la estructura o composición que hayas elegido. Si es posible, apóyate de la web y argumenta la información para conocer la diversidad de estructuras que pueden llegar a presentar las microalgas.



Estructura o compuesto	Función



Actividad 2. ¿Cómo crecen y se alimentan las microalgas?

En la sección anterior vimos la estructura y composición de las microalgas, descubrimos que tienen cloroplastos donde se lleva a cabo la fotosíntesis, proceso indispensable para generar energía que se queda almacenada en el interior de la microalga y que podría ser aprovechada por otros seres vivos. Además, con la fotosíntesis, las microalgas producen azúcares para sus funciones metabólicas, y aceites vegetales que pueden ser aprovechados para la producción de biocombustibles.

Las microalgas para su crecimiento necesitan de luz para proveer electrones, agua (nutriente que suministra los electrones necesarios para la reducción del CO_2), sales

minerales (como nitrógeno en forma de nitrato o amonio para la formación de las proteínas y nucleótidos de la biomasa) y también una fuente de fósforo (que forma parte importante de intermediarios metabólicos, lípidos y enzimas) [6].

Las microalgas en estado silvestre o natural tienen lo necesario para vivir; sin embargo, al llevarlos y cultivarlos en laboratorio tendremos que igualar las condiciones a las que ellas puedan sobrevivir. Por ello es necesario cultivarlas en un medio que cumpla con los requerimientos necesarios y aclimatarlas a las condiciones óptimas de crecimiento [6].

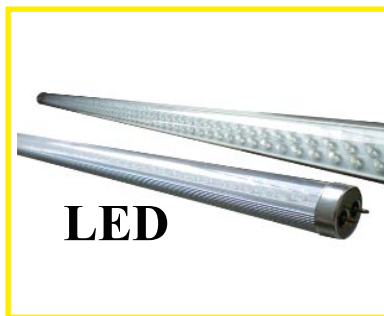


Tarea



Une las imágenes de la izquierda (correspondientes a las condiciones silvestres o naturales de los requerimientos de crecimiento de las microalgas) con las de la derecha (condiciones del laboratorio). Escribe brevemente la similitud de las condiciones.









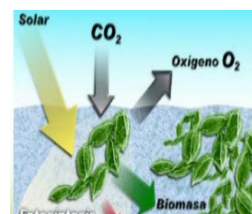
Actividad 3. Función biológica.

En secciones anteriores se ha mencionado la importancia biológica de las microalgas. En esta, platicaremos sobre tres de sus participaciones en la naturaleza [10].

CADENA TRÓFICA: ¿sabías que las microalgas son las que sostienen a la comunidad de herbívoros? Las microalgas representan del 29 al 98 % de la biomasa útil para los consumidores que habitan los ambientes acuáticos. La abundancia de estos microorganismos hace que sean la parte más significativa de consumo, suelen encontrarse en mayor abundancia en los bentos (fondo de un cuerpo de agua). Además, son muy atractivos debido a que no poseen una estructura rígida, lo que las hace más accesibles que las plantas vasculares, y de fácil digestión para los invertebrados y peces.



SUMINISTRO DE OXÍGENO: Las microalgas realizan la fotosíntesis (proceso indispensable para la vida en el planeta) permitiendo fijar CO_2 y liberando el oxígeno necesario para la respiración. Al igual que las plantas, llegan a producir el gas. Sin embargo, la abundancia, su rápida duplicación y extensa producción de biomasa las convierten en la fracción más relevante de producción de oxígeno.



CALENTAMIENTO GLOBAL: Las microalgas son eficientes en la fijación del CO_2 , por lo que llegan a ser una eficaz alternativa para mitigar el calentamiento global. Hoy en día, uno de los objetivos de la utilización de las microalgas está en la reducción del uso de combustibles fósiles y reemplazarlos por biocombustibles como biodiesel, bioetanol y biohidrógeno. Por esta razón se han desarrollado proyectos en búsqueda de microalgas con atractivos contenidos de aceites, carbohidratos y una resistible adaptación a los cambios en las condiciones de crecimiento.



Tarea



Realiza un esquema con el que expliques la importancia y funciones biológicas de las microalgas en la naturaleza e incluyas la cadena trófica, la fotosíntesis y el calentamiento global; además, pláticanos si conoces o has escuchado otras funciones biológicas de las microalgas.



Actividad 4. El hábitat de las microalgas.

¿Te has preguntado dónde podemos encontrar microalgas? En esta sección se abordará los distintos sitios donde logramos hallar a estos microorganismos.

Las microalgas están presentes en todos los cuerpos de agua como lagos, mares y ríos, pero no están limitadas solo al líquido. Se encuentran presentes en el suelo y la mayoría de los ambientes terrestres, incluso en los más extremos, lo cual permite encontrarlas adaptadas a una gran cantidad de condiciones y ampliamente distribuidas en la biósfera [13].

En el estado de Yucatán las podemos encontrar en los cenotes. Inclusive, en nuestra comunidad hasta en un simple charco o estanque, el cual contenga las condiciones y nutrientes óptimos para su crecimiento, como se muestra en la Figura 3.



Figura 3. Distintos cuerpos de agua.



Figura 4. Diagrama básico del proceso de eutrofización.

¿Y cómo sabemos que en estos cuerpos de agua y sitios están presentes las microalgas? Respondiendo a la pregunta anterior, uno de los indicativos es el cambio de coloración del agua, donde esta comienza a tornarse de color verdoso.

¿Te has preguntado por qué cambia de color el agua? Este fenómeno en determinados cuerpos de agua es muy común en la naturaleza, el cual se ilustra en la Figura 4 y se trata de la **eutrofización del agua**. Este concepto hace referencia a la proliferación masiva de organismos, debido a un aumento en la concentración de nutrientes. Es decir, se produce un aumento de los alimentos y, por tanto, también de los organismos (en su mayoría microalgas) que condicionan las características del agua como el color, la turbulencia, etcétera.

En los cuerpos de agua cerrados (lagos, piscinas, estanques) es mucho más sencillo que ocurra este fenómeno. Aun así, en mar abierto también se dan estas explosiones de microorganismos (sobre todo de fitoplancton) [14].



Un ejemplo de este fenómeno se produjo el 10 de agosto del 2016, en pleno desarrollo de los Juegos Olímpicos de Rio de Janeiro, Brasil (Figura 5). Los medios de comunicación dieron a conocer una curiosa noticia: "La piscina de trampolines ha cambiado de color". El agua había perdido su tono azulado y presentaba un color verde. En este ejemplo de la piscina de Rio de Janeiro, se muestra una de las etapas iniciales de la aparición de microalgas [14].



Figura 5. Piscina de clavados en los Juegos Olímpicos de Rio de Janeiro 2016. Se volvió verde debido a la proliferación de algas.

Tarea



Se llevarán a cabo los experimentos 1 y 2 que son la práctica de campo y cultivo en casa, los cuales consisten en recolectar una muestra de algún cuerpo de agua que se ubique en tu comunidad y preparar un cultivo en casa con la misma muestra recolectada en el experimento 1. Para esta actividad, comunicarse con el asesor para su realización. Lee cuidadosamente las siguientes instrucciones:



Experimento 1: práctica de campo (muestreo).



Materiales para cultivo #1

- 1 par de guantes de látex*.
- 2 vasos recolectores*.
- 1 recipiente de plástico de boca ancha y de 200 ml aproximadamente**.
- 1 red de muestreo (colador chico y paño de limpieza tipo Magitel)**.
- 2 ligas chicas ***.
- 1 cubrebocas*.
- 1 bitácora (cuaderno)***.

Se pueden conseguir en:

* Farmacias

** Supermercados

*** Papelerías

Instrucciones

1. Localiza un cuerpo de agua. Antes de salir, colócate tu cubrebocas. Una vez en el sitio de muestreo, ponte los guantes.
2. Con la ayuda de los vasos recolectores toma una muestra del agua (aproximadamente 120 ml), de preferencia de la superficie (Figura 6). De esta, 100 ml se usarán para tu cultivo de campo y 20 ml para tu cultivo en casa.
3. A continuación, con la ayuda de un colador, al cual le colocarás un pedazo del paño de limpieza tipo Magitel (Figura 7),



filtrarás poco a poco 100 ml aproximadamente de tu muestra en el recipiente (Figura 8). Al término, etiquétalo como el #1. El colador y paño de limpieza fungirán como una red de muestreo; esto se realiza para eliminar de tu muestra a los organismos no deseados y que pueden intervenir en el crecimiento de las microalgas.

4. Una vez que hayas terminado de filtrar, tapas tu recipiente y lo colocarás en un sitio de tu casa donde le dé luz solar (no directa). Por ejemplo, a través de una ventana. Así permanecerá por un periodo de 12 horas y después de ese tiempo, colocar tu cultivo (recipiente) en un lugar fresco y oscuro por 12 horas adicionales.

5. En tu bitácora (cuaderno) irás registrando, a partir de este momento y hasta el noveno día de tu estancia de investigación, lo que va sucediendo con tu cultivo; es decir, todos los cambios que vayas observando.



Figura 6. Vaso recolector y forma de muestreo de la superficie.



Figura 7. Elaboración de red de muestro usando el colador y paño de limpieza tipo Magitel™.



Figura 8. Recipiente de boca ancha con capacidad de 200 ml.



Experimento 2: preparación de cultivo en casa.



Material para cultivo #2

- 1 par de guantes de látex*.
- 1 recipiente de plástico de boca ancha y de 200 ml aproximadamente**.
- 1 red de muestreo (colador chico y paño de limpieza tipo Magitel) **.
- 2 ligas chicas ***.
- 1 cubrebocas*.
- 20 ml de la muestra previamente recolectada (experimento 1).
- 80 ml de agua purificada**.

Se pueden conseguir en:

* Farmacias.

** Supermercados.

*** Papelerías.



NOTAS

- Puedes ir documentando tu experimentación tomando fotografías para que puedas realizar tu cuadro comparativo (opcional).
- Al término de la experimentación (noveno día), a los recipientes #1 y #2 se les agregará un poco de cloro (aproximadamente 2 ml), para matar todo microorganismo presente.
- Es importante desechar en el bote de basura, los recipientes y material usado en las experimentaciones.

Instrucciones

1. Designa un lugar en tu casa donde puedas llevar a cabo la preparación de tu cultivo. Colócate tu cubrebocas y guantes.
2. Nuevamente, con ayuda del colador y un nuevo paño de limpieza nuevo tipo Magitel (red de muestreo), filtra los 20 ml de muestra recolectada en tu salida de campo dentro tu recipiente #2 (etiquetar). Posteriormente, agrégale aproximadamente 80 ml de agua purificada.
3. Una vez que hayas terminado, lo colocarás en el mismo sitio de tu casa donde situaste el recipiente #1. Así, ambos tendrán las mismas condiciones de crecimiento, es decir, recibirán luz solar (no directa) por un periodo de 12 horas y después, 12 horas de oscuridad en un lugar fresco.
4. En tu bitácora irás registrando, a partir de este momento y hasta el noveno día de tu estancia de investigación, lo que va sucediendo con tu cultivo #2, es decir, todos los cambios que se vayas observando.
5. Además, anotarás las observaciones entre tu cultivo #1 y el #2, por lo que elaborarás un cuadro comparativo entre ambos ejercicios.



Actividad 5. Repaso y resumen.

Hasta este momento ya hemos abordado qué son las microalgas, cómo crecen y se alimentan, su función biológica y su hábitat. Por lo tanto, realizaremos un repaso que consistirá en realizar un resumen (una cuartilla) de los temas anteriores. Para esta actividad, te daremos unos consejos para lograr un buen ejercicio (Figura 9).

Recuerda que un resumen es una técnica de estudio, cuyo objetivo es transmitir de forma global y resumida el contenido del texto. Debe de estar cohesionado, estructurado, organizado y debe ser claro y fiel al texto que hemos resumido. Si está bien hecho, será una herramienta indispensable para facilitarte el aprendizaje y el repaso [15, 16].

- **Haz una lectura comprensiva.** Es necesaria para tener una idea global y objetiva del contenido del texto. Recuerda utilizar siempre un diccionario, por si encuentras alguna palabra que no entiendas. No pases nunca nada por alto.
- **Encuentra la idea principal.** Es la columna vertebral del texto, la que estructura y cohesiona la lectura que debemos resumir. La idea principal expresa el contenido fundamental del texto.
- **Las ideas secundarias.** Expresan detalles o aspectos que complementan y matizan la idea principal. Son importantes también y es necesario no confundirlas con la idea principal, porque son subtemas, pero no el tema principal.
- **Reconoce la estructura del texto.** Si se trata de un texto narrativo, un texto expositivo o si es argumentativo. Un resumen también tiene que estar perfectamente estructurado.
- **Evita usar verbos en pasado.** Es un error muy común querer contar o narrar un resumen en lugar de explicarlo. Los resúmenes no se narran, se explican.
- **Evita el uso de la primera persona.** Otro error muy frecuente es confundir la opinión con la información. En un resumen no se pide la opinión del texto que se ha leído, sino una explicación. Se debe evitar el uso de la primera persona (Yo) y usar exclusivamente la tercera persona del singular.
- **Usa adjetivos o participios.** Aquí se pueden sustituir palabras por un adjetivo o por un participio. Por lo tanto, el resumen se hace más ameno y la comprensión se hace más fácil.
- **Usa conectores textuales.** El uso de conectores textuales en un resumen es fundamental para dar una mayor coherencia y cohesión al texto que se resume. Un resumen sin conectores textuales en muchas ocasiones carece de sentido completo y dificulta la comprensión de este. Algunos ejemplos: *también, además, por último, y, por otra parte.*
- **Evita empezar con una preposición.** Otro error muy fácil de evitar cuando se escribe un resumen es empezarlo con una preposición, sobre todo, la



preposición «en». De esta manera el resumen es mucho más natural y nos será más fácil continuarlo. En muchas ocasiones lo más difícil de un resumen es la primera oración.

- **Evita ser redundante.** Después de usar el sujeto en la primera oración, se trata de evitar en lo posible la redundancia y repetir ideas o palabras aparecidas anteriormente.
- **Evita la descripción.** Con frecuencia, el alumno en lugar de explicar un texto lo describe y eso es un error. Además, si describe es muy posible que use el verbo en pasado, concretamente en pretérito imperfecto y volverá a caer en el error de describir en lugar de explicar.
- **Extensión.** No olvides que solo tienes que escribir lo relevante, hay que ser breve y conciso.

- **No resumas por párrafos.** Ese es uno de los errores más comunes. Lo que debes hacer es reformular la idea principal y las secundarias para que contenga la información relevante.
- **No copies y pegues.** A la hora de redactar el resumen, intenta utilizar palabras **tuyas**, que te faciliten la comprensión y memorización de los conceptos que tengas que estudiar.
- **No utilices resúmenes de otros estudiantes.** Ya sé que es más cómodo, y más que te pasen un resumen, pero pierde su efectividad. Recuerda, un resumen solo le sirve a quién lo hace.
- **Saber hacer resúmenes sirve para cualquier estudiante y cualquier asignatura.** Si no sabes hacer resúmenes, aprende. No importa el curso en el que estés, es algo imprescindible y aplicable a cualquier asignatura.

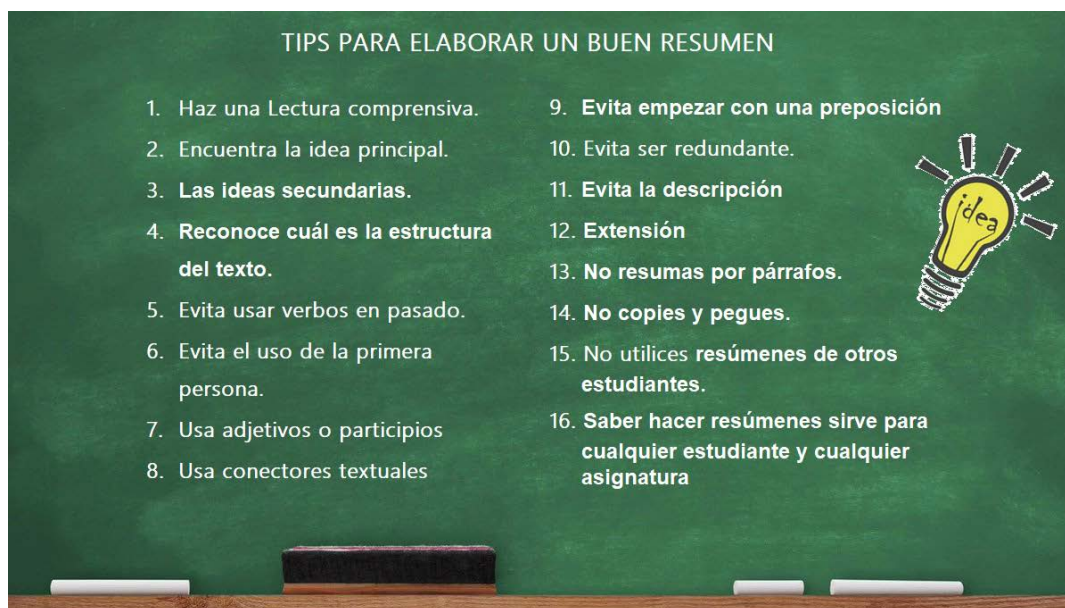


Figura 9. Consejos para elaborar un buen resumen.



Actividad 6. Grupos de microalgas.

La clasificación morfológica de los grupos de microalgas está basada en las particularidades bioquímicas como son la pigmentación, productos de almacenamiento, composición de la pared celular y características citológicas.

Sin embargo, debido a las condiciones de crecimiento que estén expuestas, crean en las microalgas una variación morfológica y bioquímica. Existen 5 grupos como se muestra en la Figura 10 [11, 12].

Las **cyanophytas** Las cyanophytas son el único grupo procariota de las microalgas y, en contraste a las demás divisiones, se encuentran en el dominio Bacteria. Pueden tener una organización unicelular, formar agrupaciones celulares y algunas especies llegan a formar filamentos. Algunas veces la abundancia de estos microorganismos (floraciones) llega a formar grandes y densas capas sobre la superficie del agua, creando una apariencia poco estética y olores extraños, pero proporcionan al agua una buena oxigenación. Por otro lado, algunas especies de este grupo llegan a secretar una sustancia mucilaginoso transparente que les sirve como defensa ante sus depredadores y puede llegar a ser tóxica. Este grupo posee clorofila a y pigmento accesorio como ficocianina, responsable de la coloración azul que participa como un pigmento accesorio en la fotosíntesis. Su sustancia de reserva es el almidón cianobacteriano.



Las **chlorophytas** son algas verdes debido a la presencia de clorofila a y b, también llegan a presentar pigmentos accesorios como carotenos y antofilas, pero no llegan a enmascarar el verde de la clorofila a y b. La sustancia de reserva es el almidón, que se encuentra alrededor del pirenoide. Son un grupo conformado con mayor diversidad de especies y variación morfológica, de organización tanto unicelular, colonial, canobial y filamentosa. Una particularidad de este grupo es la presencia del pirenoide, aunque no es el único grupo de algas que la presenta.



Las **bacillariophytas**, conocidas como algas pardas unicelulares, se subdivide en varias clases. La más representativa es la de las diatomeas. Estas microalgas son las que conforman la mayor parte del fitoplancton. Presentan clorofila a y c, y xantófilas como pigmento accesorio responsable de la coloración amarillenta, marrón o dorada. Su sustancia de reserva es la laminarina y crisolaminarina.



Dentro de las **euglenophytas**, la mayoría de las especies de este grupo son unicelulares con un solo género colonial, poseen clorofila a y b. El carbohidrato de reserva es el paramilo, acumulado en el citoplasma. Poseen la capacidad de degradar la materia orgánica y asimilan carbono orgánico. Son resistentes a cambios ambientales, permanecen en quistes como resultados a cambios ambientales desfavorables regresando a su estado normal cuando las condiciones sean favorables.



Los **dinophytas** son microorganismos unicelulares con dos flagelos de diferente tamaño que le permiten movilidad. Los pigmentos fotosintéticos son la clorofila a y c, tienen carotenoide peridinina como pigmento accesorio, lo que les da el color amarillo-oro. Algunas especies de este grupo llegan a formar florecimientos tóxicos, como la marea roja.



Figura 10. Grupos de microalgas.

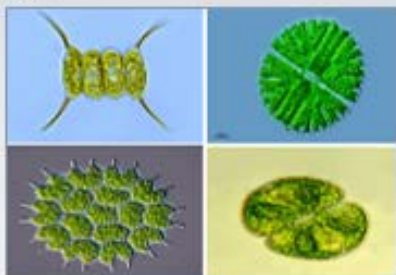


Tarea



Con base a las imágenes, llena las siguientes fichas con la información correspondiente de cada grupo.

Grupo:



Pigmentos:

Particulares del grupo:

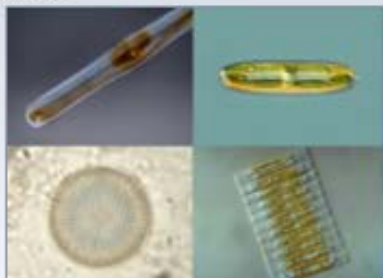
Grupo:



Pigmentos:

Particulares del grupo:

Grupo:



Pigmentos:

Particulares del grupo:

Grupo:



Pigmentos:

Particulares del grupo:



Actividad 7. Aplicaciones de las microalgas.

¿Sabes cuáles son algunas de las aplicaciones de las microalgas? ¿Cuál es su interés en el ámbito de energía?

Pues bien, en los últimos años se han logrado avances importantes en la utilización de las microalgas para diversos fines como la salud humana, cosmética, purificación de aguas residuales, prevención de la contaminación acuática, industria farmacéutica, acuicultura, producción de pigmentos y en energía renovable, entre otros. [17]

El uso de microalgas está proporcionando a los científicos numerosas líneas de investigación, y a los empresarios, posibilidades de negocio, debido a la cantidad de aplicaciones que tienen, como es la producción de energía, ya sea en forma de hidrógeno o biocombustibles [17]. Estas investigaciones son de suma importancia ya que el uso de combustibles derivados del petróleo se traduce en la emisión de gases de efecto invernadero, sobre todo, de dióxido de carbono. Con la finalidad de reducir las emisiones de estos gases y mitigar los efectos del cambio climático, se han realizado distintas investigaciones para aprovechar la biomasa de las microalgas como materia prima para obtener biocombustibles [18].

¿Pero cómo se obtienen los biocombustibles de las microalgas? Las microalgas generan un elevado contenido de lípidos, eficiencia fotosintética, capacidad de crecer en diferentes tipos de agua con una velocidad de crecimiento alta, igualmente posibilitan la captura de CO₂. Los principales problemas que hay en los procesos implicados en la obtención de aceite a partir de la biomasa de microalgas, es la

concentración de biomasa, el rompimiento celular y la extracción de lípidos [19, 20].

El proceso de extracción de lípidos de microalgas en el laboratorio se lleva a cabo de la siguiente manera:

1. Cultivo de las microalgas

Utilizando un medio de cultivo, se inocula la cepa de la microalga de interés y se deja crecer en las condiciones óptimas (25°C), en agitación y con periodos de luz y sombra establecidos.



2. Recuperación de la biomasa

Se realiza utilizando el proceso de centrifugación, donde se desecha el medio de cultivo y finalmente se obtiene una pastilla (biomasa).





3. Liofilización

Se lleva a cabo la deshidratación de la biomasa algal recuperada mediante la técnica de liofilización, proceso de conservación que consiste en congelar y evaporar el agua de la muestra a baja temperatura y presión atmosférica reducida. El resultado es una biomasa deshidratada, sin agua, que se puede conservar durante mucho tiempo.



4. Extracción de lípidos

El proceso de extracción de lípidos se realiza en un matraz Erlenmeyer, agregando a la biomasa liofilizada dos tipos de solventes diferentes: cloroformo y metanol (extracción química). Posteriormente, se coloca en agitación durante 30 minutos a una velocidad de 1250 rpm, finalmente se realiza el proceso de separación de fases con ayuda de un embudo de separación, donde después de 24 horas se separa el extracto lipídico de la biomasa residual.



Tarea

Describe cuál de estos métodos de extracción fue usado para la obtención del extracto lipídico, y el por qué.

- A. Método continuo
- B. Método discontinuo



Actividad 8. ¿Cómo se produce biodiesel?

Una vez obtenido el aceite de las microalgas (extracto lipídico), el siguiente paso es producir el biodiesel a partir de este. La reacción de transesterificación es uno de los métodos más estudiados y, por lo tanto, más utilizados en la producción del biocombustible.

La obtención de biodiesel y de glicerina como producto secundario, se produce gracias a la reacción de transesterificación a partir de un aceite vegetal (triglicéridos), en nuestro caso el extracto de microalga con un alcohol de cadena corta (metanol principalmente, aunque puede ser realizado también con etanol, propanol o butanol) y mediante la presencia de un catalizador ácido o alcalino (hidróxido de sodio, potasio o ácido sulfúrico). Dicha reacción se muestra en la Figura 11 [21].

¿Pero cómo sabemos si obtuvimos biodiesel? Debido a que es una reacción química, no siempre se obtiene el porcentaje deseado;

una manera de cerciorarnos de que la reacción se llevó a cabo, es mediante la técnica de cromatografía de capa fina (CCF).

Esta técnica cromatográfica consiste en utilizar una placa inmersa verticalmente en una fase móvil (eluyente) y en una fase estacionaria polar (comúnmente se utiliza sílica gel) adherida a una superficie sólida, la cual puede ser de vidrio, aluminio u otro soporte [22].

La CCF es una técnica analítica y tiene como objetivo el análisis de una mezcla de componentes; es por eso que es una técnica estándar en el laboratorio. Debido a su simplicidad y velocidad, la CCF se utiliza a menudo para monitorear las reacciones químicas y también para el análisis cualitativo de los productos de una reacción, puesto que permite conocer de manera rápida y sencilla cuántos componentes hay en una mezcla [23].

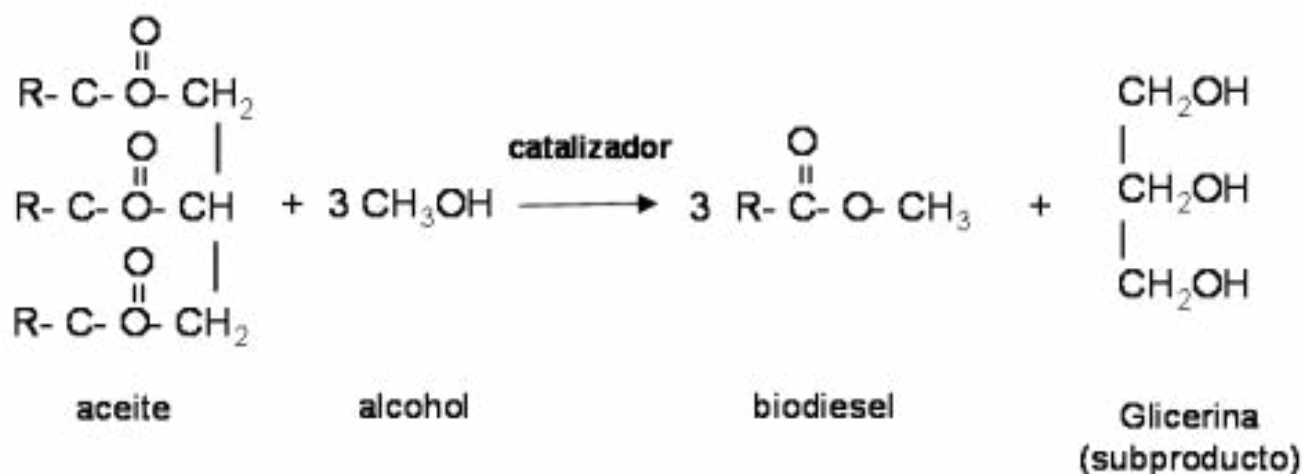


Figura 11. Reacción de transesterificación.



Procedimiento

En una placa de CCF se deposita una pequeña cantidad de estándar que se usa como referencia, así como la muestra problema en disolución en un punto en la parte inferior. Esta se introduce en una cubeta cromatográfica, de forma que solo la parte inferior de la placa queda sumergida en el líquido. Este, también conocido como eluyente, es la fase móvil y asciende por la placa de CCF por capilaridad.

A medida que el eluyente pasa por el lugar donde está la mancha de la mezcla problema, se establece un equilibrio entre las moléculas de cada uno de los componentes en la mezcla que son adsorbidas y las que se encuentran en disolución. En principio, los componentes se diferenciarán en solubilidad y en la fuerza de su adsorción, de forma que unos componentes se desplazarán más que otros. Cuando el eluyente llega a la parte superior de la placa, esta se saca de la cubeta, se seca y los componentes separados de la mezcla se visualizan (Figura 12) [23].

Visualización de las manchas

Si los compuestos son coloreados, se pueden observar las manchas a simple vista. Si no es así, hay varios métodos para visualizar las manchas correspondientes a cada componente de la mezcla.

1. Utilizar luz ultravioleta (UV 254 nm) para observar la placa. Normalmente se adiciona un colorante fluorescente al adsorbente, de forma que la placa sea fluorescente en todas partes excepto donde haya una mancha correspondiente a un compuesto orgánico.
2. Utilizar reveladores. Por ejemplo, vapores de yodo, que es un reactivo inespecífico.
3. Emplear reactivos específicos para desarrollar coloración en las manchas. Esto se puede hacer sumergiendo la placa de CCF en una disolución que los contenga o en forma de spray.

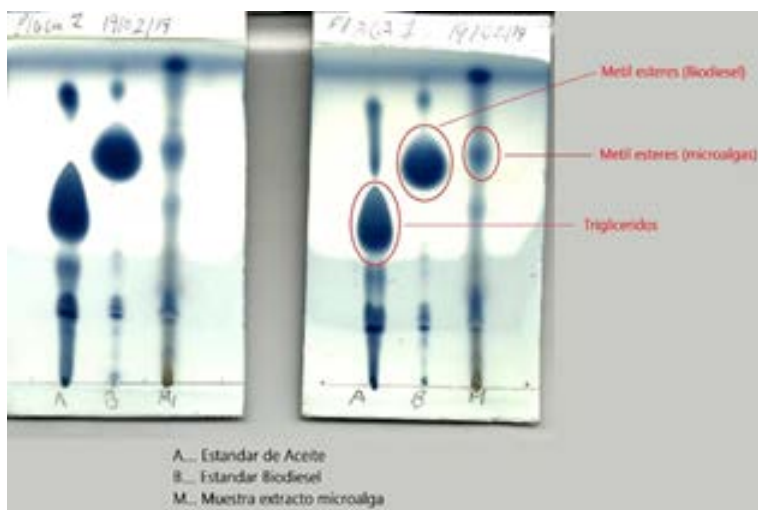
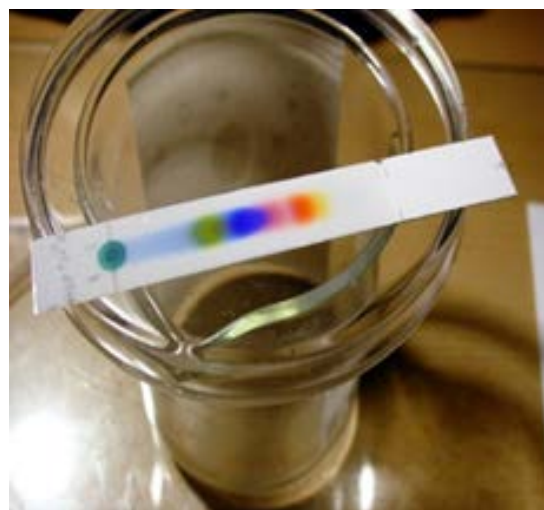
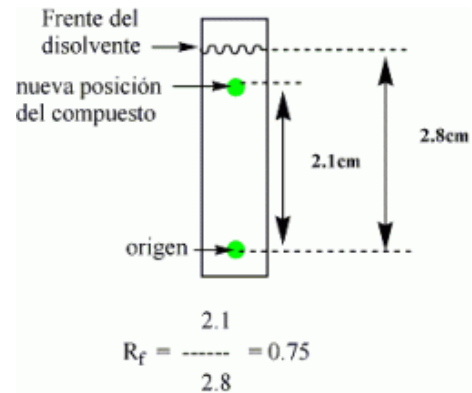


Figura 12. Placa de CCF (A) y placa CCF de extracto de microalgas (B).



Cálculo del factor de retención R_f

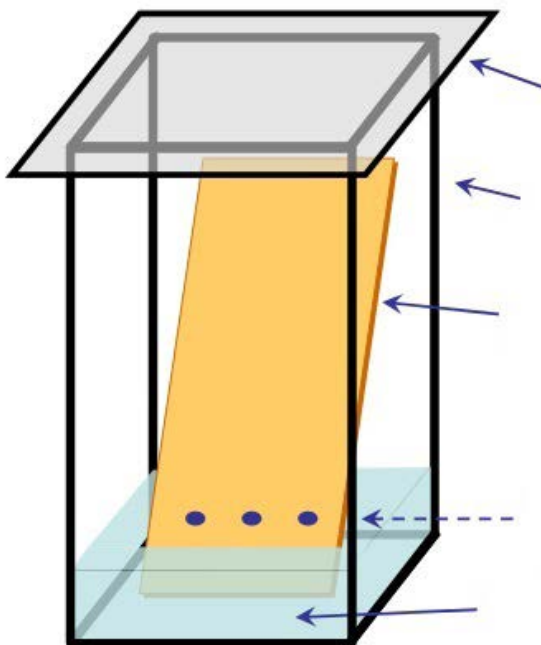
Cuando son visibles, se puede determinar para cada una de las manchas el valor de R_f (factor de retención), o la distancia que cada compuesto se desplaza en la placa. Cada compuesto tiene un R_f característico que depende de su interacción con el disolvente empleado y del tipo de placa de CCF utilizada, pero es independiente del recorrido del disolvente. De esta manera se puede ayudar a identificar un compuesto en una mezcla al comparar su R_f con el de un compuesto conocido (preferiblemente cuando se hacen fluir en la misma placa de CCF) [23].



$$R_f = \frac{\text{distancia recorrida por el compuesto}}{\text{distancia recorrida por el disolvente}}$$

Tarea

De acuerdo con lo aprendido en esta sección, en la siguiente figura une la columna derecha con la parte que le corresponda de la parte izquierda.



Placa recubierta con una capa delgada de la fase estacionaria absorbente.

Fase móvil (disolvente).

Cubeta de vidrio (cubeta cromatográfica).

Tapa.

Puntos de aplicación de las muestras.



Actividad 9. ¿Cómo verifico la calidad del biodiesel?

BIOCOMBUSTIBLES

¿Por qué es importante saber la calidad del biodiesel?

El biodiesel, para ser comercializado como combustible y usado en máquinas automotoras, debe cumplir los requerimientos establecidos en las distintas normas establecidas por los diferentes organismos internacionales de estandarización y certificación.

Dentro de los principales organismos internacionales de normalización se encuentran la Comisión Europea de Normalización (CEN, por sus siglas en inglés) y la Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales (ASTM), los cuales han publicado las normas **EN 14214** (europea) y la **ASTM D6751** (americana), en las cuales se establecen los requisitos y métodos de ensayo mediante los cuales se basa la calidad del biocombustible.

Estas normas están basadas en una gran variedad de factores que pueden cambiar según la región, de acuerdo con la disponibilidad de las materias primas empleadas en la producción del biodiesel, las características del combustible diésel en cada país, el tipo de motores usualmente utilizados y las regulaciones en cuanto a las emisiones de los mismos [24].

Es por ello que la calidad del biodiesel ha de ser controlada con mucho rigor, ya que la presencia de determinados contaminantes puede provocar diversos problemas, tanto en su obtención, como en su uso como combustible en los motores diésel. Uno de estos parámetros por controlar es la glicerina, que en exceso puede causar pro-

blemas durante el almacenamiento o en el sistema de alimentación, pudiendo ensuciar los inyectores o propiciar la formación de mayores emisiones de aldehídos, así como a la corrosión del sistema de inyección. Por estos motivos, la normativa europea sobre biodiesel **EN 14214** ha establecido unos valores máximos para limitar la presencia de determinados contaminantes, entre los que se encuentra la glicerina [25].

El análisis de los contaminantes del biodiesel se suele llevar a cabo mediante técnicas analíticas cuantitativas como la cromatografía de gases (GC) y la cromatografía de alta resolución de líquidos (HPLC). En este sentido, se ha diseñado un método para analizar mono, di y triacilglicéridos a la par que ésteres metílicos mediante cromatografía de gases.

Por otro lado, los métodos espectroscópicos han ido aumentando su utilización para el control de calidad de procesos. La espectroscopía en el infrarrojo cercano (NIRS) se encuentra entre los métodos de creciente aplicación. Los principales motivos de su desarrollo son su facilidad de uso, rapidez en la medida y ser un procedimiento no destructivo, junto a su fiabilidad y precisión. Los equipos usados para estas técnicas se pueden observar en la Figura 13 [25].



Figura 13. Equipos para caracterizar la calidad del biodiesel.



La viscosidad, la densidad y el número de cetano son propiedades muy importantes del biodiésel. Este último es un indicador de la calidad de los combustibles y mide la facilidad del encendido después de que estos han sido inyectados al motor diésel. Un adecuado número de cetano es necesario para el buen rendimiento del motor [26].

El biodiesel y los combustibles están compuestos por una mezcla compleja de hidrocarburos que, en su mayoría, no tienen una absorción característica en el infrarrojo (IR). Sin embargo, las olefinas, los aromáticos y los diversos aditivos utilizados en los combustibles, exhiben bandas de absorción utilizadas para caracterizarlo en un analizador de combustible IR. Cuando se trata de biodiesel, se agrega un mejorador de índice cetano. Debido a que los enlaces químicos entre los átomos de carbono y oxígeno pueden ser identificados fácilmente con radiación IR, la espectroscopía IR ha resultado ser el método de preferencia para detectar tales sustancias, pues posee un sistema de detección automática del tipo de combustible para la determinación del índice de octano en la gasolina o el índice de cetano en el biodiesel (Figura 14) [27].

Por último, cabe destacar que el Laboratorio de Emisiones Vehiculares y Ensayo de Motores del Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), está dotado de equipos de muestreo (Figura 15). Su objetivo principal es conocer el desempeño combustible-motor, tanto en emisiones como en su comportamiento, lo cual conlleva a hacer estudios sobre reformulación de combustibles, análisis en mezclas de biocombustibles (biodiésel y bioetanol), así como su reformulación [28].



Figura 14. Equipo de infrarrojo (IR) OptiFuel.



Figura 15. Motor para pruebas de desempeño de combustible.

Tarea

Con base a lo anterior, ¿consideras que el biodiesel es un biocombustible que tiene relevancia en un futuro? Justifica tu respuesta.





Actividad 10. Resumen y reporte final.

Hasta ahora hemos descubierto como se agrupan las microalgas, sus principales aplicaciones, cómo se produce el biodiesel y la manera en que se verifica su calidad.

Por lo tanto, realizaremos un repaso consistente en realizar un **resumen** de estos temas en una cuartilla, usando los consejos antes descritos en la sección 5. También elaboraremos un **reporte final** de lo aprendido en la estancia.

A continuación, se mencionan los elementos que deberá contener [29]:

1. Portada

Incluye el título de la investigación, el nombre del autor o autores, y el nombre de la institución donde se realiza el estudio, así como la fecha de presentación del reporte.

1. Índice

2. Resumen

Consta del contenido esencial del reporte de la investigación.

3. Introducción

Incluye el planteamiento del problema, el contexto general de la investigación y las limitaciones de la misma.

4. Marco teórico

En él se desarrollan los estudios e investigaciones antecedentes y las teorías a manejar.

5. Método

- Hipótesis.
- Objetivo.
- Materiales y muestra.
- Procedimiento.

6. Resultados

Análisis de la experimentación (práctica). Describa brevemente la idea principal que resume los descubrimientos. Puedes ilustrar con dibujos o fotos.

7. Conclusiones

Deben ser precisas y pueden ser cortas o largas. Deja el mensaje final sobre la investigación. Esta debe enfocarse en los objetivos.

8. Recomendaciones

Aquí sí se puede recomendar, sugerir **qué se puede mejorar** de la parte experimental, así como **lo que más te gustó** y **lo que menos te agrado**. Es muy importante que en este apartado se comente sobre el cumplimiento de las expectativas de este capítulo.



Sobre las autoras

La Dra. **Ruby Valdez Ojeda** realiza investigación básica y aplicada sobre el potencial que poseen las microalgas (dulceacuícolas y marinas) para producir ácidos grasos útiles para generar biodiesel, hidrocarburos, etcétera. También se evalúa su capacidad para generar biohidrógeno en condiciones de anaerobiosis; lo anterior, bajo condiciones nutrimentales específicas. Actualmente labora como investigador asociado en la Unidad de Energía Renovable en el Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY).

La Q. I. **Tanit Toledano Thompson**, cuenta con experiencia en el área de bioenergía, así como en las técnicas de cromatografía de líquido de alta resolución (HPLC), microscopía óptica y microscopía electrónica de barrido (MEB). Actualmente labora como técnico académico en el laboratorio de Microbiología de la Unidad de Energía Renovable en el Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY).



Glosario

Biocombustible: combustible no fósil obtenido a partir del tratamiento de biomasa vegetal, incluso de materias orgánicas y excrementos animales. Es mucho menos contaminante que los combustibles de origen fósil.

Biomasa: cantidad o masa de materia [orgánica](#) procedente de organismos vivos que se puede encontrar en un lugar y un momento determinados. En el contexto energético se emplea el término para designar a la materia orgánica como los subproductos de la madera y los residuos agrícolas, que pueden quemarse para producir energía o ser transformados en gas y utilizados como combustible.

Biósfera: es el [sistema](#) formado por el conjunto de los [seres vivos](#) del [planeta Tierra](#) y sus interrelaciones (influyen tanto los organismos en el medio, como el medio sobre los organismos). Está constituida por una

capa de agua, tierra y una masa delgada de aire; comprende desde unos 10 km de altitud en la atmósfera hasta los fondos oceánicos.

Cadena trófica: describe el proceso de transferencia de sustancias nutritivas a través de las diferentes especies de una [comunidad biológica](#), en la que cada una se alimenta de la precedente y es alimento de la siguiente. También conocida como cadena alimenticia o cadena alimentaria, es la corriente de [energía](#) y [nutrientes](#) que se establece entre las distintas [especies](#) de un [ecosistema](#) en relación con su [nutrición](#).

Calentamiento global: es el aumento a largo plazo de la temperatura media del [sistema climático](#) de la [Tierra](#). Es un aspecto primordial del [cambio climático](#) actual, demostrado por la [medición directa de la temperatura](#) y de varios efectos del calentamiento.



Celulosa: sustancia sólida, blanca, amorfa, inodora y sin sabor, e insoluble en agua, alcohol y éter, que constituye la membrana celular de muchos hongos y vegetales. La celulosa es la [biomolécula](#) orgánica más abundante, ya que forma la mayor parte de la [biomasa](#) terrestre.

Clorofila: familia de [pigmentos](#) de color verde que se encuentran en las [cianobacterias](#) y en todos aquellos organismos que contienen [cloroplastos](#) o membranas tilacoidales en sus [células](#), lo que incluye a las [plantas](#) y diversas [algas](#). La clorofila es una [biomolécula](#) sumamente indispensable, crítica en la [fotosíntesis](#), ya que es un proceso que permite a las plantas y algas producir [energía](#) a partir de la [luz solar](#).

Cromatografía: método químico que permite separar los componentes que integran una mezcla, distribuyéndolos en dos fases. Una es estacionaria, mientras que la otra es móvil. Este método de análisis que permite la separación de gases o líquidos de una mezcla por adsorción selectiva, está basado en la diferente velocidad con la que se mueve cada fluido a través de una sustancia porosa.

Cultivo: método de estudio de los microorganismos que consiste en colocar alguno de ellos en un medio determinado para que se produzca fácilmente y forme colonias que permitan su examen detenido.

Dióxido de carbono (CO₂): es un compuesto de carbono y oxígeno que existe como [gas](#) incoloro en condiciones de temperatura y presión estándar (TPS). Está íntimamente relacionado con el [efecto invernadero](#).

Electrón: partícula que se encuentra alrededor del núcleo del átomo y que tiene carga eléctrica negativa.

Enzima: proteína que cataliza las reacciones bioquímicas del metabolismo; actúan

sobre las moléculas conocidas como sustratos y permiten el desarrollo de los diversos procesos celulares.

Eutrofización: enriquecimiento excesivo en [nutrientes](#) de un [ecosistema acuático](#), es decir, la acumulación de residuos orgánicos en el litoral marino o en un lago, laguna, o cualquier cuerpo de agua, que causa la proliferación de ciertas algas.

Extracción: en [química](#), es un procedimiento de separación de una [sustancia](#) que puede disolverse en dos [disolventes](#) no miscibles entre sí, con distinto grado de [solubilidad](#) y que están en contacto a través de una [interfaz](#).

Fotosíntesis: proceso metabólico por el que las plantas verdes convierten sustancias inorgánicas (dióxido de carbono y agua) en sustancias orgánicas (hidratos de carbono), desprendiendo oxígeno debido a la transformación de energía luminosa en energía química.

Liofilización: método de conservación que consiste en deshidratar (separar el agua de una sustancia), sometiéndola a una rápida congelación y eliminando el hielo posteriormente mediante un ligero calentamiento al vacío que lo transforma en vapor, para dar lugar a un material esponjoso que se disuelve posteriormente con facilidad. Se utiliza en la deshidratación de los alimentos, materiales biológicos y otros productos sensibles al calor.

Lípidos: macro [biomolécula](#) soluble en solventes no polares; es decir, es una sustancia orgánica insoluble en agua que se encuentra en el tejido adiposo y en otras partes del cuerpo de los animales, así como en los vegetales, microalgas y especialmente en las semillas de ciertas plantas. Está constituida por una mezcla de ácidos grasos y ésteres de glicerina, y sirve como reserva de energía.



Medio de cultivo: es un conjunto de nutrientes, factores de crecimiento y otros componentes que crean las condiciones necesarias para el desarrollo de los microorganismos.

Metabolismo: proceso por el cual se transforman en el organismo los hidratos de carbono, las proteínas, las grasas, y otras sustancias.

Microalga: son microorganismos microscópicos (2-200 μm) fotosintéticos, también son polifiléticos y eucariotas que pueden crecer de manera autotrófica o heterotrófica.

Mililitro (ml): una unidad de [volumen](#) equivalente a la milésima parte de un [litro](#), representado por el símbolo ml.

Morfología: en biología, es el área especializada centrada en la forma de los seres vivos. Estudia la estructura y las características de los organismos, tanto a nivel interno como externo.

Muestreo: procedimiento mediante el cual se toman a ciertos individuos que pertenecen a una población que está siendo sujeta de un análisis.

Nutrientes: es utilizado para cualquier sustancia útil para los procesos metabólicos de un organismo.

Pirenoide: masa fundamentalmente de proteína incluida en los [plastos](#) de las algas, generalmente rodeado de un depósito de almidón.

Proteína: moléculas formadas por [aminoácidos](#) que están unidos por un tipo de enlaces conocidos como peptídicos. Son sustancias químicas que forman parte de la estructura de las membranas celulares y es el constituyente esencial de las células vivas; su función biológica principal es la de actuar como biocatalizador del metabolismo.

Sp.: abreviatura latina usada en Biología, quiere decir especie o especie de.

Técnica de infrarrojo: permite la identificación de los grupos funcionales de un compuesto. Esto debido a que cuando una molécula absorbe radiación infrarroja, la vibración intramolecular con frecuencia igual a la de la radiación, aumenta en intensidad, lo que genera señales con frecuencias que corresponden a la vibración de un enlace específico. La región infrarroja se divide en tres: infrarrojo cercano (NIR), infrarrojo medio (MIR) e infrarrojo lejano (FIR). El espectrómetro de IR con transformada de Fourier permite la obtención de espectros de forma rápida, precisa y con relaciones Señal/Ruido (S/N) elevadas.



Referencias

- [1] Colorado Gómez, M. A., Moreno Tirado, D. A., y Pérez Posada, J. L. (2013). Desarrollo, producción y beneficio ambiental de la producción de microalgas. En *La experiencia en La Guajira, Colombia. Ambiente y Desarrollo*. Bogotá, Colombia.
- [2] Luna Medina, N. (2017). *Las microalgas como fuente de energía y para procesos de biorremediación*. México: Instituto de Energías Renovables (IER-UNAM).
- [3] CICY (Boletín de prensa). (2019). *Urge mitigar el cambio climático para frenar escenarios críticos: Dr. Masera*. Disponible en: www.cicy.mx/noticias-y-eventos/boletin-67-urge-mitigar-el-cambio-climatico-para-frenar-escenarios-criticos-dr-masera.
- [4] Castillo, O. S., Torres-Badajoz, S. G., Núñez-Colín, C. A., Peña-Caballero, V., Herrera Méndez, C. H., y Rodríguez-Núñez, J. R. (2017). *Producción de biodiésel a partir de microalgas: avances y perspectivas biotecnológicas*. Hidrobiológica.
- [5] González Céspedes, A. (2015). *¿Qué son las microalgas? Interés y uso*. Consultado en: www.cajamar.es/pdf/bd/agroalimentario/innovacion/investigacion/documentos-y-programas/microalgas-1444391623.pdf. Fundación Cajamar.
- [6] Hernández-Pérez, A. y Labbé, J. (2014). Microalgas, cultivo y beneficios. En *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 49(2): 157-173.
- [7] Plancton Marino (s/f). *Todo lo que necesitas saber sobre microalgas*. Consultado el 9 de octubre de 2020 en: www.planctonmarino.com/2016/10/27/microalgas/.
- [8] Kahn Academy. (s/f). *Luz y pigmentos fotosintéticos*. Consultado el 9 de octubre de 2020 en: es.khanacademy.org/science/biology/photosynthesis-in-plants/the-light-dependent-reactions-of-photosynthesis/a/light-and-photosynthetic-pigments.
- [9] Dreckmann, K. M., Senties, A., y Núñez, M. L. (2013). *Manual de prácticas de laboratorio. Biología de algas*. Consultado el 10 de octubre de 2020 en: publicacionescbs.izt.uam.mx/DOCS/biologiadealgas.pdf. México: UAM.
- [10] Bojorge-García, M., y Cantoral Uriza, E. (2016). *La importancia ecológica de las algas en los ríos*. Hidrobiológica. 26 (1): 1-8.
- [11] Polanco Zambrano, D. A. (2017). *Algas verdes, Chlorophytas (clorófitas)*. Consultado el 10 de octubre de 2020 en: naturaleza.paradise-sphinx.com/algas/algas-verdes-chlorophytas.htm.
- [12] Guamán-Burneo, M., y González-Romero, N. (2016). *Catálogo de microalgas y cianobacterias de agua dulce del Ecuador*. Quito, Ecuador: Corporación para la Investigación Energética, Laboratorio de Biotecnología Energética.
- [13] Wikipedia. (s/f). *Microalga*. Consultado en: es.wikipedia.org/wiki/Microalga.
- [14] Sancho Martínez, M. (2016). *¿Por qué cambian de color las algas?* Consultado en: allyouneedisbiology.wordpress.com/2016/10/09/por-que-cambian-de-color-las-aguas/.
- [15] Tus clases. (s/f). *Técnicas para hacer un resumen efectivo*. Consultado en: www.tus-clases.mx/blog/tecnicas-hacer-resumen.



- [16] Moll, S. (2013). *10 útiles consejos para elaborar con éxito un resumen*. Consultado en: justificaturespuesta.com/10-utiles-consejos-para-elaborar-con-exito-un-resumen/.
- [17] González Céspedes, A. (2015). *¿Qué son las microalgas? Interés y uso*. Consultado en: www.cajamar.es/pdf/bd/agroalimentario/innovacion/investigacion/documentos-y-programas/microalgas-1444391623.pdf. Fundación Cajamar.
- [18] Petroquimex. (2017). *Las microalgas como fuente de energía y para procesos de bio-remediación*. Consultado en: petroquimex.com/las-microalgas-como-fuente-de-energia-y-para-procesos-de-bioremediacion/.
- [19] <https://knepublishing.com/index.php/KnE-Engineering/article/view/1408/3420>.
- [20] S/A. (2019). *Método de separación de mezclas*. Consultado en: metodosdeseparaciondemezclas.win/extraccion/.
- [21] Ceupe Magazine. (s/f). *¿Qué es la transesterificación?* Consultado en: www.ceupe.com/blog/que-es-la-transesterificacion.html.
- [22] Wikipedia (s/f). *Cromatografía en capa fina*. Consultado en: es.wikipedia.org/wiki/Cromatograf%C3%ADa_en_capa_fina.
- [23] Universitat de Barcelona. (s/f). *Cromatografía en capa fina y columna*. Consultado en: www.ub.edu/oblq/oblq%20castellano/cromatografia_tipus.html.
- [24] Ávila Orozco, D. A. (2015). *Biodiesel: estudios analíticos y desarrollo de métodos de análisis para el control de calidad*. Argentina: Universidad Nacional del Sur (Tesis de Doctor en Química).
- [25] Dorado, M. del P., y Font, R. (s/f). *Determinación de la calidad del biodiesel procedente de aceite de oliva*. España: I Congreso de cultura del Olivo. 551-559.
- [26] Montenegro Mier, M. A., Sierra Varga, F. E., y Guerrero Fajardo, C. A. (2012). *Production and characterization of biodiesel from chicken fat*. Colombia: Informador Técnico.
- [27] SICA. (2020). *Analizador de combustible (octano y cetano) con tecnología FTIR*. Consultado en: www.sicamedicion.com.mx/blog/tecnologias/analizador-combustible-tecnologia-ftir/.
- [28] Casas Pérez, L. (2013). *El laboratorio de emisiones vehiculares y ensayo de motores, un valioso apoyo para la solución de problemas ambientales*. Consultado en: petroquimex.com/el-laboratorio-de-emisiones-vehiculares-y-ensayo-de-motores-un-valioso-apoyo-para-la-solucion-de-problemas-ambientales/. Petroquimex.
- [29] Taller Investigación ITNL. (2009). *Elementos para un reporte de investigación*. Consultado en: tallerinvestigacionitnl.blogspot.com/2009/05/elementos-para-un-reporte-de.html.