The background of the entire page is a microscopic image of cells. A large, detailed cell is centered in the lower half, showing a complex internal structure with a nucleus and various organelles. It is surrounded by several smaller, less detailed cells. The color palette is dominated by shades of blue and purple.

**Raquel Boronat Gil  
y José Pedro López Pérez**

**Una visión cercana de  
la Microscopía  
en el Laboratorio de  
Educación Secundaria**

### **Raquel Boronat Gil**

(Valladolid, 1975) es profesora de Educación Secundaria y Bachillerato en el IES "Antonio Menárguez Costa" de Los Alcázares (Murcia). Desde hace más de un lustro se dedica a divulgar la ciencia en centros de Educación Primaria y Secundaria, siendo autora de más de una decena de publicaciones en revistas de didáctica y enseñanza, así como de un libro sobre Prácticas de Microbiología básica en el laboratorio de Educación Secundaria, editado por la Consejería de Educación, Juventud y Deportes.

### **José Pedro López Pérez**

(Murcia, 1975) es doctor por la Universidad de Murcia y profesor de Educación Secundaria y Bachillerato en el IES "Ricardo Ortega" de Fuente Álamo (Murcia). Durante seis años ha trabajado como profesor Asociado al Departamento de Didáctica de la Ciencias Experimentales de la Facultad de Educación en la Universidad de Murcia. Durante su estancia ha dirigido Tesis de Master dentro del programa de formación de Profesorado en Educación Secundaria (especialidad Biología y Geología) y Trabajos Fin de Grado. Desde hace más de un lustro se dedica a divulgar la ciencia en centros de Educación Primaria y Enseñanza Media, siendo autor de más de una veintena de publicaciones en revistas específicas de didáctica y enseñanza, así como de un libro sobre Prácticas de Microbiología básica en el laboratorio de Educación Secundaria, editado por la Consejería de Educación, Juventud y Deportes.

Publicaciones recientes de la Consejería de Educación y Cultura

<http://www.educarm.es/publicaciones>

- [Piano complementario I: material auxiliar. Parte 1: escalas y armonía](#) / Gustavo Moreno Muñoz , Francisco Cánovas Muñoz y Gregorio Benítez Suárez
- [Piano complementario I: material auxiliar. Parte 2: repertorio y acompañamientos](#) / Gustavo Moreno Muñoz, Francisco Cánovas Muñoz y Gregorio Benítez Suárez
- [Piano complementario I: material auxiliar. Parte 3: lectura a primera vista](#) / Gustavo Moreno Muñoz , Francisco Cánovas Muñoz y Gregorio Benítez Suárez
- [Guía para el éxito escolar del alumnado con dislexia](#) / Concepción Martínez Miralles y Lorenzo-Antonio Hernández Pallarés
- [La música y la danza árabe en el aula de música](#) / Carmen Serrano Martínez

# **Una visión cercana de la Microscopía en el Laboratorio de Educación Secundaria**

**Raquel Boronat Gil  
José Pedro López Pérez**



**Región de Murcia**  
Consejería de Educación y Cultura



**Región de Murcia**  
Consejería de Educación  
y Cultura

**Edita:**

© Región de Murcia  
Consejería de Educación y Cultura  
Secretaría General. Servicio de Publicaciones y Estadística  
[www.educarm.es/publicaciones](http://www.educarm.es/publicaciones)

**Creative Commons License Deed**



La obra está bajo una licencia Creative Commons License Deed. Reconocimiento-No comercial 3.0 España.

Se permite la libertad de copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra bajo las condiciones de reconocimiento de autores, no usándola con fines comerciales. Al reutilizarla o distribuirla han de quedar bien claros los términos de esta licencia. Alguna de estas condiciones puede no aplicarse si se obtiene el permiso del titular de los derechos de autor. Nada en esta licencia menoscaba o restringe los derechos morales del autor.

© Raquel Boronat Gil  
© José Pedro López Pérez  
© Maquetación: Pixel Penguins

I.S.B.N.: 978-84-09-15136-3  
1a Edición, Noviembre 2019

**A nuestros hijos David, Helena y María  
A nuestros Padres**



Comunidad microbiana presente en una alícuota de yogur comercial. Cadenas de formas cocoides integrantes del género *Streptococcus*. Tinción con azul de metileno. Observación al microscopio óptico, objetivo 100x con aceite de inmersión.

## AGRADECIMIENTOS

A nuestra pequeña familia, por el tiempo de dedicación que les hemos quitado en la laboriosa realización de esta monografía. En especial a nuestros hijos David, Helena y María, así como a nuestros padres.

A los alumnos del IES: "Ricardo Ortega" de Fuente Álamo, que cursaron las materias de Ciencias de la Tierra (2º Bachillerato), Biología y Geología (1º Bachillerato, 3º y 4º de ESO), Ciencias de la Naturaleza (1º y 2º ESO), Ampliación de Biología y Geología (4º ESO) y Anatomía Aplicada (1º Bachillerato) entre los cursos académicos 2012-2013 hasta 2017-2018, por su dedicación al desarrollo de las imágenes que se presentan en este trabajo. GRACIAS.

A todos aquellos alumnos y compañeros que han proporcionado las muestras de análisis y estudio para este trabajo. Gracias por el interés mostrado.

Al equipo directivo y a la Asociación de Madres y Padres (AMPA) del citado centro, por la paciencia que han tenido cuando se les ha pedido el fondo económico para la adquisición del material necesario utilizado en este trabajo. Gracias por su confianza.

## Índice de contenidos

1. INTRODUCCIÓN.....	5
2. OBJETIVOS PROPUESTOS EN ESTA MONOGRAFÍA.....	7
3. BREVE HISTORIA DE LA MICROSCOPIA ÓPTICA PARA ALUMNOS.....	8
4. CONSTRUCCIÓN DE UN MICROSCOPIO LEEUWENHOEK COMO HERRAMIENTA DE MOTIVACIÓN AL ALUMNADO.....	10
5. ELEMENTOS DE UN MICROSCOPIO COMPUESTO BÁSICO DE UN LABORATORIO DE ENSEÑANZA MEDIA Y SU FUNDAMENTACIÓN EN EL AVANCE DE LAS CIENCIAS.....	13
5.1. Elementos de un microscopio convencional.....	17
6. ¿CÓMO MANEJAR EL MICROSCOPIO ÓPTICO?.....	20
6.1. El contraste en la microscopía óptica rutinaria.....	21
7. MATERIAL Y METODOLOGÍA ESPECIAL.....	23
8. UNA PRIMERA PRÁCTICA CON ALUMNOS.....	25
9. SELECCIÓN DE IMÁGENES.....	27
10. NOTA FINAL.....	140
11. BIBLIOGRAFÍA.....	142
11.1. Lecturas recomendadas.....	146



Flóculo procedente de una muestra de agua del tanque de tratamiento biológico de una depuradora de aguas residuales. Objetivo 40x.

## 1. INTRODUCCIÓN

---

La docencia en biología va asociada a permitir al alumnado observar la vida bajo el microscopio. Durante nuestros primeros años como docentes recreábamos las clases prácticas con un prestigioso material *citológico* que disponían (y disponen de los mismos hoy día) los centros de enseñanza media (Figura 1). No obstante, y aunque el valor didáctico de estas preparaciones es enorme, el alumnado no gastaba ni un minuto de su tiempo en la observación completa de la muestra y los comentarios a lo que estaban viendo se reducían a simples monosílabos sin sentido y explicación. Con los años nos hemos dado cuenta que, cuanto más cercano a ellos es el estudio de un principio de vida, más motivación e interés presentan para su aprendizaje.

No obstante, y ante estas dificultades, cabe decirse que el uso del microscopio en la enseñanza media y bachillerato va implícito en el propio currículo, cuando la vida microscópica y sus aplicaciones más cercanas son necesarias de conocer (BORM, 2015a y 2015b). Su empleo juega un papel fundamental en la enseñanza de las ciencias naturales, ya que permite la adquisición de las destrezas necesarias para la correcta comprensión del mundo que les rodea, cuando son capaces de visualizar un nuevo universo que queda oculto a los ojos del ser humano y, en definitiva, para hacer **ciencia**.



**Figura 1.** Equipo básico de microscopía utilizado en un laboratorio de enseñanza media. Se destaca el microscopio de campo claro de 400 aumentos y la caja con las preparaciones teñidas de diferentes tejidos animales y vegetales.

El problema que se presenta a los docentes de hoy es cómo acercar e innovar con este instrumental, omnipresente en el laboratorio de biología y tan cercano al alumno que, con el tiempo, queda apartado a un rincón del mismo, consecuencia de una desmotivación generalizada e imperante en las clases de ciencias.

Las tecnologías de la información y la comunicación están acercando otras nuevas formas de obtener el universo microscópico que –únicamente- se dejaba ver tras la lente de un ocular. Nosotros creemos que estas nuevas técnicas de análisis de imagen podrán ser muy útiles dentro de los ámbitos universitarios, como métodos para acercar un amplio abanico de muestras para análisis, reduciéndose un gasto importante en procesamiento y gestión de las mismas. No obstante, perder esta tecnología clásica de los laboratorios de enseñanza secundaria haría retroceder los procedimientos que se han seguido durante siglos en la profundización a la ciencia y, en particular, al conocimiento de nuevas formas de vida.

La razón de esta monografía es presentar cambios en el modo de acercar la **microscopía**, alejando los clásicos procedimientos y mostrando al alumnado un mundo cotidiano y cercano a sus vidas. La enseñanza en la educación secundaria necesita mejoras y generar **motivación** en discentes que no conocen el sentido de la vida que se ofrece en las aulas. No son entendibles para este tipo de alumnos preparaciones de tejidos cartilagosos, conjuntivos laxos o musculatura estriada, si se desconocen sus peculiaridades básicas en citología y fisiología. Por el contrario, trabajar con muestras que ellos mismos pueden proporcionar al grupo de trabajo, puede abrir nuevas formas de comprensión y acercamiento de la ciencia, motivándose hacia su estudio. Además, una iconografía precisa, repetitiva en las diferentes muestras que se realicen de un determinado sistema de estudio, les puede ayudar a una mejor comprensión de los que están contemplando.

Por todo ello, el objetivo de este trabajo es acercar otra nueva forma de enseñar el **microscopio**, con cambios en el tratamiento de las muestras basados en una química sencilla y con reactivos simples presentes en un aula laboratorio, y su comentario en grupo a partir de una nutrida iconografía que refleje una nueva realidad de trabajo.

## 2. OBJETIVOS PROPUESTOS EN ESTA MONOGRAFÍA

---

El presente trabajo quiere acercar a docentes y alumnos una nueva visión de la microscopía, con un amplio dossier de imágenes de muestras cotidianas e inquietantes para estos últimos, las cuales siempre han sido punto de atención y han suscitado numerosas preguntas sobre su origen y constitución.

De igual modo, se intenta mostrar una microscopía real, dentro de un laboratorio de enseñanza media, con imágenes impactantes –si bien no llegan a las que se muestran en diferentes páginas web elaboradas con equipos muy complejos de microscopía óptica de contraste de fase, interferencia o electrónica de barrido, que pueden enmascarar una realidad engañosa, cuando son imposibles de ser reproducidas dentro de las aulas.

De igual modo, se quiere recordar a docentes y a alumnos que la microscopía óptica convencional funciona mediante **transparencia**; es decir, necesitamos muestras lo suficientemente delgadas como para que la luz pase a su través. Por tanto, nos vamos a olvidar de la reproducción de todas aquellas imágenes de microscopía electrónica *de barrido* donde se trabaja con una tecnología que se aleja mucho de la que podemos encontrar en nuestro laboratorio.

La microscopía óptica es una valiosa herramienta que debe profundizarse con el alumnado y no apartarse por falta de tiempo o disponibilidad de horario por los docentes. Su estudio permite adentrarse en nuevos contenidos procedimentales y actitudinales, mejorando la comprensión de todos aquellos conceptuales que se enseñan repetidamente en las aulas, engrandeciendo con ello nuevos valores hacia el estudio de las ciencias biológicas.

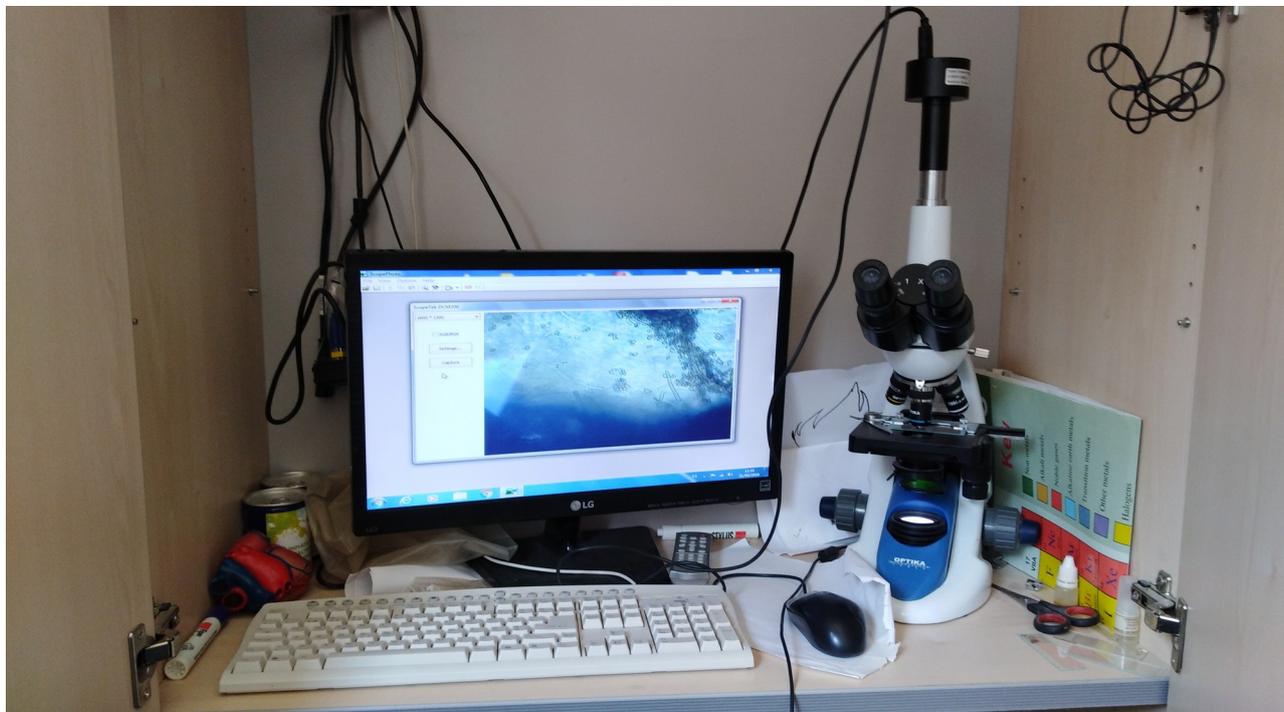
Para conseguir este laborioso trabajo sobre la microscopía en un centro de enseñanza secundaria se ha estudiado en las aulas con microscopios convencionales (figura 8) y, cuando las preparaciones ofrecían imágenes impactantes, se trasladaba el portaobjetos para su observación a un microscopio de campo claro provisto de objetivo 100x e inmersión en aceite, con cámara fotográfica adaptada a un soporte informático de tratamiento de imágenes (Figura 2).

Las imágenes resultantes que ofrece este trabajo han sido consensuadas por los alumnos que trabajaban las preparaciones en esos momentos, siendo una magnífica obra que resume la labor comunicativa y de exposición pública de la ciencia.

Finalmente, este trabajo ha querido dar nuevas metodologías de trabajo en el laboratorio, intrigando a los alumnos con preguntas de cómo se verá y qué es lo que lograremos ver con esta preparación. Los comentarios de las imágenes y la potenciación del debate entre ellos fueron los objetivos finales que nos propusimos y que recoge fielmente esta monografía.

### 3. BREVE HISTORIA DE LA MICROSCOPIA ÓPTICA PARA ALUMNOS

---



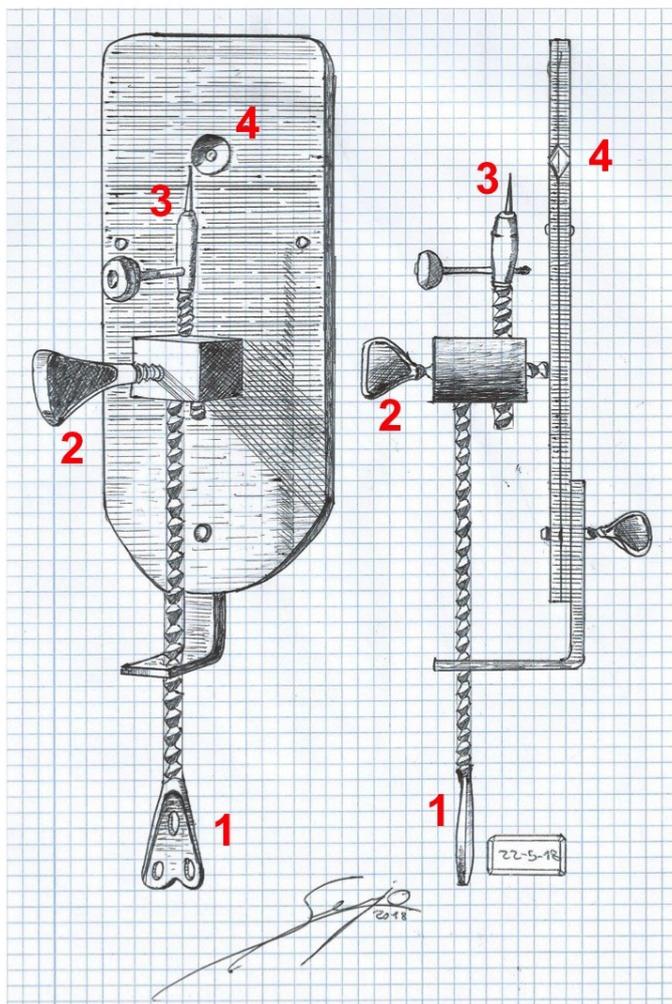
**Figura 2.** Equipo de microscopía óptica y soporte informático utilizado en el presente trabajo. El microscopio óptico es de campo claro, provisto de binoculares para observación, y una tercera salida de luz que acoplamos a una cámara digital que se sustenta en un programa informático.

Los comienzos de la microscopía óptica se le atribuyen al holandés Zacharias Janssen en el siglo XVI, cuando crea un simple microscopio formado por un tubo al que le acopla varias lentes. A este ingenioso inventor se le sumarían, con posterioridad, el magno Galileo, el naturalista Swammerdam, el botánico Grew y los anatomistas Graaf y Malpighi. No obstante, no fue hasta la noble publicación de Robert Hooke (1665), *Micrographia*, cuando se apreciaron las bondades de este instrumental para el estudio de la constitución interna de la materia, el entendimiento de una nueva visión mecanicista de la naturaleza y para remarcar la importancia de la observación y experimentación en el ámbito natural (Ordóñez et al., 2008). Se había desarrollado como tal el microscopio compuesto.

Se puede ver la versión gratuita de la obra de Hooke dentro del **proyecto Gutenberg** en la siguiente dirección web: [http://www.gutenberg.org/ebooks/15491?msg=welcome\\_stranger](http://www.gutenberg.org/ebooks/15491?msg=welcome_stranger).

Las primeras observaciones de material constituido por seres unicelulares llegarán de la mano de un coetáneo de Hooke, el comerciante holandés Antony van Leeuwenhoek. Su diseño (figura 3), elaborado a partir de las reflexiones que Hooke introduce en su obra, a base de una doble pletina que embutía un cristal

de roca pulido que actuaba como lente, permitió la observación de pequeños organismos invisibles al ojo humano, los llamados animáculos (Robertson, 2015; Stong, 1996; Cyrulies y Schamne, 2014; Garrido y Barcia, 2011). Los primeros exámenes, llevados a cabo en gotas de agua procedente de una charca, permitieron la observación de lo que siglos después pasarían a definirse como protozoos y rotíferos. Las mejoras que llevaría posteriormente el microscopio desarrollado por Hooke revelarían a los ojos de todos los estudiosos un **universo infinitamente pequeño**, que abriría una nueva puerta a la ciencia y con ello el avance de otras disciplinas, la microbiología y la citología.



**Figura 3.** Dibujo esquemático de una visión lateral y posterior del microscopio de Antony van Leewenhoek, elaborado por el alumno Sergio Hernández Agón (3º ESO-A, curso 2017-2018). (1-2) Tornillos de enfoque y posición. (3) Portamuestras. (4) Lente ocular.

## 4. CONSTRUCCIÓN DE UN MICROSCOPIO LEEUWENHOEK COMO HERRAMIENTA DE MOTIVACIÓN AL ALUMNADO

---

Aun siendo muy común en los centros de enseñanza secundaria el empleo del microscopio, todavía podemos encontrar dificultades en su adquisición. No obstante, con ingenio y algo de creatividad a la espera de la compra futura, proponemos en este apartado seguir los pasos de Leeuwenhoek en la construcción de un microscopio simple de corta distancia focal, asociado a la cámara de un **smartphone** comercial (modificación de Cyrulies y Schamne, 2014). La capacidad de aumento de nuestro equipamiento va a consistir en una lente, de las que se alojan en el interior de un puntero láser; si bien puede adquirirse comercialmente.

Para la elaboración se han utilizado los siguientes elementos, que pueden comprarse en cualquier almacén de ferretería:

- 1 tablero de ocume de 5 mm de grosor (140×140 mm).
- 1 plancha de metacrilato de 1 mm de grosor (140×140 mm).
- 1 plancha de metacrilato de 1 mm de grosor (140×50 mm).
- 3 tornillos de rosca (6×100 mm).
- 8 tuercas de 6 mm de diámetro interno.
- 10 arandelas de 6 mm de diámetro interno.
- 2 palometas de 6 mm de diámetro interno.

### Metodología:

Con la ayuda de un cúter, escuadra y cartabón se cortan, a las dimensiones descritas en los materiales, el tablero de ocume y las placas de metacrilato. A continuación, se apilan tablero y placas sujetándose con cinta de carroceros para proceder a taladrar: 3 agujeros pasantes de 6 mm de diámetro y un agujero pasante (únicamente a la plancha grande de metacrilato) de 9 mm de diámetro, tal y como se describe en la Figura 4.

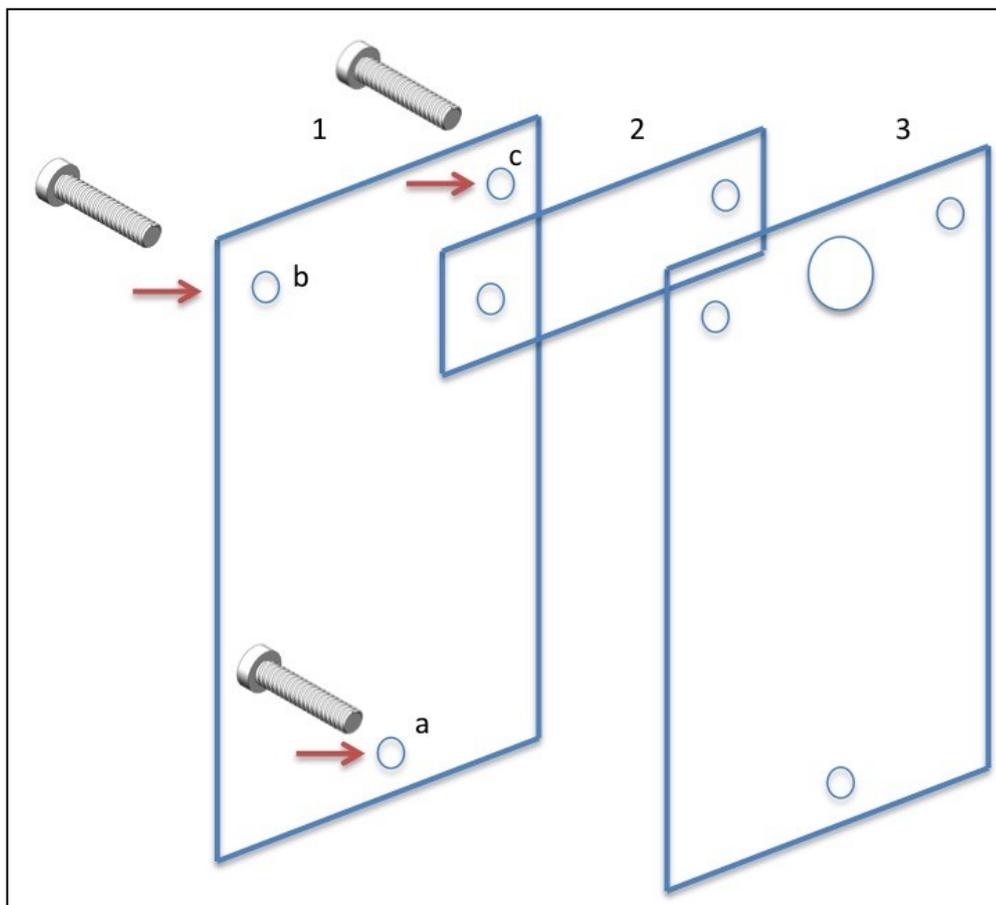
La distribución de tuercas, palometas y arandelas, indispensable para la correcta estabilidad del microscopio, se especifica a continuación:

- **Tornillo a:** tablero-arandela-tuerca-fijado; tuerca-metacrilato-arandela-tuerca-fijado.
- **Tornillos b y c:** tablero-arandela-tuerca-fijado; palometa-arandela-metacrilato; tuerca-metacrilato-arandela-tornillo-fijado.

Tras el montaje de la tornillería, el microscopio y el smartphone asociados queda tal y como recoge la Figura 5A-B. Un dato muy importante de nuestro sistema óptico es que dispone de una suma macro-micrométrica para el ajuste correcto de la muestra, llevado a cabo con el movimiento ascendente y descendente de las palometas.

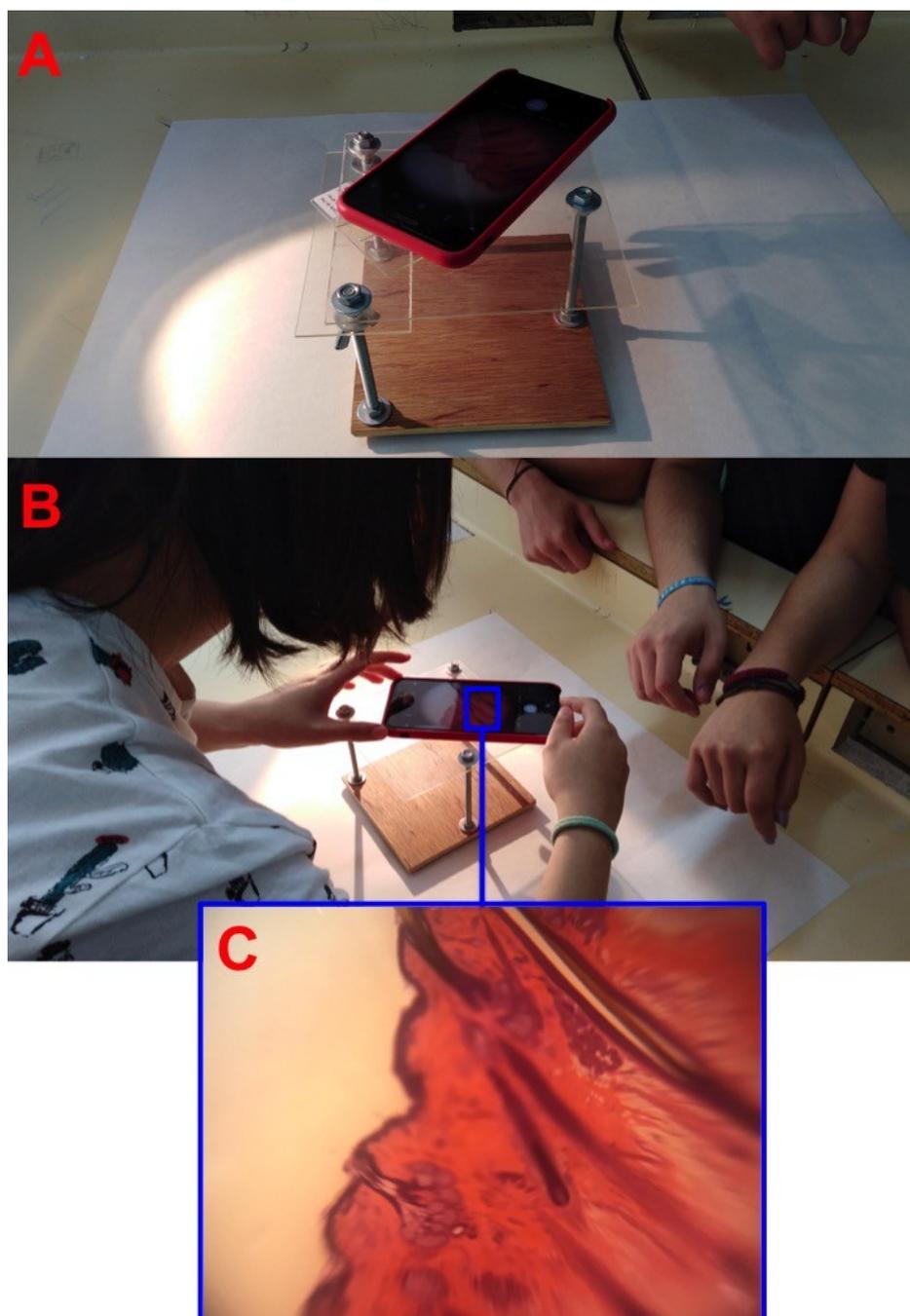
Observación y discusión:

Tras disponer un portaobjetos con una muestra biológica teñida sobre la placa de metacrilato intermedia (2), poner la lente de la cámara de nuestro teléfono inteligente sobre la lente embutida en el soporte de metacrilato (3) del microscopio y activando el software de cámara pueden visualizarse imágenes como las descritas en la Figura 5C. Para mejorar la resolución se recomienda una fuente lumínica en la base del microscopio.



**Figura 4:** Localización de la tornillería y distribución de los agujeros (a, b y c) en el tablero de ocume (1) y las placas de metacrilato (2-3).

Si bien el resultado es espectacular para el alumnado, puede comprobarse cómo la resolución no es comparable con la alcanzada con un microscopio convencional. No obstante, la originalidad del trabajo radica en su diseño y analogía didáctica, que puede permitir el debate alumno-profesor sobre la morfología y estructura histológica que se está observando.



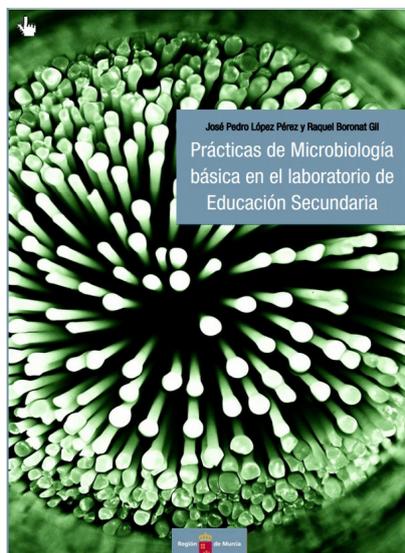
**Figura 5.** (A) Aspecto general del microscopio recreativo de Leeuwenhoek. (B) Grupo de alumnos de 1º de bachillerato contemplando una preparación de dermis a través del microscopio, tomando como visualizador su Smartphone. (C) Imagen obtenida y ampliada con el software informático del teléfono.

## 5. ELEMENTOS DE UN MICROSCOPIO COMPUESTO BÁSICO DE UN LABORATORIO DE ENSEÑANZA MEDIA Y SU FUNDAMENTACIÓN EN EL AVANCE DE LAS CIENCIAS

---

Hasta el momento se han especificado en esta monografía, (1) la necesidad de incluir cambios en la metodología de la enseñanza de las ciencias, donde la microscopía debe volver y hacerse un hueco muy importante como herramienta procedimental de los alumnos en la mejora de la comprensión y estudio de este tipo de materias, (2) unas pinceladas básicas de la evolución histórica de este instrumental óptico a lo largo de los últimos 400 años de historia de la humanidad, así como (3) la construcción de un microscopio básico con materiales caseros y de fácil adquisición por parte del lector.

Es ahora cuando se debe matizar cuáles son los elementos de un microscopio rutinario y qué es lo que buscamos con su uso en un laboratorio de enseñanza media. Recomendamos, antes de seguir la lectura de este apartado, la obra que López y Boronat (2018a) titulada, *Prácticas de Microbiología básica en el laboratorio de educación secundaria. Una experiencia de 12 años de trabajo*, publican sobre la necesidad de nuevas prácticas en las aulas laboratorio como metodología activa y de motivación al alumnado, donde reflexiona acerca de muchos aspectos sobre la microscopía óptica:



**Prácticas de Microbiología básica en el laboratorio de educación secundaria. Una experiencia de 12 años de trabajo.**

<http://www.carm.es/web/pagina?>

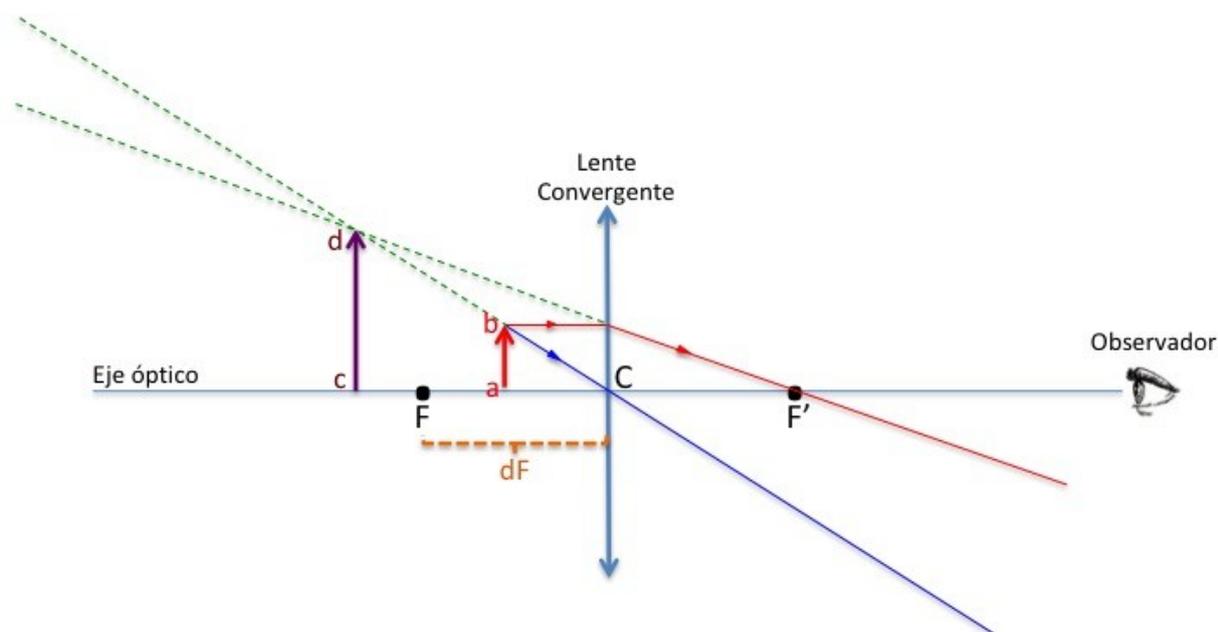
[IDCONTENIDO=17499&IDTIPO=246&RASTRO=c2709\\$m4331,4330](http://www.carm.es/web/pagina?IDCONTENIDO=17499&IDTIPO=246&RASTRO=c2709$m4331,4330)

Responder a la segunda cuestión es sencillo, y más aún cuando cualquier alumno que se precie sabe muy bien que el uso del microscopio ha permitido la descripción y examen de las células o unidades de la vida. Es decir, este instrumento óptico ha permitido acercar un objeto invisible a los ojos del ser humano,

haciendo con ello más fácil su análisis. Pero, ¿cómo ha sido posible tal hecho? Lo más importante de cualquier sistema óptico es la resolución del mismo, es decir, la capacidad que tiene de poder separar dos puntos que se encuentran muy próximos.

Hagamos la siguiente experiencia: dibujemos dos puntos en un folio a una distancia que los separe de 1 cm. Volvamos a dibujarlos, ahora a una distancia de 5 mm, 3 mm y 1 mm. A continuación, intenta poner los puntos a una distancia tal que parezca que están unidos. En ese momento, toma una lupa y observa lo que ocurre. Los puntos se verán separados. Pero, ¿por qué este hecho físico?

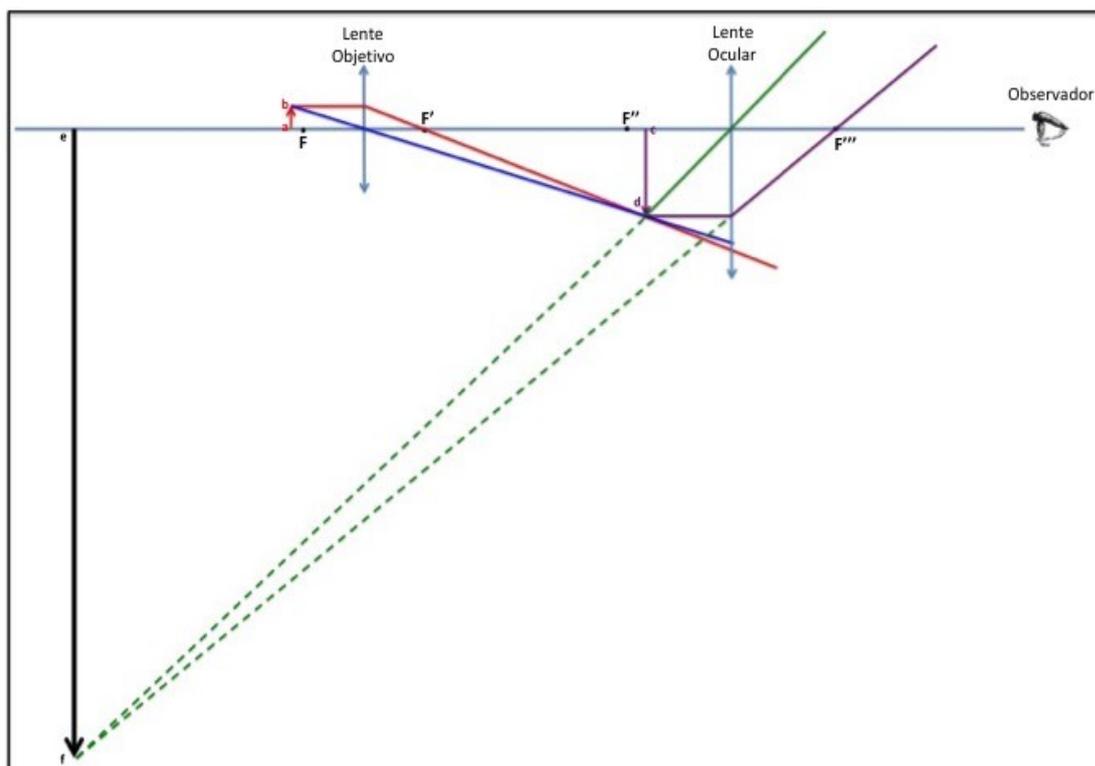
La lupa es una lente convergente, más gruesa en el centro que en los extremos, y base incipiente de un microscopio simple, como el que describió van Leeuwenhoek. La misma permite analizar un objeto haciéndolo que se aproxime más al ojo, consecuencia de generar un mayor ángulo en el rayo de luz incidente, así como disminuir su velocidad al atravesar la lente, por mostrar el material del que está formada un distinto índice de refracción con respecto al aire que lo envuelve (para mucha más información sobre estos términos se aconseja la lectura de Kane y Sternheim, 1992, páginas 555-586), visualizándose con ello detalles con mayor precisión (figura 6).



**Figura 6.** Representación esquemática de un diagrama de geometría óptica de distribución de los rayos que atraviesan una lente convergente, donde se determina la imagen virtual generada (segmento c-d) a partir de un objeto real (segmento a-b). El rayo que llega a la lente (rojo) es desviado por la misma para pasar por el foco ( $F'$ ). El rayo central (azul), cuyo origen es el objeto y que pasa por el centro de la lente ( $C$ ), no es desviado. La proyección (línea verde) de los rayos (azul y rojo) genera la imagen virtual aumentada, que será la contemplada desde fuera por el observador a través de una lupa o del microscopio de Leeuwenhoek. ( $dF$ ) Distancia Focal.

Los microscopios que se utilizan en un laboratorio de enseñanza media disponen de dos sistemas de lentes, objetivo y ocular; de ahí llamados microscopios compuestos. El objeto a estudiar se coloca fuera del

objetivo, en la plataforma mecánica o platina (figura 8). La imagen conseguida a través de la lente objetivo es real e invertida (figura 7), mucho más grande que el objeto a analizar. Esta imagen generada servirá de nuevo objeto para la lente ocular, que actuará en este caso como una lupa simple, como la estudiada en la Figura 6, proporcionando una imagen virtual e invertida de mayor aumento, a una distancia muy confortable para la visión, 25 cm.



**Figura 7.** Representación esquemática de un diagrama de geometría óptica de distribución de los rayos que atraviesan las lentes convergentes de un microscopio compuesto, utilizado de rutina en un laboratorio de enseñanza media. La lente objetivo generará una imagen real e invertida (segmento c-d) de mayor tamaño que la muestra (segmento a-b). Esta imagen generada por el objetivo será la muestra para la segunda lente, el ocular, que determinará una imagen virtual e invertida (segmento e-f) de gran aumento con respecto a la muestra originaria.

La figura 7 es muy ilustrativa para demostrar al alumnado el increíble poder de aumento que tiene este instrumental óptico, utilizado desde hace siglos para el examen de células o estructuras biológicas de pequeño tamaño.

Con lo expuesto anteriormente se determina que el microscopio es un instrumento que permite discernir entre dos puntos que se encuentran muy próximos, al contrario de lo que ocurriría si se vieran estos –exclusivamente– al ojo humano. Dos fórmulas matemáticas determinan la resolución de un sistema óptico:

$$d = \frac{\lambda}{2n \cdot \text{sen} \alpha}$$

Kane y Sternheim (1992)

$$d = \frac{0,61 \cdot \lambda}{n \cdot \text{sen} \alpha}$$

Alberts et al. (1996)

Ambas tienen en común la longitud de onda ( $\lambda$ ) de la fuente lumínica que viaja en el aire, el índice de refracción ( $n$ ) del medio que existe entre la lente objetivo y la muestra a analizar, así como la razón trigonométrica ( $\text{sen } \alpha$ ) que determina el ángulo generado entre el objetivo y la preparación. Observando las fórmulas puede cuestionarse con los discentes en el aula cómo podemos disminuir el valor de  $d$  con el objetivo de aumentar considerablemente el poder de resolución de un sistema óptico, como es el caso de nuestro microscopio. Si atendemos a la fracción matemática para el análisis de  $d$  podemos tener presente que, disminuir el numerador, es decir, la longitud de onda de la fuente lumínica, podría ser un primer paso para conseguir una mejora sustancial de nuestro microscopio.

La luz blanca utilizada comúnmente en un sistema óptico de laboratorio es un complejo policromático, con una banda de longitudes de onda que abarcan entre los 330 nm (violeta) hasta los 750 nm (rojo). Trabajando por lo tanto con longitudes de onda corta, energética y próxima al violeta, conseguiremos aumentar el poder de resolución de cualquier sistema óptico. Pero, ¿cómo conseguir esto en un laboratorio de enseñanza media, con pocos materiales e instrumental? Difícil. Sin embargo, contar con sistemas de filtros específicos o usar fuentes de iluminación precisas de  $\lambda$  próximas al violeta, serían muy útiles en un laboratorio que se precie en microscopía.

Además, si seguimos analizando las fórmulas podemos aportar nuevas mejoras en los sistemas ópticos para el aumento del poder de resolución. En este segundo caso, debemos tener presente el análisis del denominador de las fracciones matemáticas y ver qué nos aportan. Podemos jugar muy bien en el laboratorio con  $n$ , el índice de refracción del medio que baña la lente. Convencionalmente este medio es aire pero podríamos tener rodeada nuestra lente con agua o aceite de inmersión. Si analizamos la siguiente Tabla 1 podemos comprobar cómo hay multitud de materiales, muchos de los cuales son fáciles de encontrar en un laboratorio de Educación Secundaria, que pueden incrementar este índice de refracción y, con ello, disminuir el valor de  $d$ .

Material	Índice de refracción
Vacío	1
Aire	1.0002926
Agua	1.33336

<b>Disolución de azúcar (30%)</b>	1.38
<b>Glicerina</b>	1.473
<b>Aceite vegetal</b>	1.47
<b>Heptanol</b>	1.423
<b>Disolución azúcar (75%)</b>	1.4774
<b>Metanol</b>	1.329
<b>Benceno</b>	1.501
<b>Aceite de cedro</b>	1.516
<b>Etanol</b>	1.361

**Tabla 1.** Índice de refracción de algunos materiales utilizados de rutina en un laboratorio de enseñanza media. Fuente: Elaboración por los autores a partir de la dirección web, [www.vaxasoftware.com/doc\\_edu/fis/inrefraccion.pdf](http://www.vaxasoftware.com/doc_edu/fis/inrefraccion.pdf)

De esta manera, con los equipos rudimentarios de microscopía que disponemos es difícil anteponer un medio de este tipo entre la lente objetivo y la muestra.

Finalmente, en el denominador de las fracciones nos queda jugar con el ángulo que forma el objetivo del microscopio con el portaobjetos de la muestra a analizar. Es decir, cuanto más se aproxime el objetivo del microscopio a la muestra, mayor será el seno del ángulo (ver esquema ilustrativo de este hecho en López y Boronat, 2018a). En definitiva, un buen equipamiento óptico debe presentar una fuente lumínica próxima a la radiación violeta, medio que garantice un elevado índice de refracción y lente objetivo lo más próxima a la muestra. En nuestro laboratorio, y después de mucha ayuda por parte de la Asociación de Madres y Padres, se ha conseguido en parte con un microscopio óptico que dispone de una lente 100x de inmersión en aceite. Estos equipos son más caros pero garantizan una resolución plena a los máximos aumentos (con un total de aumentos de 1000x) sin aberraciones que pudieran enturbiar el correcto análisis.

## 5.1. Elementos de un microscopio convencional

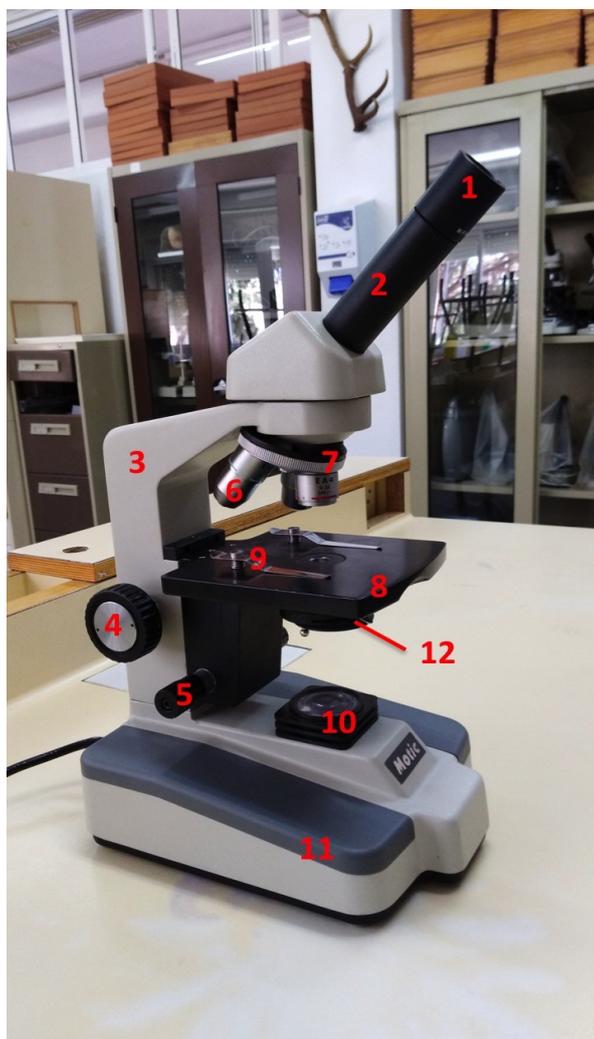
El microscopio convencional de nuestro laboratorio de Enseñanza, también llamado **compuesto**, permite la observación de cuerpos mediante transparencia (el haz luminoso debe atravesar la muestra). En este sistema óptico se combinan dos lentes: el **objetivo**, lente más próxima a la muestra estudio, y el **ocular**, lente más cercana al ojo del observador. Esta última lente puede ser simple, hablándose de cabezal *monocular*, o doble, si se dispone de dos lentes o *binocular*, que permite la visión más prolongada en el tiempo sin provocar una fatiga visual temprana.

El microscopio se compone de dos elementos básicos (figura 8): el elemento mecánico y el

elemento óptico. Entre los componentes del **elemento mecánico** destacan (Nachtigall, 2004):

- El **soporte** del microscopio, formado por el **pie** sobre el que reposa el aparataje y que sostiene al **brazo** o columna que fija todo el equipamiento óptico y de visión.

En la parte superior del brazo se halla el **tubo** (provisto de la lente ocular) y el **revólver** que porta los objetivos en su extremo inferior. En la parte media del brazo se halla la **platina** (provista de un orificio central para el paso de la luz), lugar donde se colocarán las preparaciones montadas en el portaobjetos-cubreobjetos. Este sistema se fijará a la platina mediante unas **pinzas**.



**Figura 8.** Elementos de un microscopio óptico convencional de campo claro utilizado en el laboratorio de Educación Secundaria. (1) Lente ocular. (2) Tubo. (3) Brazo. (4) Tornillo macrométrico. (5) Tornillo micrométrico. (6) Lente objetivo. (7) Revolver. (8) Platina. (9) Pinzas sujetas preparaciones. (10) Fuente de iluminación. (11) Base o pie. (12) Diafragma iris.

- Los **tornillos de enfoque: macrométrico**, que permite una aproximación general a la muestra, y **micrométrico**, que afina y precisa una correcta visualización.

Por otro lado está el **elemento óptico** que, entre sus componentes generales, destacan:

- **Objetivo.** Consta de un sistema de lentes que proporciona una imagen mayor e invertida del objeto. En el mismo se consideran tres elementos fundamentales: el aumento (o cantidad de veces que se incrementa un objeto), el campo de visión (o zona visible que se observa a través del ocular del microscopio) y el poder de resolución (que ya se ha descrito con anterioridad). En el microscopio óptico convencional de laboratorio encontramos tres lentes principales: 4x, 10x y 40x, proporcionando unos aumentos reales de 4 veces, 10 veces y 40 veces, respectivamente. Este sistema no permite la observación nítida y clara de bacterias, objeto de estudio de este trabajo. Para ello es necesario la adquisición de un objetivo de inmersión, ya descrito anteriormente, que proporciona 100 aumentos reales.

- **Ocular.** Esta lente, colocada al final del tubo, hace que la imagen formada en el objetivo se incremente aún más su tamaño. Es decir, si utilizamos una lente objetivo de 40x y la lente ocular proporciona 10 veces más (10x), los aumentos finales serán 400 (muy alejados del desafío de la observación nítida del mundo bacteriano).

- El **sistema de iluminación** generado a través de lámparas incorporadas al pie del microscopio.

- El **diafragma iris** que permite regular la entrada de luz al condensador.

- El **condensador** o sistema de lente doble, localizado debajo de la platina, y que permite la concentración de los rayos de luz procedentes de la fuente de iluminación y su incidencia en la preparación.

## 6. ¿CÓMO MANEJAR EL MICROSCOPIO ÓPTICO?

---

Es fundamental que el alumno de biología adquiera las competencias necesarias para utilizar este equipo tan universal de laboratorio y que su uso, con el paso del tiempo, no genere perjuicios en el instrumental óptico. Las principales normas a seguir para el correcto uso se describen a continuación:

1. Si el microscopio se encuentra localizado en la mesa de trabajo del alumno, lo primero será **quitar la funda protectora**. Si el alumno debe portearlo desde el lugar de reserva hasta la mesa de trabajo, el microscopio debe cogerse, con firmeza, desde su brazo o columna.
2. Se enciende/enchufa el microscopio a la corriente eléctrica y se regula al máximo la **intensidad** de luz.
3. Con la ayuda del tornillo macrométrico, se **baja la platina** hasta el tope fin de giro.
4. El objetivo de menor aumento (4x), caracterizado por su pequeño tamaño y una línea roja, debe localizarse perpendicular a la platina. Por lo tanto, **se gira el revólver** hasta localizarlo en esta posición.
5. Se coloca el **portaobjetos** en la platina, se fija con las pinzas y se localiza la muestra sobre el orificio de entrada de luz.
6. A continuación se procederá con el **enfoque de la muestra**. Para ello, observando la preparación a través de la lente ocular, y girando el tornillo macrométrico lentamente, debemos percibir correctamente la preparación a bajo aumento. Este paso es el más importante del proceso, generando la máxima expectación en el discente, por lo que se recomienda al docente revise todos los enfoques generados en los microscopios que haya en ese momento en el aula.
7. Los sistemas ópticos actuales disponen de **lentes parafocales**; es decir, el cambio de lente tras el giro del revólver no implica modificación del enfoque de la preparación. De este modo, podemos pasar a 10x y 40x, modificando brevemente el enfoque con el giro del tornillo micrométrico.
8. Si se dispone de **objetivo de inmersión** 100x, previo a observar a través del mismo, se añadirá una gota de aceite de inmersión sobre el portaobjetos para, finalmente, modificar el enfoque con el micrométrico. Se recomienda en este caso pasar directamente de la lente objetivo 4x a la lente 100x, evitándose que el resto de lentes pudieran tocar el aceite de inmersión. La lente que suele sufrir mucho el uso de este reactivo debe limpiarse al finalizar la experiencia, evitándose que los restos de aceite pudieran dañar o quedar incrustados en el objetivo. Se recomienda la limpieza mediante el frote de la lente con una gasa suave que porta unas gotas de xileno.

9. Para sustraer el portaobjetos tras el análisis de la preparación, se cambiará con ayuda del revólver al objetivo de 4x y bajará la platina con ayuda del **tornillo macrométrico**.

10. Como anotación final del proceso de observación de la preparación biológica, se recomienda el uso del **diafragma** para modificar la entrada de luz, con el consiguiente aumento del contraste de la muestra.

## 6.1. El contraste en la microscopía óptica rutinaria

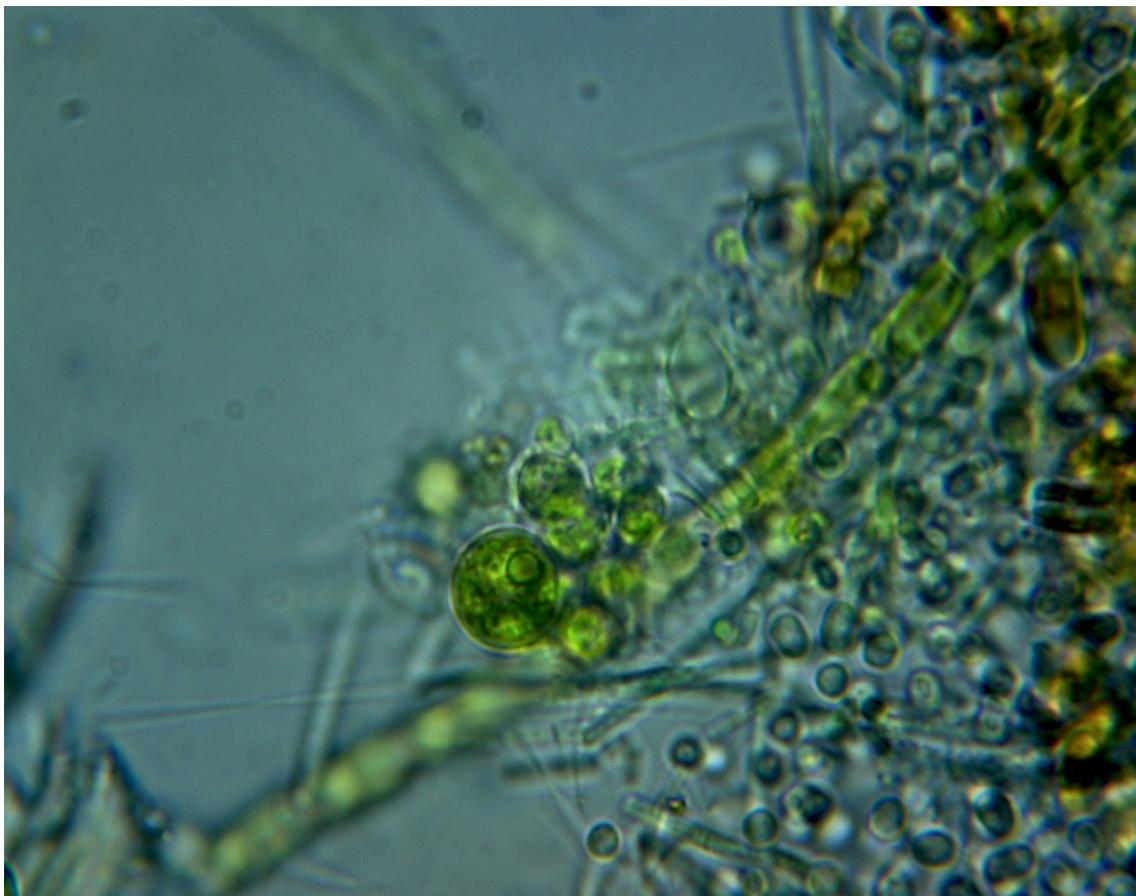
El **contraste** es necesario cuando la resolución y la observación distintiva de los objetos presentes en la preparación se hacen muy difíciles. Un cuerpo tendrá mucho contraste cuando su índice de refracción sea muy diferente al índice de refracción del medio en el que está sumergido. Por ejemplo, las células tienen índices de refracción parecidos al agua, ya que un 75% de su composición química está definida por esta molécula. Este hecho permite que los rayos de luz que atraviesen la muestra no retarden la fase de luz, frente a aquellos que lo hacen en el medio acuoso. Por tanto, cuando se unan al final del proceso de observación, no nos darán un buen contrastado de la muestra ya que ambas fases son iguales.

Por el contrario, cuando las estructuras biológicas tienen un índice de refracción diferente al agua su contraste será mayor. Las partes coloreadas de algunos microorganismos, tales como las presentes en las algas microscópicas, tendrán mejor contrastado (Figura 9) frente a aquellos que carecen de las mismas.

El contrastado de estructuras biológicas fue un desafío constante durante el siglo XIX tras el avance de la óptica del microscopio. La preocupación acabó con la utilización del color, es decir, el uso de las tinciones.

En este trabajo se han utilizado los siguientes colorantes de contraste, fáciles de conseguir y muy necesarios en un laboratorio de enseñanza media:

- **Disolución al 0.5% de Azul de metileno.** Se disuelven 0,5 g de colorante polvo en 100 ml de agua destilada. Se aconseja filtrar la disolución resultante para eliminar los precipitados de colorante.
- **Disolución al 0,5% de Violeta de genciana.** Se disuelven 0,5 g de colorante polvo en 100 ml de agua destilada.
- **Solución comercial de Povidona yodada,** sustitutivo muy barato del reactivo de Lugol (2 g de yodo molecular y 4 g de yoduro potásico en 100 ml de agua destilada. Tras la agitación vigorosa es preferible filtrar la preparación para eliminar los restos de reactivos precipitados).



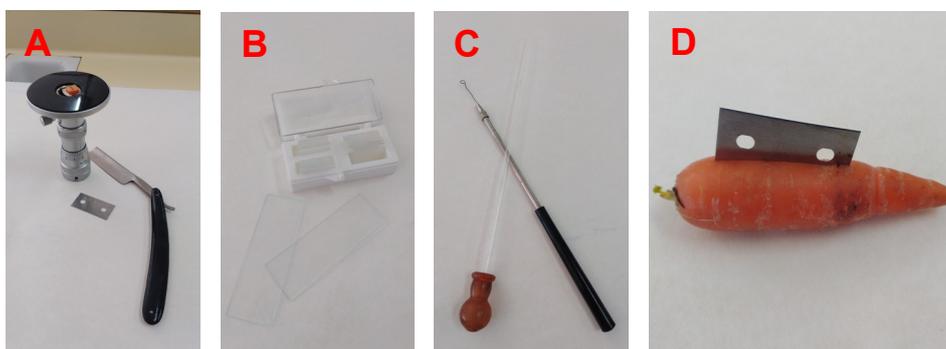
**Figura 9.** Imagen al microscopio de campo claro, sin tinción de la preparación, de material mucilaginoso de un biofilm creado en el acuario del centro de estudios. Se denota el elevado contraste que presentan los microorganismos (algas clorófitos) frente a aquellos que carecen de pigmentos fotosintéticos. Objetivo 40x.

No obstante, en la gran mayoría de las preparaciones se ha trabajado con el diafragma iris del microscopio, cerrándolo o abriéndolo, permitiendo un paso controlado de luz que aumente el contraste de las preparaciones. En otros casos, con la ayuda de un disco de cartulina oscura, se ha tapado parcialmente la fuente de iluminación, permitiendo la salida de un haz de luz periférico al mismo, aumentando el contraste de la muestra (microscopía de campo oscuro).

## 7. MATERIAL Y METODOLOGÍA ESPECIAL

Los **materiales** utilizados en el presente trabajo con alumnos de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato han sido (ver Figura 10):

- Pipeta Pasteur de vidrio y tetina.
- Asa de Kolle o microbiológica.
- Cubreobjetos y portaobjetos.
- Microtomo de mano.
- Cuchillas de raspado de vitrocerámica.
- Cuchilla de corte para microscopía, similar a la que utilizaban los antiguos barberos.
- Zanahoria como medio de inclusión y mejora del corte de las preparaciones histológicas vegetales.
- Microscopio de campo claro con Objetivos 4x, 10x y 40x. (ver Figuras 1 y 8).



**Figura 10.** (A) Microtomo de mano, cuchilla y hoja de corte. (B) cubreobjetos y portaobjetos. (C) Pipeta Pasteur-tetina junto a Asa de Kolle. (D) Cuchilla de corte introducida en una zanahoria, empleada como material de inclusión para facilitar el corte.

La **metodología** utilizada en el presente trabajo para realizar cortes sobre material vegetal ha sido la recreación de un medio de inclusión que permitiera el corte sin llevar a cabo la compleja metodología de histología: fijación, deshidratación, inclusión, corte y tinción.

El empleo de materiales sencillos ha sido una sorpresa para el alumnado, ofreciendo la posibilidad de

observar materiales elaborados por ellos mismos bajo el microscopio. Para ello, se talló una zanahoria con la ayuda de una cuchilla hasta hacerla penetrar en el interior de un micrómetro de mano. Se le llevó a cabo una hendidura central que permitiera el acceso del material vegetal a observación. En nuestro caso se tomó un talo del líquen *Cladonia convoluta* (figura 56) y una sección cortada de hoja de baladre (figura 62). A continuación se introdujo el material vegetal en la hendidura elaborada en el taco de zanahoria y, el conjunto, en el micrómetro. Se sujetó con el tornillo presa y se elaboró un primer corte para homogenización del sistema de corte. Seguidamente se hizo girar el tornillo del micrómetro hasta visualizar los 30 micrómetros de espesor de salida de la preparación.

Con la ayuda de una cuchilla de microscopía o de las que se utilizan en la limpieza de vitrocerámica, se procedió a elaborar un corte en la preparación (figura 11); eliminando los restos de zanahoria y pasando la muestra a observar (mediante la ayuda de del asa de Kolle) a una placa de Petri que portaba agua del grifo.

La operación se repitió hasta en 5 ocasiones con el objetivo de elaborar el mayor número de cortes finos y la selección de los mejores para observación. Finalmente, el mejor corte se puso sobre una gota de agua dispuesta sobre un portaobjetos. Se cubrió con un cubreobjetos la preparación y se llevó a cabo su observación al microscopio óptico.

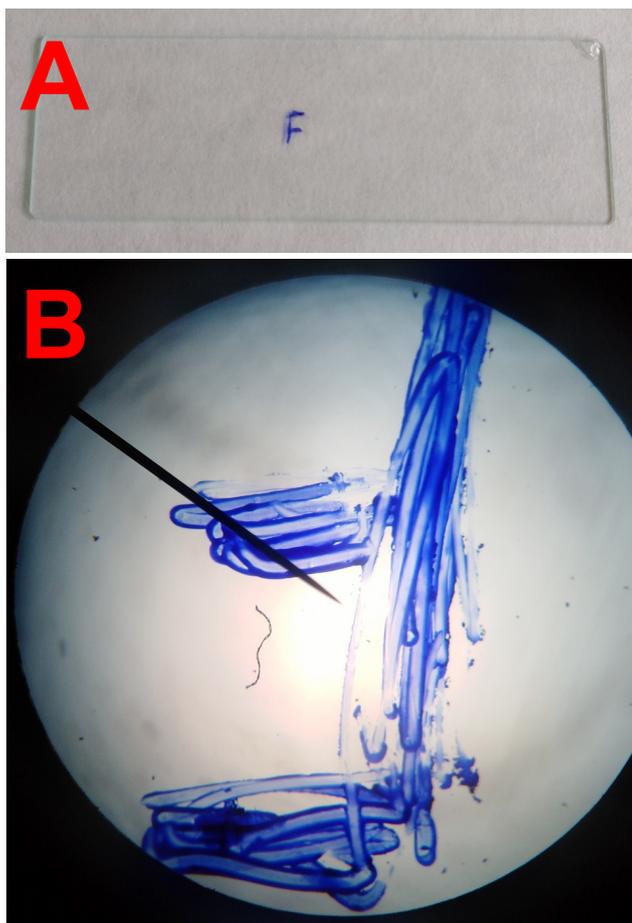


**Figura 11.** Alumna de primer curso de bachillerato llevando a cabo un corte con cuchilla de microscopía sobre hoja de baladre (*Nerium oleander*) montada en zanahoria.

## 8. UNA PRIMERA PRÁCTICA CON ALUMNOS

Sobre un portaobjetos, y con la ayuda de un rotulador, dibuja una pequeña letra **F** (tal y como aparece en la Figura 12A). Monta el sistema sobre la pletina del microscopio y obsérvala con el objetivo 4x (1). ¿Cómo se ve la imagen de la letra F a través del ocular del sistema óptico? (2). Describe lo ocurrido e intenta explicar el por qué de este hecho.

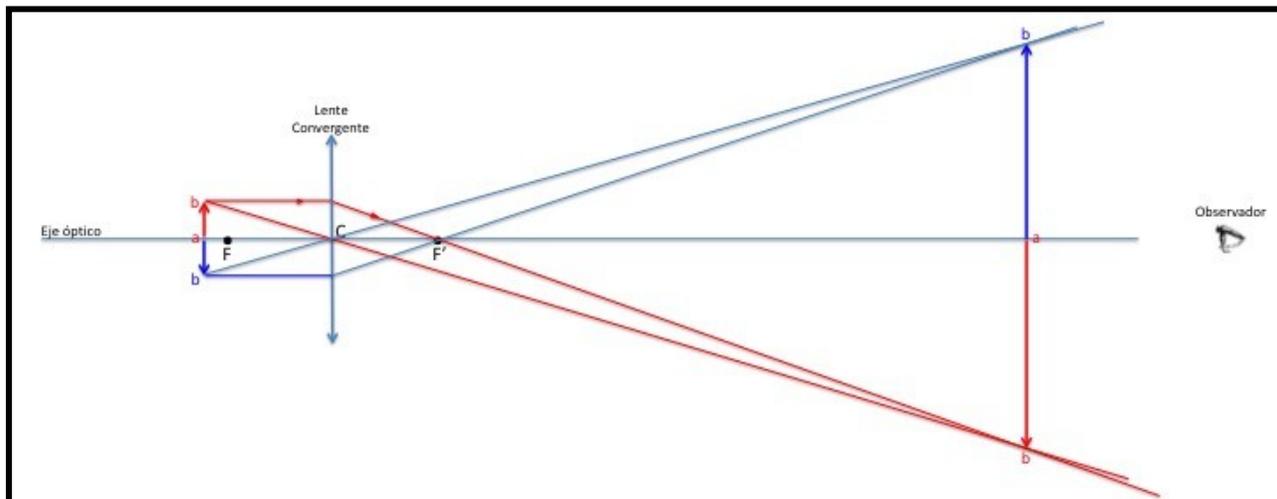
Al observar el discente a través del microscopio la preparación se ponen de manifiesto tres propiedades básicas del sistema óptico (ver Figuras 12 y 13): (1) el aumento de tamaño de la preparación (se denota incluso por la visualización del trazo que se ha conseguido al dibujar la letra sobre el portaobjetos), (2) la inversión de la imagen (los brazos de la letra están hacia abajo) y, (3) consecuencia de la esfericidad de las lentes convergentes que constituyen el objetivo y el ocular del microscopio, la inversión se observa como una reflexión en la imagen con respecto a la realidad (lo que es derecho en la preparación pasa a ser izquierdo en la visión a través del microscopio).



**Figura 12.** Observación de la forma de la letra F dibujada sobre un portaobjetos (A) al microscopio de campo claro, objetivo 4x. Denótese en a imagen B la inversión de la imagen, el aumento de tamaño y la reflexión (las ramas de la letra a la derecha, en la imagen superior, pasan a la izquierda tras la visión al microscopio de campo claro). Imagen B tomada a través del ocular del microscopio mediante la cámara que porta un Smartphone.

**Base teórica:** Al atravesar el rayo incidente la lente convergente se refracta, cambiando de dirección y velocidad. El cruce de este rayo con el que pasa por el centro de la lente determina la formación de la imagen (figura 13), de mayor tamaño, invertida y próxima al observador.

Se aconseja como necesidad para el docente proyectar el diagrama de geometría óptica, promoviendo con ello el debate entre los alumnos, favoreciendo la comprensión y mejora del aprendizaje.



**Figura 13.** Representación esquemática de un diagrama de geometría óptica de distribución de los rayos que atraviesan una lente convergente (tipo objetivo del microscopio). Los rayos que atraviesan la lente procedentes de un objeto alejado del foco generan una imagen aumentada, invertida y, atendiendo a la esfericidad de la lente, una reflexión virtual derivada de la inversión generada.

## 9. SELECCIÓN DE IMÁGENES

---

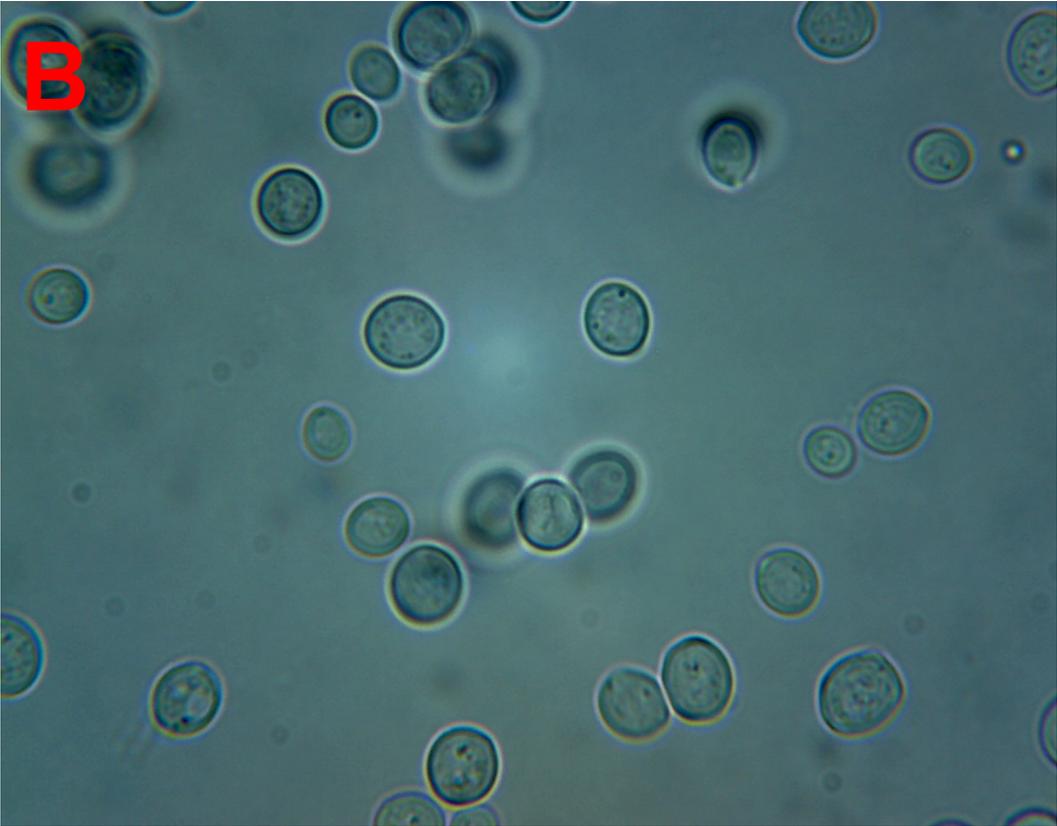
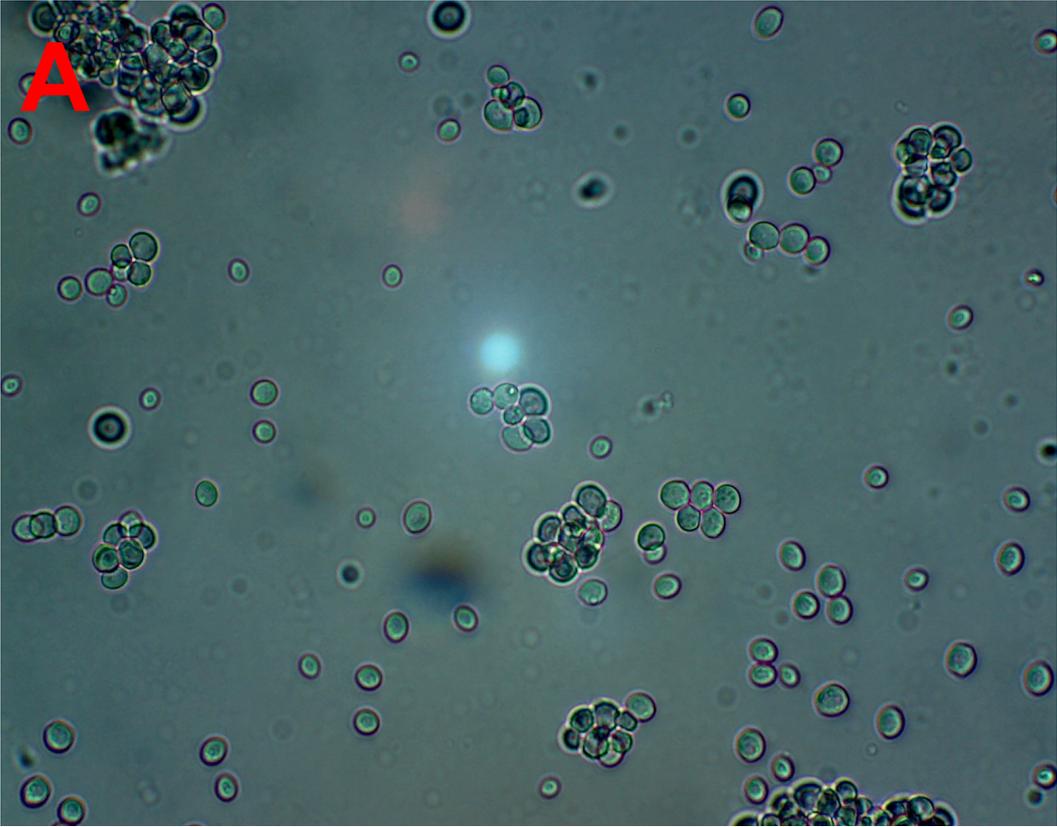


**FIGURA 14.** Imágenes al microscopio de campo claro de **células de la levadura *Saccharomyces cerevisiae***. (A) Objetivo 40x. (B) Objetivo 100x e inmersión en aceite. Este microorganismo es un integrante del reino de los Hongos, por lo que se trata de un ser vivo eucariota (presenta estructura nuclear que envuelve al material genético) y nutrición heterótrofa, viviendo a expensas de la materia orgánica fabricada por otros seres vivos. Las levaduras son microorganismos unicelulares, aunque dentro del reino Fungi encontramos individuos formados por más de una célula, caso de todos aquellos integrantes que son capaces de constituir un cuerpo fructífero o seta.

Son organismos inmóviles, ya que carecen de diferenciaciones de membrana que permitan movimiento (cilios o flagelos); si bien en las preparaciones puede observarse migración de las células consecuencia de corrientes de agua entre portaobjetos y cubreobjetos. En otras ocasiones pueden mostrarse movimientos caóticos derivados de su pequeño tamaño, el llamado movimiento browniano.

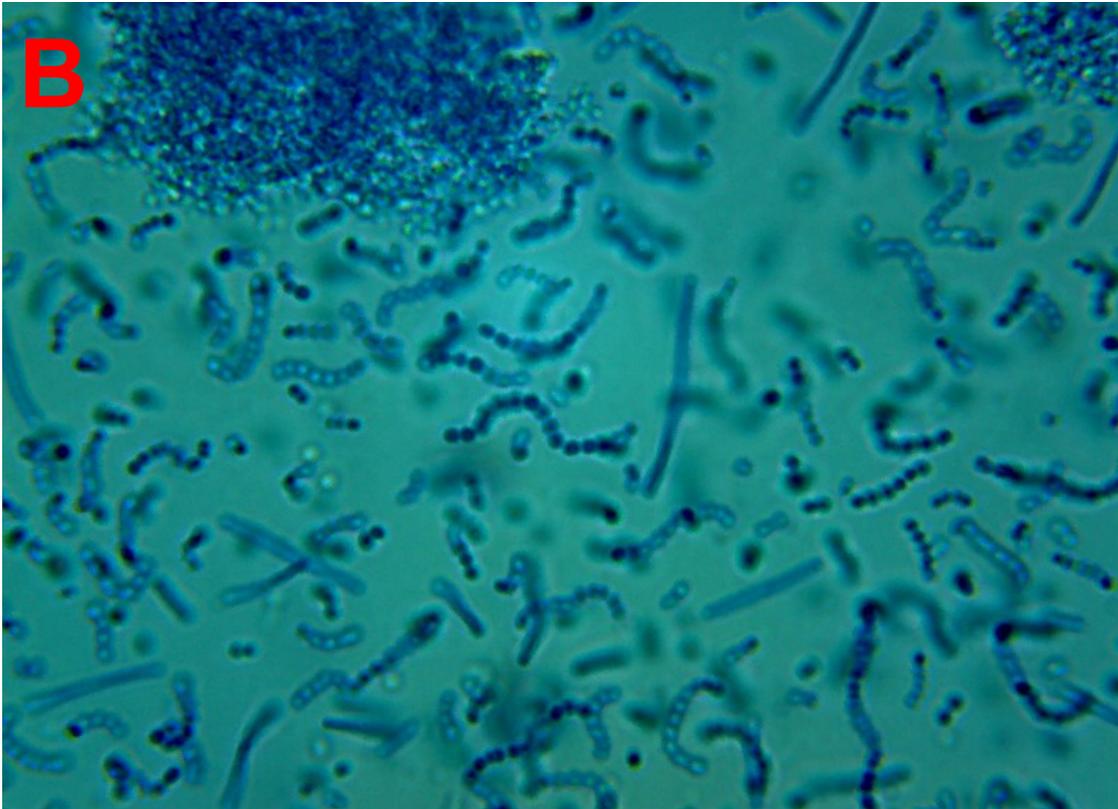
En la imagen B se observa la arquitectura citoplasmática típica de células eucariotas, con sistemas de membrana interno u organelas, así como núcleo.

El uso de este material en la Enseñanza media puede ser muy útil en la elaboración de preparaciones microscópicas de bajo coste de organismos eucariotas (dispersión de unos pocos gramos de levadura fresca de panificación en agua del grifo y depósito de unas gotas sobre portaobjetos de microscopía), en la fabricación de pan o cerveza y en los estudios de fermentación alcohólica, con la comprobación de los productos finales de la misma (Boronat y López, 2011; López y Boronat, 2013 y 2018a).



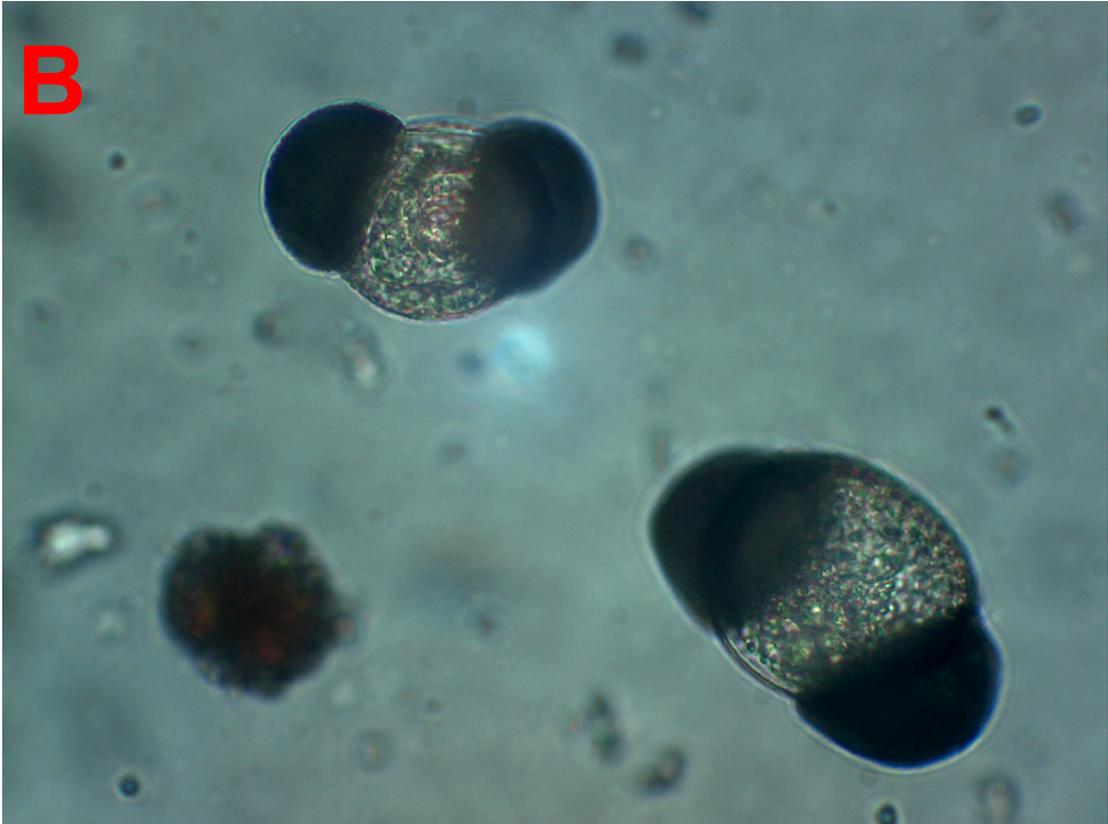
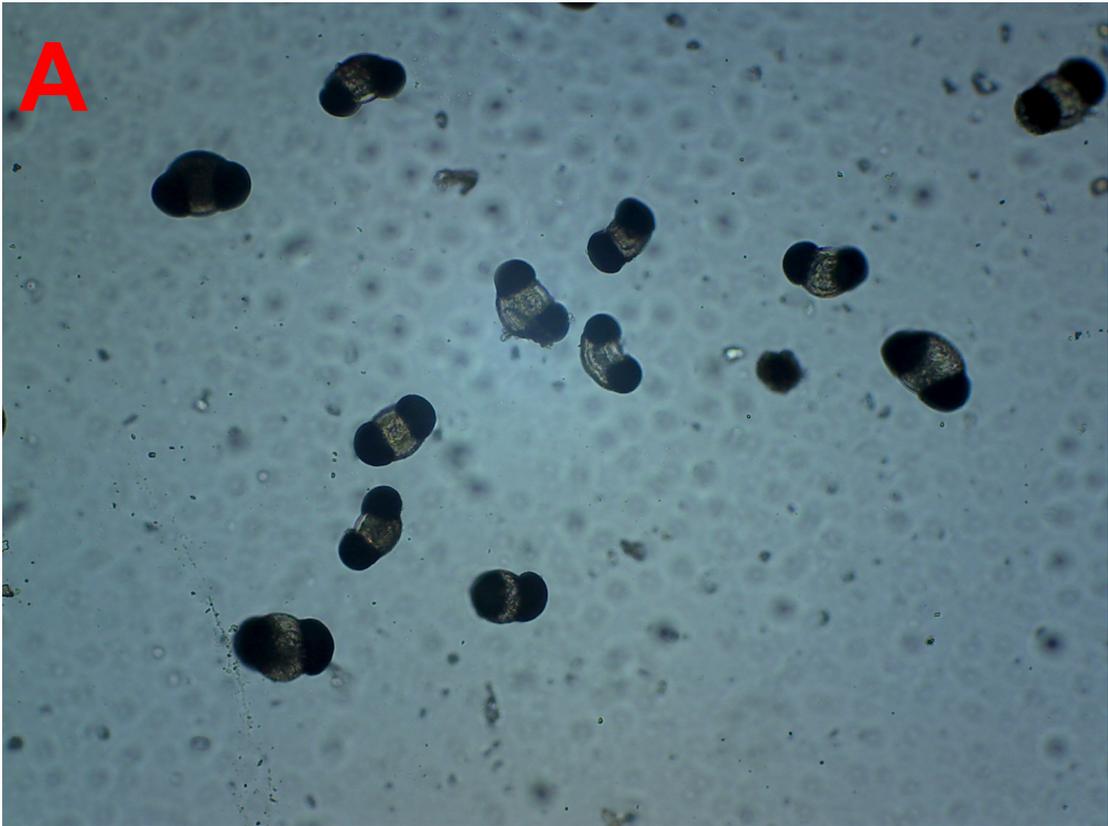
**FIGURA 15.** Imágenes al microscopio de campo claro de **comunidades de bacterias productoras de yogur**. Tinción con Azul de metileno. (A-B) Objetivo 100x e inmersión en aceite. El conjunto microbiano consta de dos grupos morfológicos bien identificados: (1) cadenas de cocos, los estreptococos, y (2) cadenas de bacilos o células individuales, lactobacilos. Estos microorganismos (*Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus bulgaricus*) son procariotas (no presentan una estructura nuclear que rodee al material genético, ni complejos sistemas de membrana interno). Su nutrición es heterótrofa, viviendo a expensas de materia orgánica. De su metabolismo fermentativo de azúcares (son anaerobios aerotolerantes), como la lactosa, se liberan compuestos ácidos (ácido láctico) que provocan la precipitación de las proteínas presentes en la leche. Su coagulación determina la aparición del alimento conocido como yogur, al que tantas propiedades se le han atribuido desde la antigüedad y que, con mucha cautela, deben tomarse hoy en día por la falta de estudios determinantes (López y Boronat, 2014; 2018a).

El uso de este material en la Enseñanza media puede ser muy útil en la elaboración de preparaciones microscópicas de bajo coste de organismos procariotas (secado sobre un portaobjeto de un frotis de yogur, desengrasado con alcohol y tinción con Azul de metileno), así como en la identificación de quiénes son los agentes bacterianos responsables de la fabricación de este derivado lácteo, el yogur.



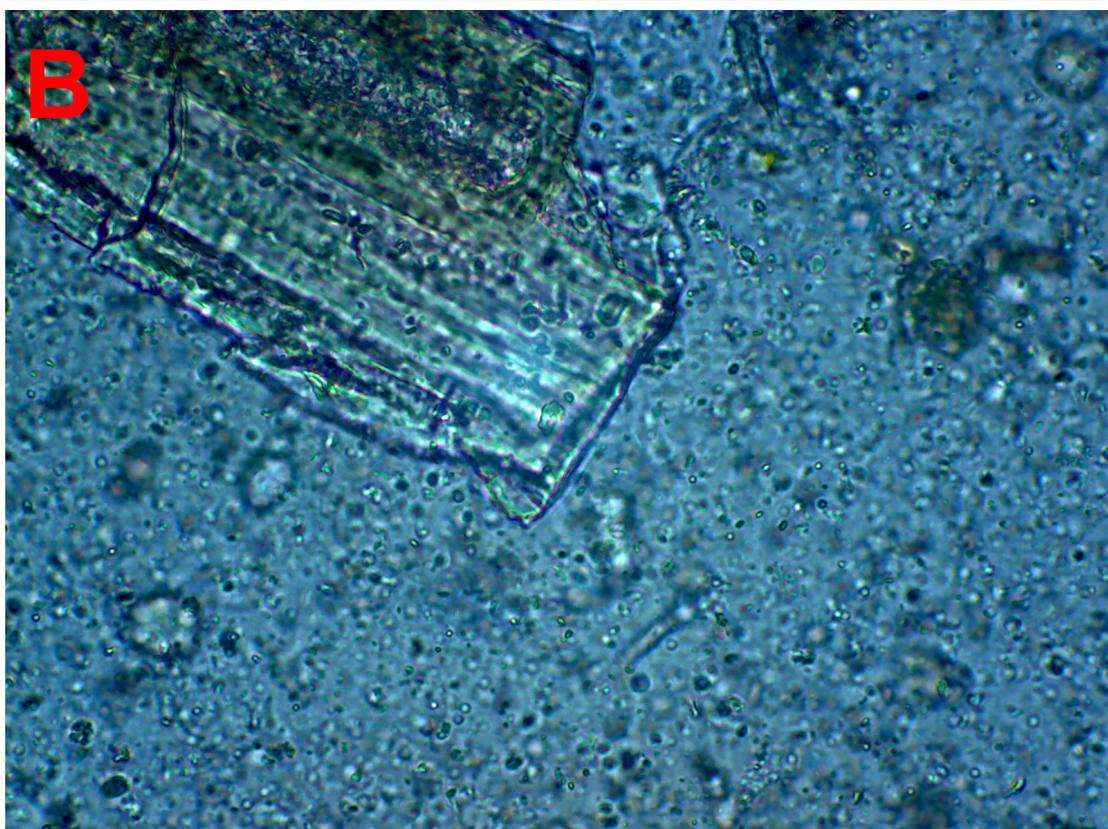
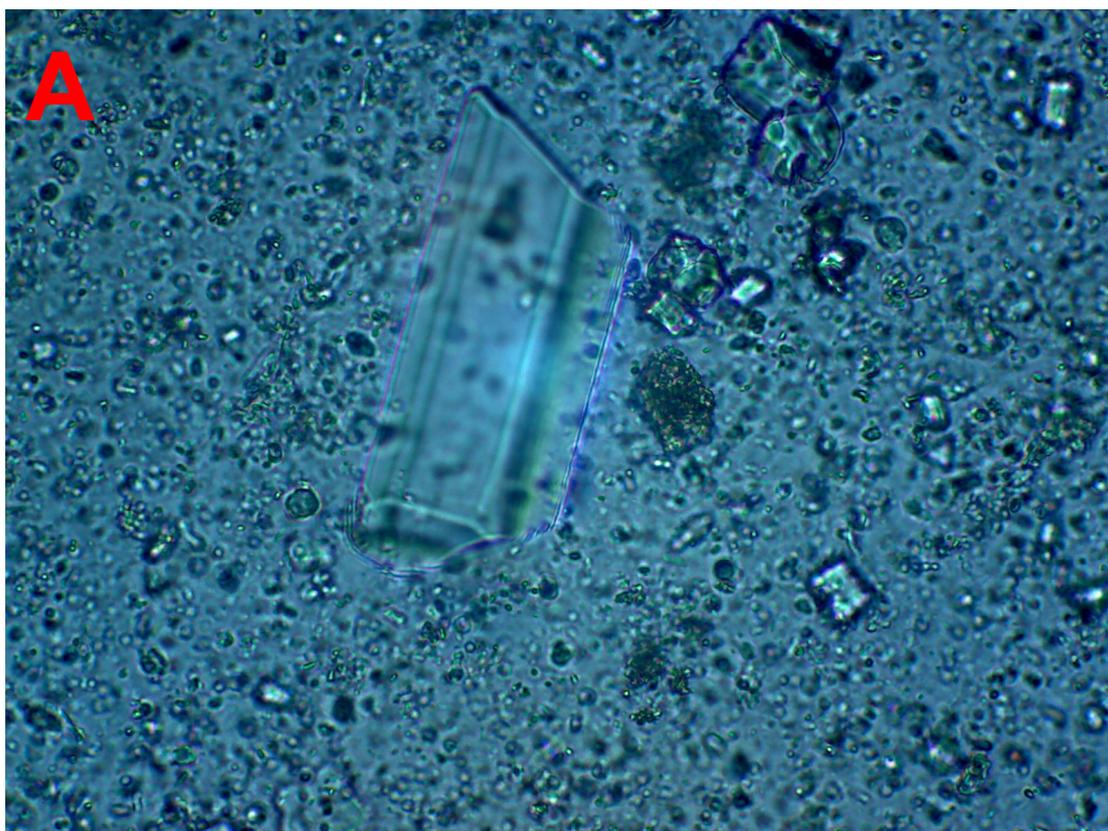
**FIGURA 16.** Imágenes al microscopio de campo claro de **granos de polen de *Pinus halepensis*** (pino carrasco) recogidos de la superficie del suelo del centro de estudios el 16 de marzo de 2018. (A) Objetivo 10x. (B) Objetivo 40x. Se destacan una estructuras esféricas, a modo de “orejas”, llamadas sacos aeríferos, acompañantes de la microspora central portadora de la célula germinal y de todas aquellas responsables de la formación del tubo polínico. La presencia de estas estructuras oscuras se relaciona como un hecho evolutivo de mejora de la dispersión del grano de polen a través de viento, la anemofilia (Schwendemann et al., 2007).

El uso de este material en la Enseñanza media puede ser muy útil en la elaboración de preparaciones microscópicas de bajo coste de organismos complejos, así como complemento de estudio de la reproducción en el reino *Plantae*. La observación por el alumnado de este tipo de estructuras puede abrir el debate en el aula ofreciendo ideas sobre su posible mecanismo de dispersión, producción masiva o de reducido número para lograr la polinización, por parte del grupo de gimnospermas y, si cabe la necesidad de insectos para llevarlo hacia un carpelo.



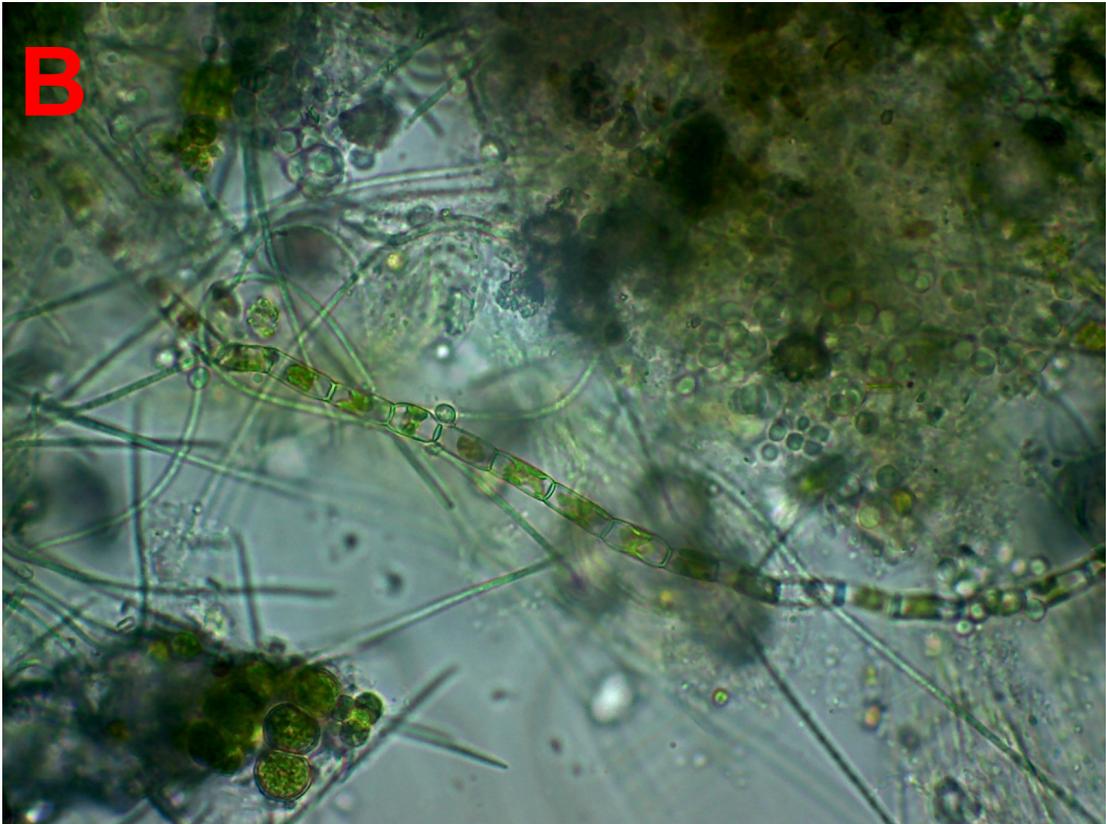
**FIGURA 17.** Imágenes al microscopio de campo claro de una **alícuota de purín de cerdo** tomado por uno de los discentes en una de las balsas de vertido presente en una granja familiar de crianza intensiva de ganado. (A-B) Objetivo 40x. Se aprecia muy bien el material particulado a base de restos vegetales y precipitados cristalizados refringentes de materia mineral indiferenciada.

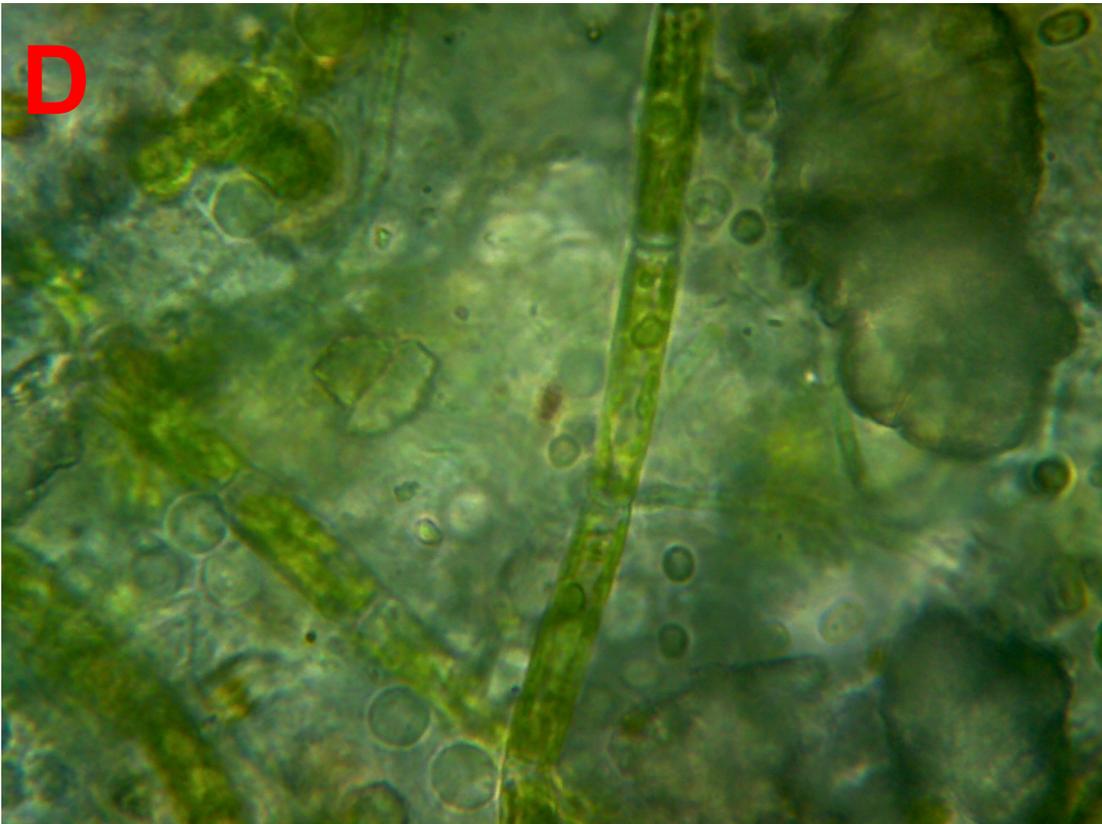
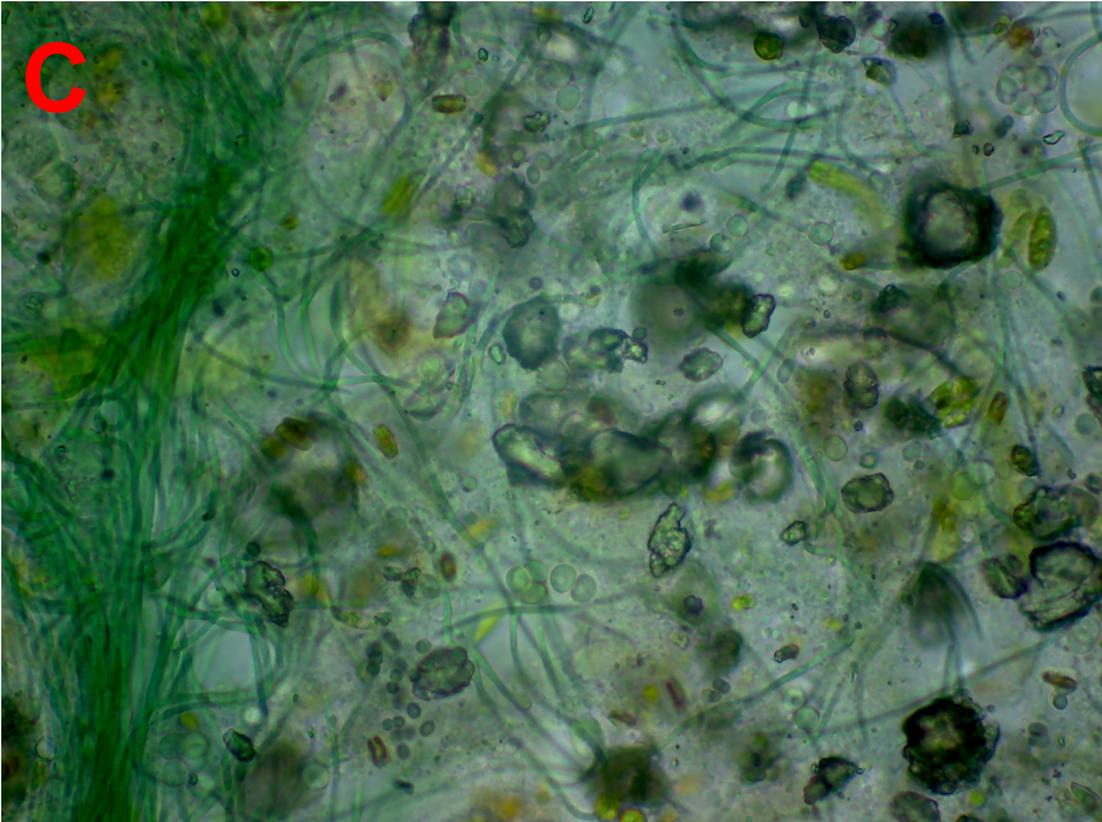
El uso de este material en la Enseñanza media puede ser muy útil en la elaboración de preparaciones microscópicas de bajo coste para la observación del microbioma animal, cuyos últimos estudios han determinado importantes beneficios para la salud animal y humana (Carrascosa, 2011; Maier et al., 2018; Levin et al., 2017). También puede ser muy útil su empleo, tomando las medidas pertinentes de higiene y control, en estudios básicos de microbiología, caso de la detección de organismos coliformes, bacterias sulfito reductoras o bacterias con actividad ureásica (López, 2011a y 2011b; López et al., 2010; López y Boronat, 2018b).



**FIGURA 18.** Imágenes al microscopio de campo claro de un **raspado de biofilm microbiano presente sobre las paredes internas del acuario** del centro de estudios. (A) Objetivo 10x. (B) Objetivo 40x. (C) Objetivo 10x. (D) Objetivo 40x. (E-F) Objetivo 40x. En la imagen A se observa una visión general del sistema, con material mucilaginoso que alberga inclusiones densas y oscuras de materia orgánica. De la misma sobresalen nemátodos acuáticos (1) y rotíferos (2) (animales pseudoacelomados microscópicos). La imagen B pone de manifiesto el interior de la masa mucilaginosa que constituye el biofilm microbiano, destacándose en primer plano un microalga cuyo interior está dominado por masas de color verde fotosintéticas, los cloroplastos. La imagen C ilustra la precipitación de materia mineral entre la masa mucilaginosa. Se aprecian masas filamentosas de color verde oscuro, integrantes del reino *Moneras*, las cianobacterias. El detalle de una región de ese mucílago queda registrado en la imagen D, donde se destacan poblaciones de microalgas fotosintéticas y material particulado indiferenciado. Las figuras E y F muestran detalles de la arquitectura externa e interna de rotíferos (*Filodina* sp)., donde se pueden apreciar las bandas ciliadas que rodean la cavidad bucal (imagen F), así como el conjunto articulado y masticador del animal, el mástax, a continuación de la boca dentro de la región faríngea (imagen E).

El uso de este material en la Enseñanza media puede ser muy útil en la elaboración de preparaciones microscópicas de bajo coste para la observación de comunidades microscópicas y las relaciones tróficas entre sus integrantes. Se recomienda para alumnos de primer curso de enseñanza media como medio de estimulación, motivación y acercamiento incipiente hacia las Ciencias Naturales.

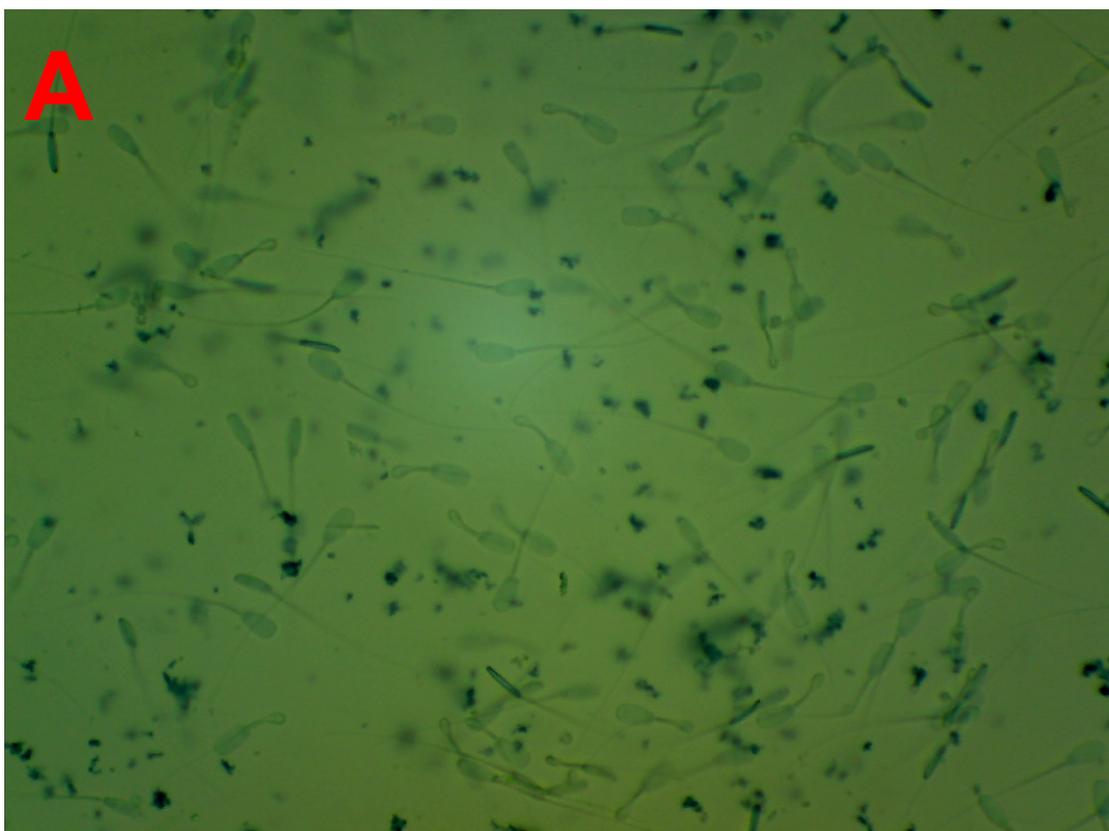






**FIGURA 19.** Imágenes al microscopio de campo claro de una **suspensión de espermatozoides de cerdo** procedentes de un vial para inseminación, teñidos con Azul de metileno. (A) Objetivo 10x. (B) Objetivo 40x. Los espermatozoides son células sexuales diferenciadas que tienen la finalidad de desplazarse por el tracto reproductor femenino hasta fecundar el óvulo. Se destacan en su estructura tres partes: (1) la cola o flagelo, responsable de la movilidad, (2) el cuello o zona intermedia, que proporciona la energía para el movimiento de la célula gracias a la presencia de gran cantidad de mitocondrias y (3) la cabeza, en cuyo interior se dispone el núcleo provisto de la mitad de la dotación cromosómica.

El uso de este material en la Enseñanza media puede ser muy útil en la elaboración de preparaciones microscópicas de bajo coste para la observación de células eucariotas. Se recomienda su uso para alumnos de tercer curso de enseñanza media como complemento al estudio de la reproducción humana, mostrando este gameto similitud con el del hombre.



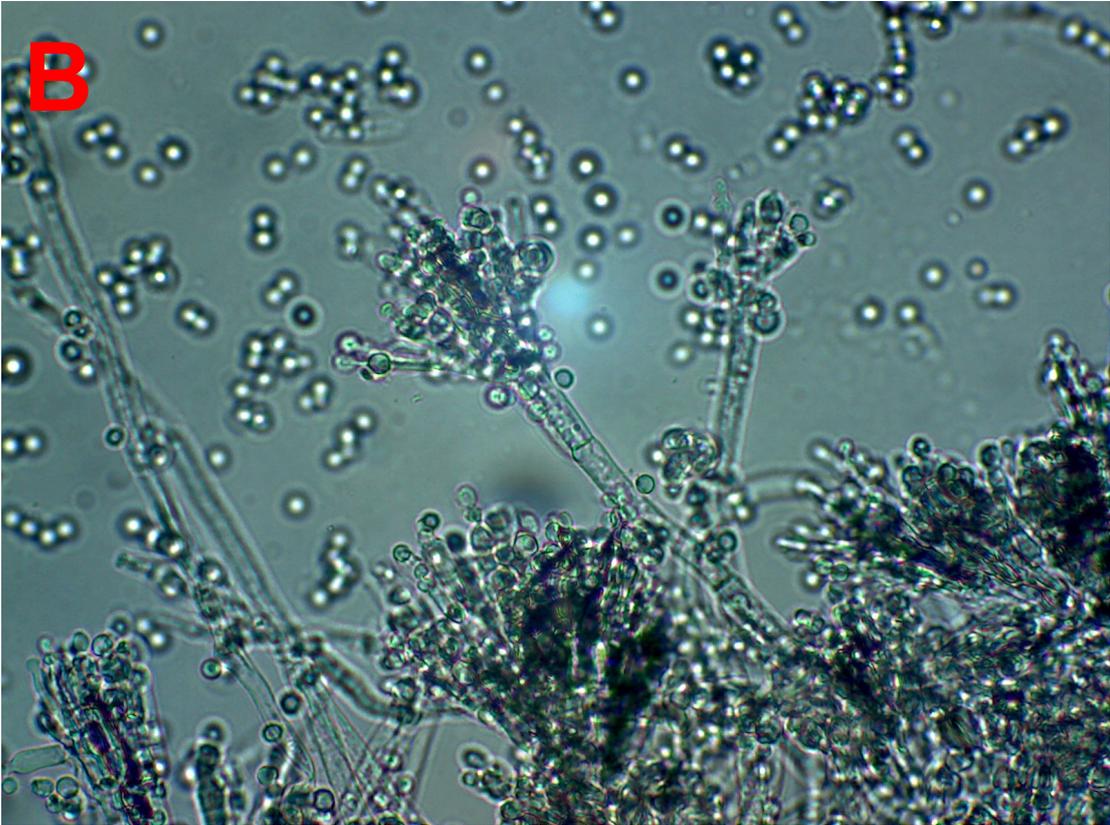
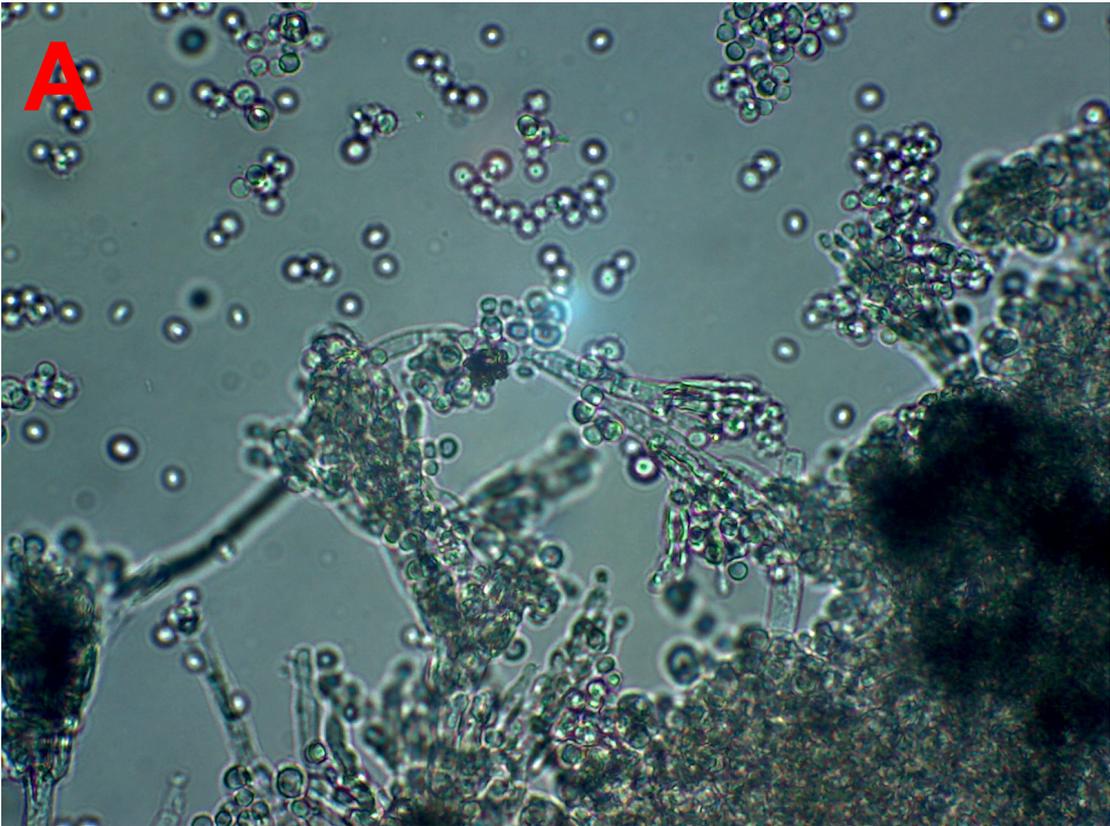
**FIGURA 20.** Imágenes al microscopio de campo claro de **un proceso osmótico en células de epidermis de cebolla.** (A-B) Objetivo 40x. La ósmosis se define como el proceso físico por el cual cuando se ponen en contacto dos disoluciones de distintas concentraciones separadas por una membrana semipermeable, se produce un flujo de agua desde la disolución más diluida a la más concentrada hasta igualarla. En el caso de la célula vegetal, los choques osmóticos se ven reflejados en la estructura de las organelas internas, ya que la pared vegetal es rígida y no se ve afectada por estos cambios. En la imagen A se pone de manifiesto la estructura vegetal de un epitelio de cebolla: Células poliédricas provistas de núcleo (eucariotas) y una importante pared vegetal. No obstante, cuando un trocito de epitelio de cebolla se pone en contacto con una disolución saturada de cloruro sódico (6%), se produce una migración de agua desde el interior celular hasta el exterior, con el objetivo de igualar la concentración. La membrana plasmática actúa como membrana semipermeable de paso de agua. Puede ponerse de manifiesto, en la imagen B, como la vacuola vegetal sufre proceso de encogimiento por pérdida de volumen acuoso.

El uso de este material en la Enseñanza media puede ser muy útil en la elaboración de preparaciones microscópicas de bajo coste para la observación de células eucariotas. Se recomienda su uso para alumnos de cuarto curso de enseñanza media, así como discentes de bachillerato, como iconografía del proceso osmótico en la célula y su repercusión en la vida.



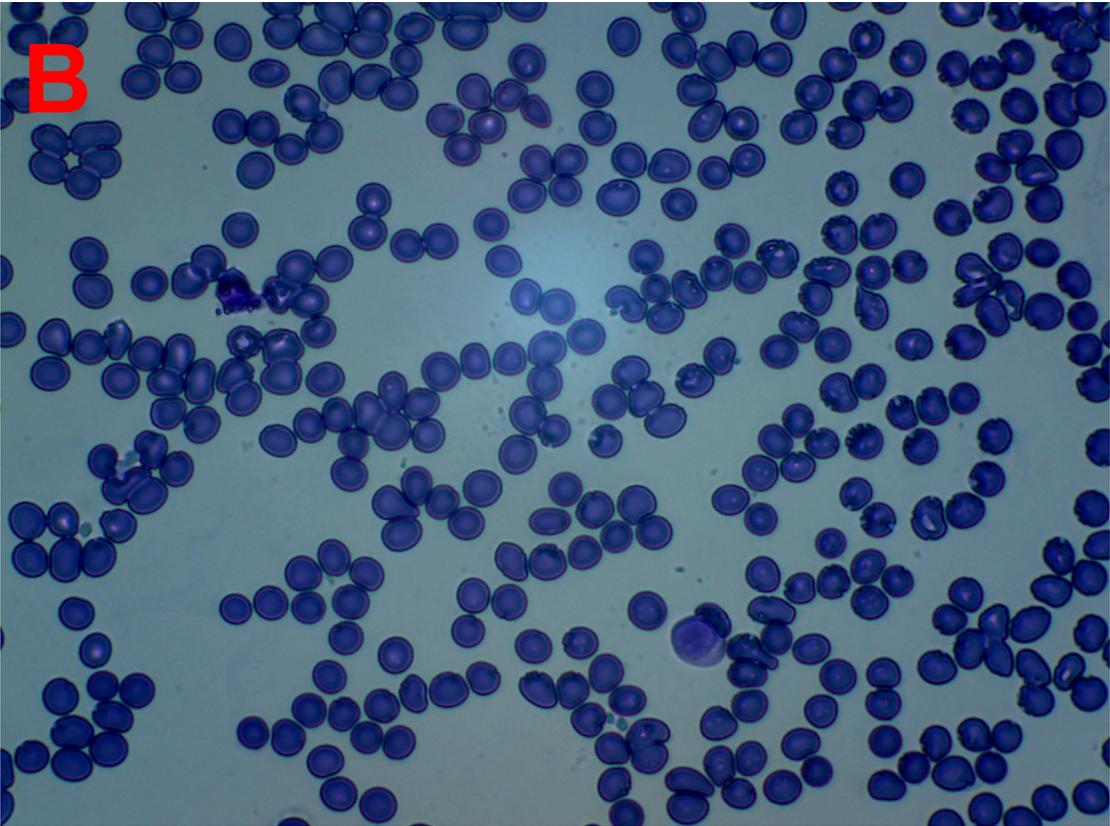
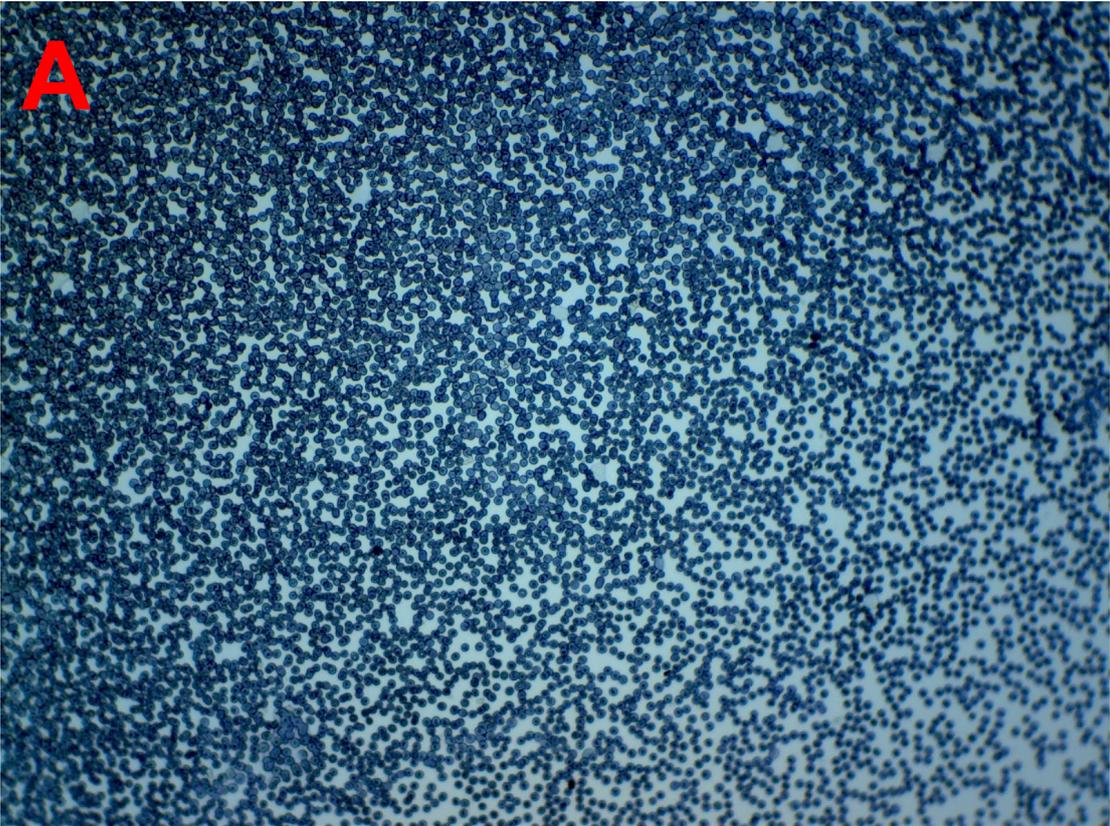
**FIGURA 21.** Imágenes al microscopio de campo claro de **conidióforos y esporas de *Penicillium* sp.** (A-B) Objetivo 40x. *Penicillium* comprende un género de hongos imperfectos de distribución cosmopolita. Son los denominados mohos verdes y azules que frecuentemente encontramos en los cítricos, en los quesos del frigorífico (como es este caso), así como en otros alimentos contaminados con sus esporas. Fue precisamente *P. notatum*, el hongo contaminante de un cultivo de *Staphylococcus* sp., quien condujo al descubrimiento de la penicilina (Alexopoulos y Mims, 1985). El micelio de este hongo produce conidióforos simples, como el que puede observarse en las imágenes A y B de esta figura 19, largos y erectos, con fiálides ramificadas a modo de pincel; recibiendo todo el conjunto la denominación de penicilio. La ramificación terminal múltiple del conidióforo termina en un grupo de fiálides que sostienen largas cadenas de conidios. Los conidios son ovalados, en este caso, de coloración verdosa. Se aconseja la lectura clásica de descripción de este género llevada a cabo por D. José Loustau (1950).

El uso de este material en la Enseñanza media puede ser muy útil en la elaboración de preparaciones microscópicas de bajo coste para la observación de células eucariotas. Se recomienda el uso de este tipo de preparaciones para todos los alumnos de la enseñanza media, como medio de observación de las características del reino Hongo, así como los mecanismos de reproducción en este grupo.



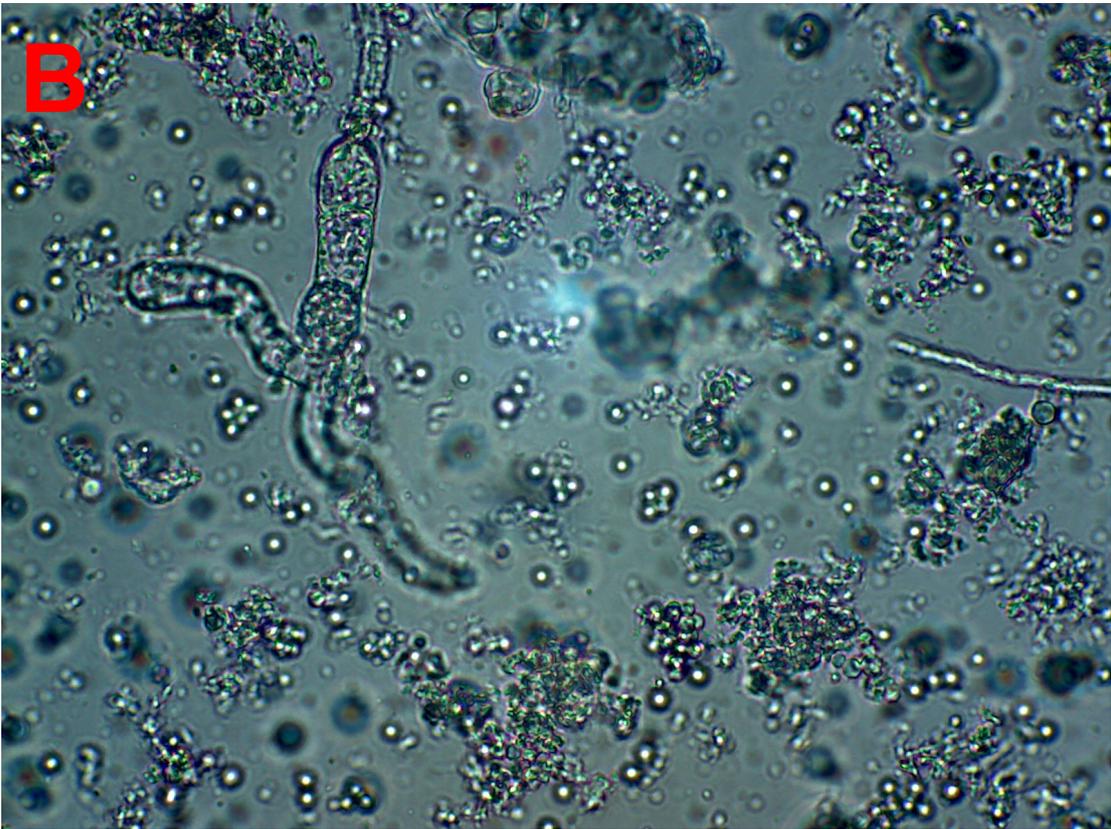
**FIGURA 22.** Imágenes al microscopio de campo claro de un **frotis de sangre humana**. (A) Objetivo 10x. (B) Objetivo 40x. La sangre es un tejido conectivo muy especial formado por una fase intercelular líquida, el plasma, y otra sólida, formada por distintos tipos de células, los glóbulos y fragmentos de células (las plaquetas). Las células más abundantes son los glóbulos rojos (sinónimos de hematíes o eritrocitos). Constituyen el 40% del volumen sanguíneo (4.2-5.8 millones por microlitro de sangre) y su función principal es el transporte de gases (sobretudo el oxígeno) unidos a la hemoglobina. En abundancia le siguen los glóbulos blancos o leucocitos (4.0-11 mil por microlitro de sangre). Son las células de defensa y, dependiendo de su función encontramos diversos tipos: linfocitos, monocitos-macrófagos, granulocitos (neutrófilos, basófilos, eosinófilos). Para finalizar, fragmentos celulares implicados en la hemostasia, las plaquetas o trombocitos. Su número oscila entre los 150-400 mil por microlitro de sangre. Son restos procedentes de células de la médula ósea, los megacariocitos.

El uso de este material en la Enseñanza media puede ser muy útil en la elaboración de preparaciones microscópicas de bajo coste para la observación de células eucariotas. Se recomienda al profesorado la llamada de atención de la ausencia de núcleo en el eritrocito humano, de ahí la refringencia que puede visualizarse en la parte central del mismo. Es muy espectacular para los alumnos este tipo de práctica y se encuentran muy motivados para su elaboración. Se aconseja material estéril (lanceta y portaobjetos). El procedimiento es sencillo: (1) gota de sangre en un extremo de un portaobjetos, (2) extensión sobre el porta con un cubreobjetos, (3) secado, (4) fijación con metanol 1 minuto, (5) secado, (6) tinción diferencial con Giemsa durante 1 minuto (o violeta de genciana en su defecto) para su conservación.



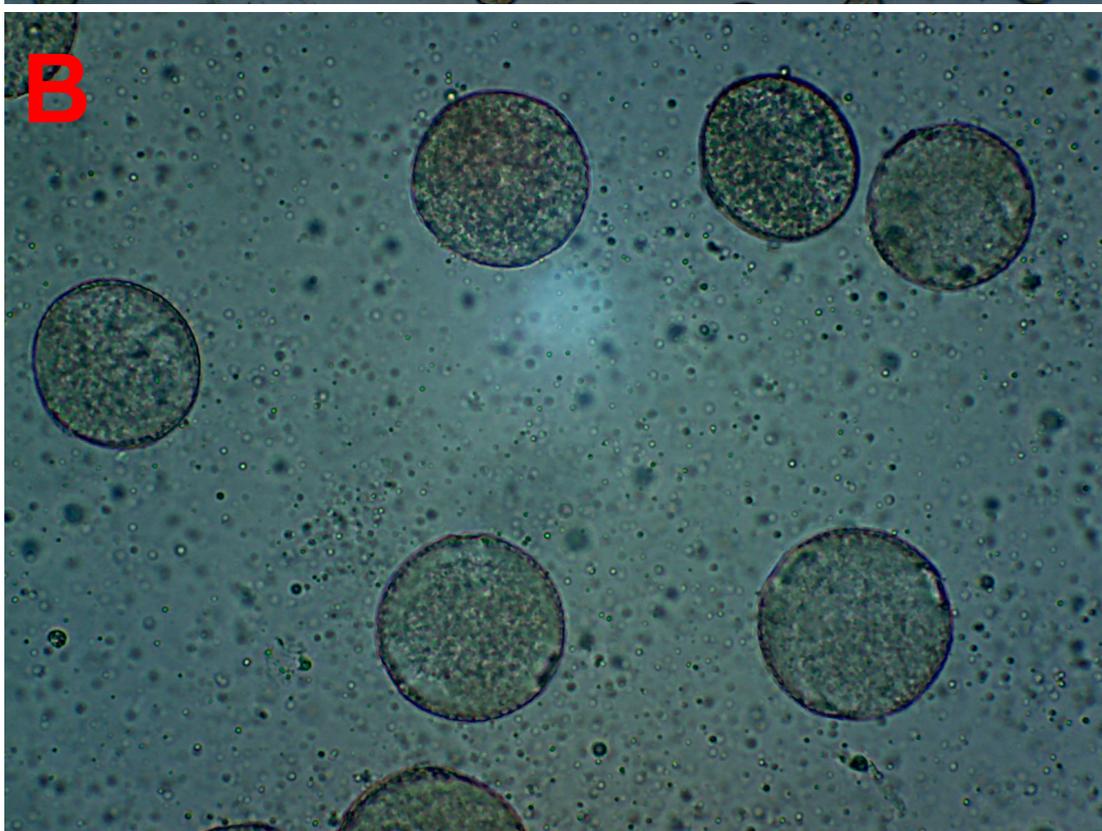
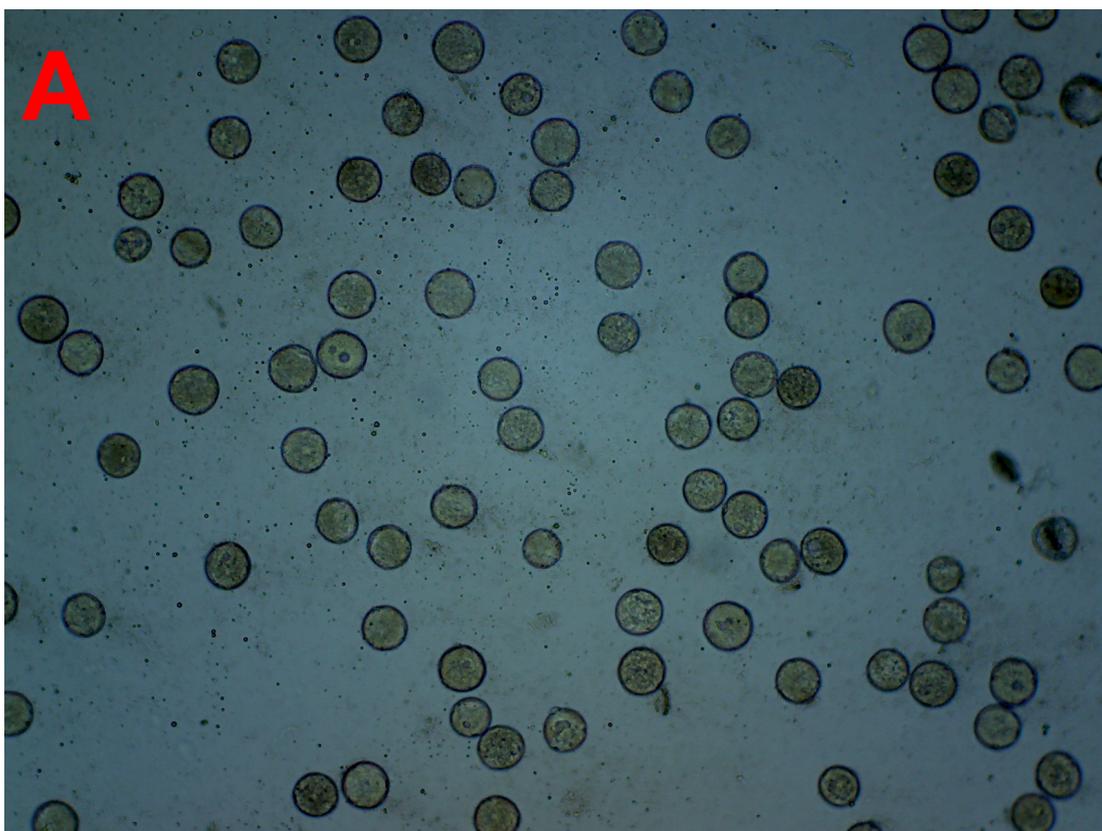
**FIGURA 23.** Imágenes al microscopio de campo claro de **conidióforos y esporas de *Penicillium* sp. sobre queso azul** (A-B) Objetivo 40x. *Penicillium roqueforti* es el hongo utilizado en la fabricación del queso especificado en el epíteto de la especie, el Roquefort. La observación correcta de los esporangios portadores de las esporas es difícil, consecuencia de la presencia de material particulado que ofrece el precipitado de proteína que constituye el queso, así como la máxima presencia de esporas libres. No obstante, se observan las hifas que colonizan el interior del queso y lo aromatizan, así como una importante masa de células de dispersión, las esporas, que dan color y singularidad al alimento lácteo. Para más información sobre el género *Penicillium*, ver Figura 21.

El uso de este material en la Enseñanza media puede ser muy útil en la elaboración de preparaciones microscópicas de bajo coste para la observación de células eucariotas. Se recomienda el uso de este tipo de preparación para todos los alumnos de la enseñanza media, como medio de observación de las características del reino Hongo, así como los mecanismos de reproducción en este grupo.



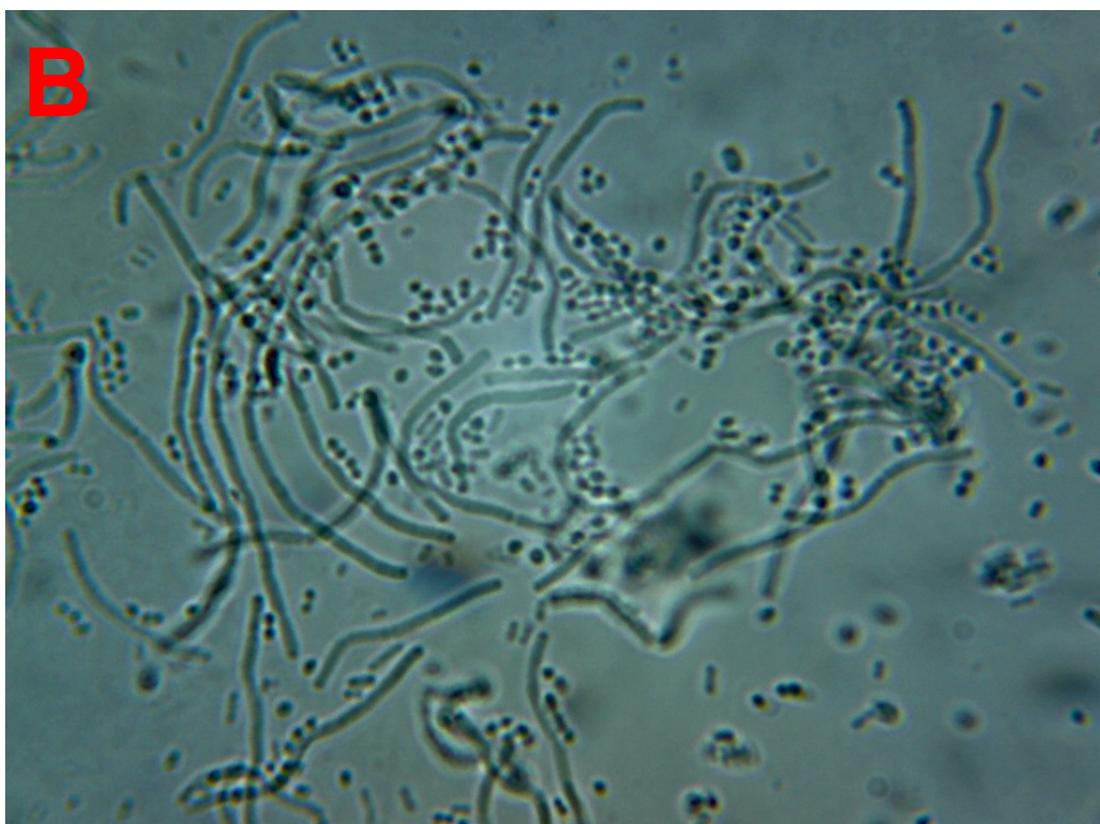
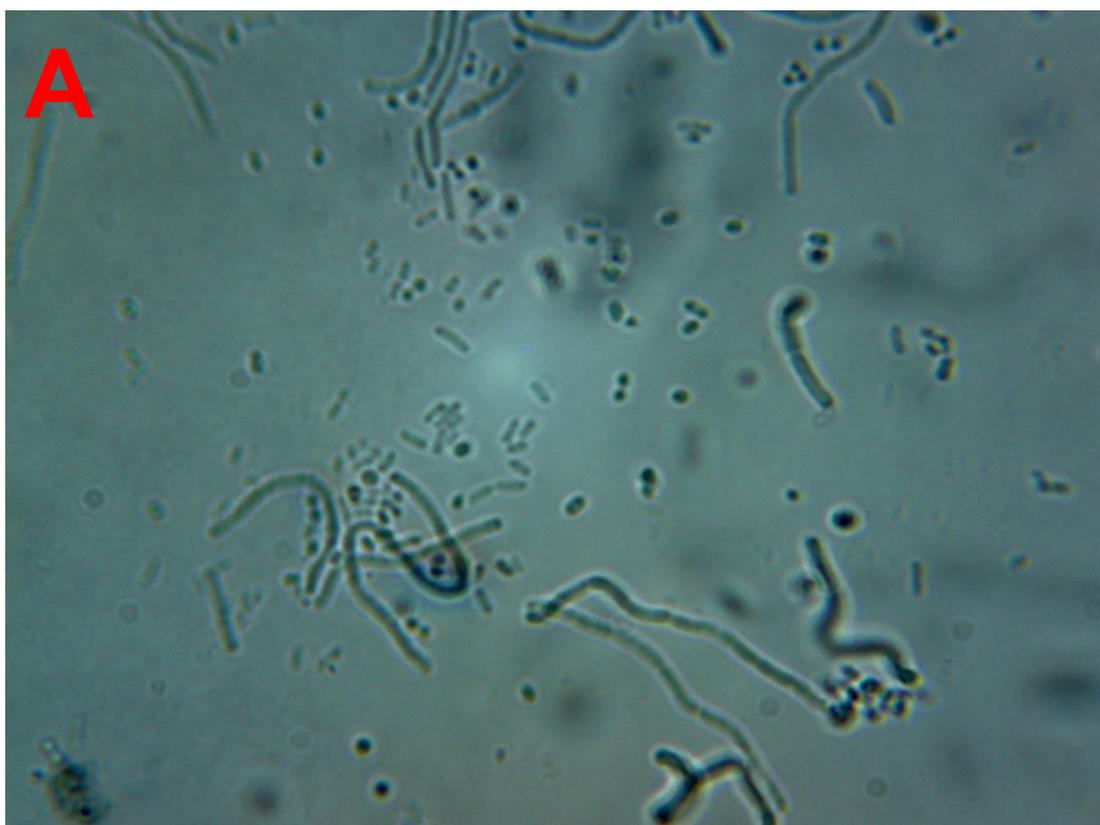
**FIGURA 24.** Imágenes al microscopio de campo claro de **granos de polen de *Brachychiton populneus*** (árbol botella) recogidos en las inmediaciones del centro de estudios el 30 de mayo de 2018. (A) Objetivo 10x. (B) Objetivo 40x. Puede comprobarse el aspecto globular del polen de esta especie de angiosperma, no mostrando estructuras anejas que le ayuden a la dispersión. Para lograr que esta estructura llegue a las inmediaciones del pistilo es necesario la ayuda de insectos portadores (entomofilia). Este tipo de polen dispone de material en superficie pegajoso, favoreciendo su esparcimiento unido a diversas partes del cuerpo de los animales polinizadores.

El uso de este material en la Enseñanza media puede ser muy útil en la elaboración de preparaciones microscópicas de bajo coste de organismos complejos, así como complemento de estudio de la reproducción en el reino *Plantae*. La observación del alumnado de este tipo de estructuras puede abrir el debate en el aula comparando este mecanismo de dispersión de angiospermas, con lo observado en la Figura 16 (polen de pino, gimnospermas), basado en la producción masiva o reducida de granos de polen, o si cabe una diferente morfología adaptada a los diferentes sistemas de polinización (caso de la necesidad de insectos para llevarlo hacia un pistilo o carpelo).



**FIGURA 25.** Imágenes al microscopio de campo claro de **bacterias sulfito reductoras de crecimiento anaeróbico**. (A-B) Objetivo 100x e inmersión en aceite. Hace 3500 millones de años un nuevo gas apareció en la atmósfera, el oxígeno. Los grupos microbianos existentes hasta ese momento sufrieron un ataque espectacular. Muchos murieron por la presencia de este gas oxidante, otros quedaron ocultos (en lugares recónditos donde el oxígeno no podría acceder) y, los últimos, sufrieron procesos evolutivos hasta aceptarlo en su metabolismo. Las imágenes muestran la presencia de morfotipos microbianos desarrollados en tubos de anaerobiosis tras el análisis de la reducción de sulfito y la precipitación de metales pesados. Estos morfotipos derivarían de aquellas formas microbianas primitivas que escaparon de la acción oxidante del nuevo gas generado (López, 2008; López et al., 2010; López y Boronat, 2016; López y Boronat, 2017; López y Boronat, 2018a). Se presentan formas alargadas, filamentosas, es decir estructuras descompensadas fruto de una situación de estrés generada por condiciones de anoxia en el crecimiento.

El uso de este material en la Enseñanza media puede ser muy útil en la elaboración de preparaciones microscópicas de bajo coste de organismos procariotas. La observación del alumnado de este tipo de estructuras puede abrir el debate en el aula, tras su comparación con estructuras microbianas simples (bacilos).



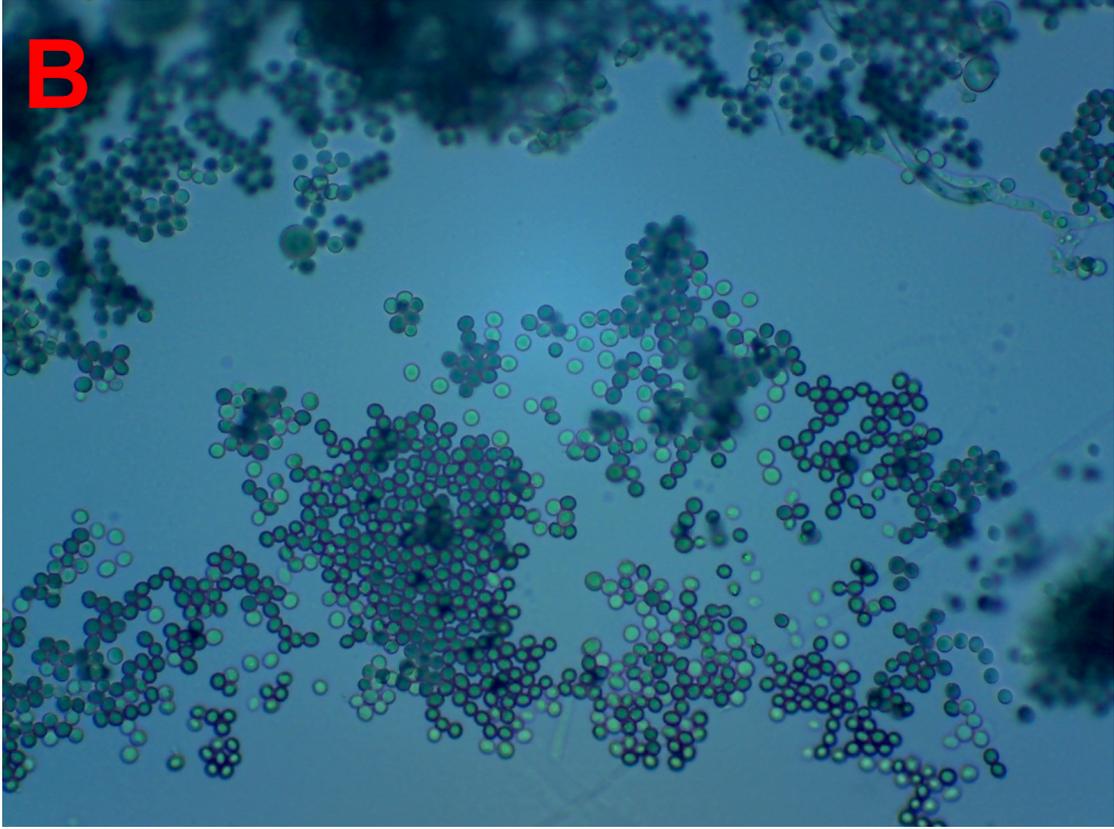
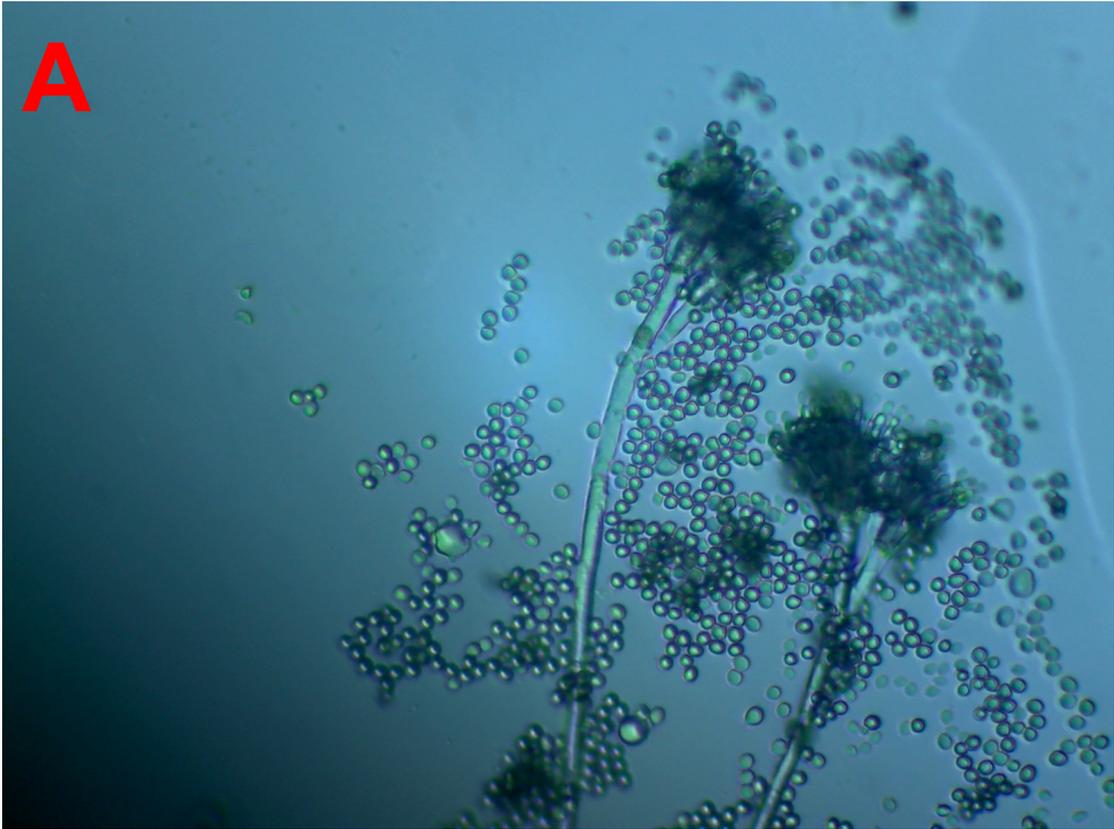
**FIGURA 26.** Imágenes al microscopio de campo claro de *Artemia salina* L. (A-B) Objetivo 4x. *Artemia* es un crustáceo que habita en aguas con elevadas concentraciones de sal. Estas larvas, también conocidas como “camarón de la salmuera”, fueron capturadas por alumnos en las lagunas de las salinas que la empresa Salinera Española dispone en el Parque Regional de San Pedro del Pinatar (Murcia-España) en abril de 2017. Por su pigmentación rica en carotenoides, es un excelente alimento para peces y vertebrados superiores, caso del flamenco (*Phoenicopterus roseus*), potenciando su color (Hsu et al., 1970; Fox et al., 1969). La imagen A muestra un cadáver de este crustáceo branquiópodo, frente al estadio larvario vivo que recoge la imagen B.

El uso de este material en la Enseñanza media puede ser muy útil en la elaboración de preparaciones microscópicas de bajo coste para la observación de organismos superiores vivos, que constituyen los primeros escalones de redes y cadenas tróficas en ecosistemas marinos y dulceacuícolas. Se recomienda para alumnos de primer curso de enseñanza media como medio de estimulación, motivación y acercamiento incipiente hacia las Ciencias Naturales.



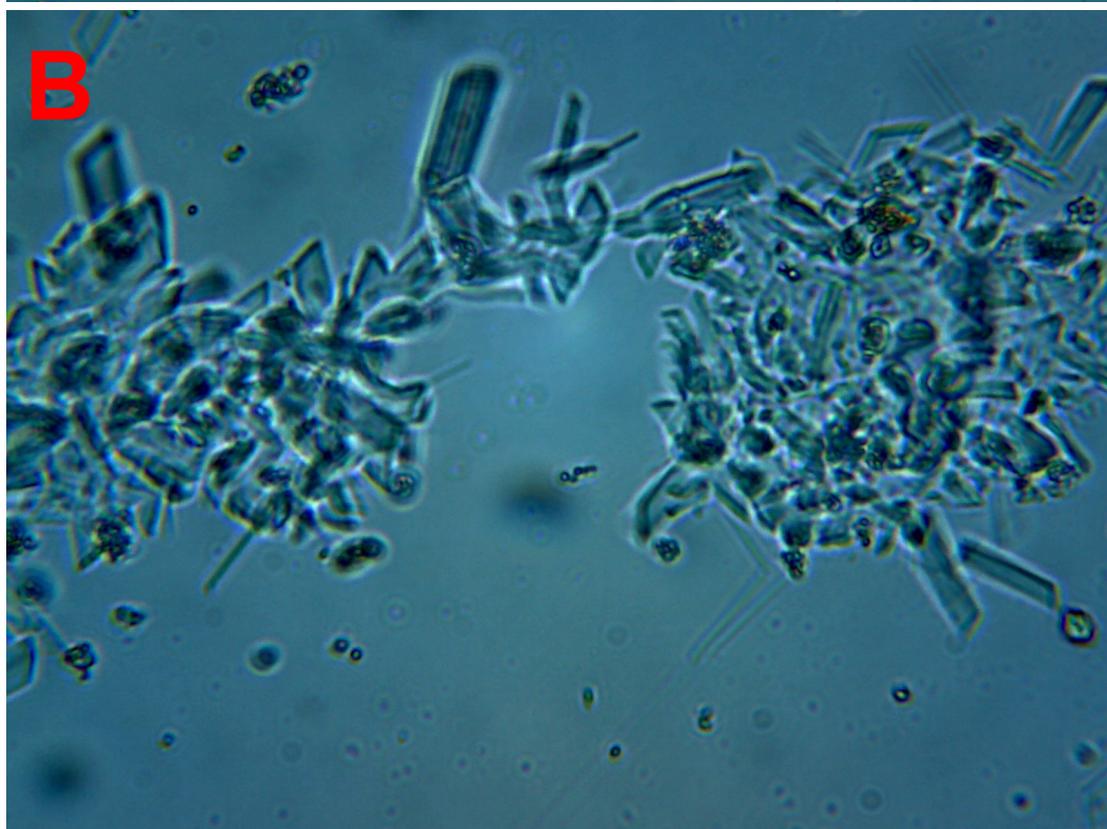
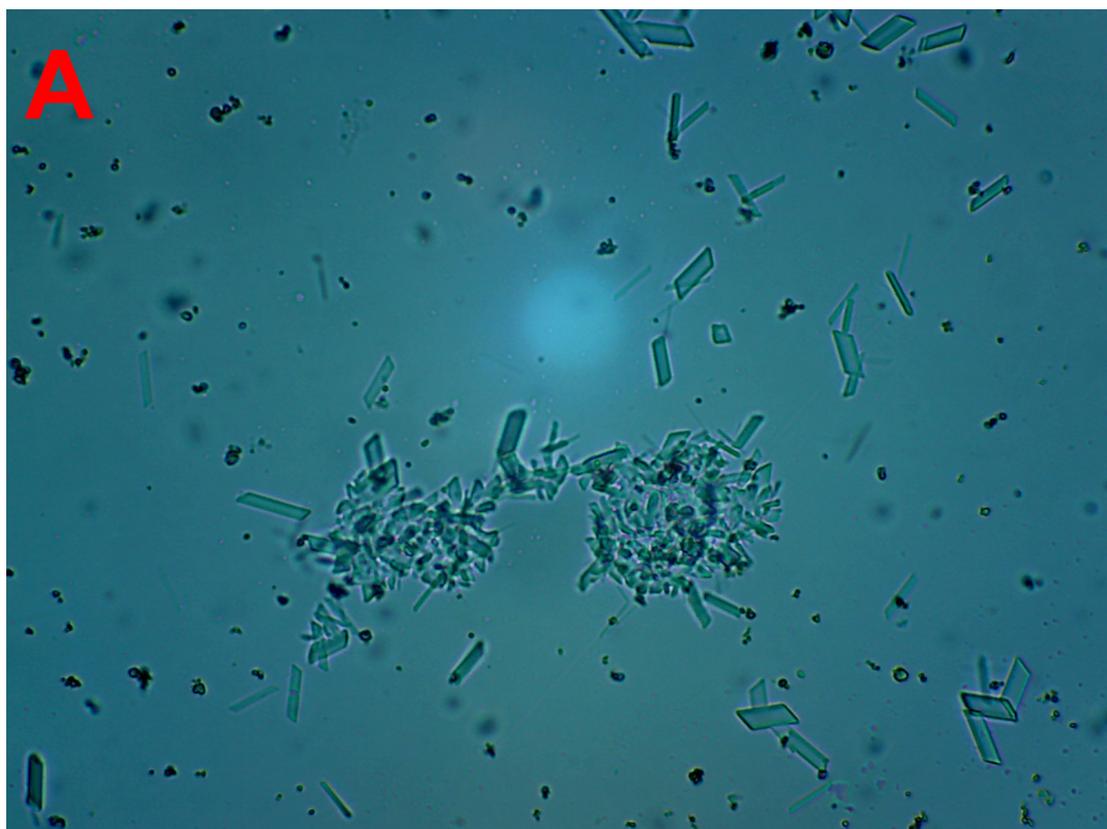
**FIGURA 27.** Imágenes al microscopio de campo claro de **conidióforos y esporas de *Penicillium sp.* sobre pan** (A-B) Objetivo 40x. La presencia de este hongo cosmopolita también es frecuente sobre pan, permitiendo -como consecuencia de sus esporas- una pátina de coloración verdosa. Para más información sobre el género *Penicillium*, ver Figuras 21 y 23. La imagen A muestra conidióforos de este hongo portadores de esporas de coloración verdosa. La imagen B recoge multitud de estas esporas, denotando su morfología esférica y coloración característica.

El uso de este material en la Enseñanza media puede ser muy útil en la elaboración de preparaciones microscópicas de bajo coste para la observación de células eucariotas. Se recomienda el uso de este tipo de preparación para todos los alumnos de la enseñanza media, como medio de observación de las características del reino Hongo, así como los mecanismos de reproducción en este grupo.



**FIGURA 28.** Imágenes al microscopio de campo claro de **una muestra de agua procedente de un lixiviado minero** (A) Objetivo 40x. (B) Objetivo 100x e inmersión en aceite. Las aguas ácidas procedentes de los lavados de la minería muestran una riqueza mineral increíble, como cabe percatarse del análisis de la imagen A. Los colores amarillentos y rojizos del agua la hacen ser rica en minerales como: goethita ( $\text{FeOOH}$ ), hematites ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), jaspe hematítico ( $\text{SiO}_2$ ), jarosita [ $(\text{SO}_4)_2\text{KFe}_3(\text{OH})_6$ ] y melanterita ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) (López-Aguayo et al., 1992). En todos estos lugares mineros es posible hallar microorganismos acidófilos, quimiolitioautótrofos, capaces de utilizar el dióxido de carbono como fuente de carbono y obtener energía para su crecimiento a través de la oxidación del ión ferroso ( $\text{Fe}^{+2}$ ) a férrico ( $\text{Fe}^{+3}$ ). Entre estos microorganismos se incluyen las especies: *Thiobacillus ferrooxidans*, *T. thiooxidans* y *Leptospirillum ferrooxidans* (Kuenen et al., 1992). La imagen B muestra una micrografía donde se pone de manifiesto un precipitado minero asociado a bacterias. Algunos autores (Cernuda, 2004; Giménez et al., 2011; Artola, 2016) están intentando asociar datos químicos y microbiológicos tomados de regiones similares a donde se tomó esta muestra (Corta Brunita, Sierra Minera de la Unión-Cartagena, Murcia-España), como es el caso de la Faja Pirítica en Río Tinto (Huelva) y extrapolarlos como formas de vida –o posible origen de la vida- en otros planetas del Sistema Solar, caso de Marte, de características en superficie similares a las halladas en estas zonas. De acuerdo con estos datos, podemos pensar en lo insólito que es el área de estudio, así como su trascendencia para la historia del origen de la vida sobre la Tierra y la posible vida extinta en otros planetas.

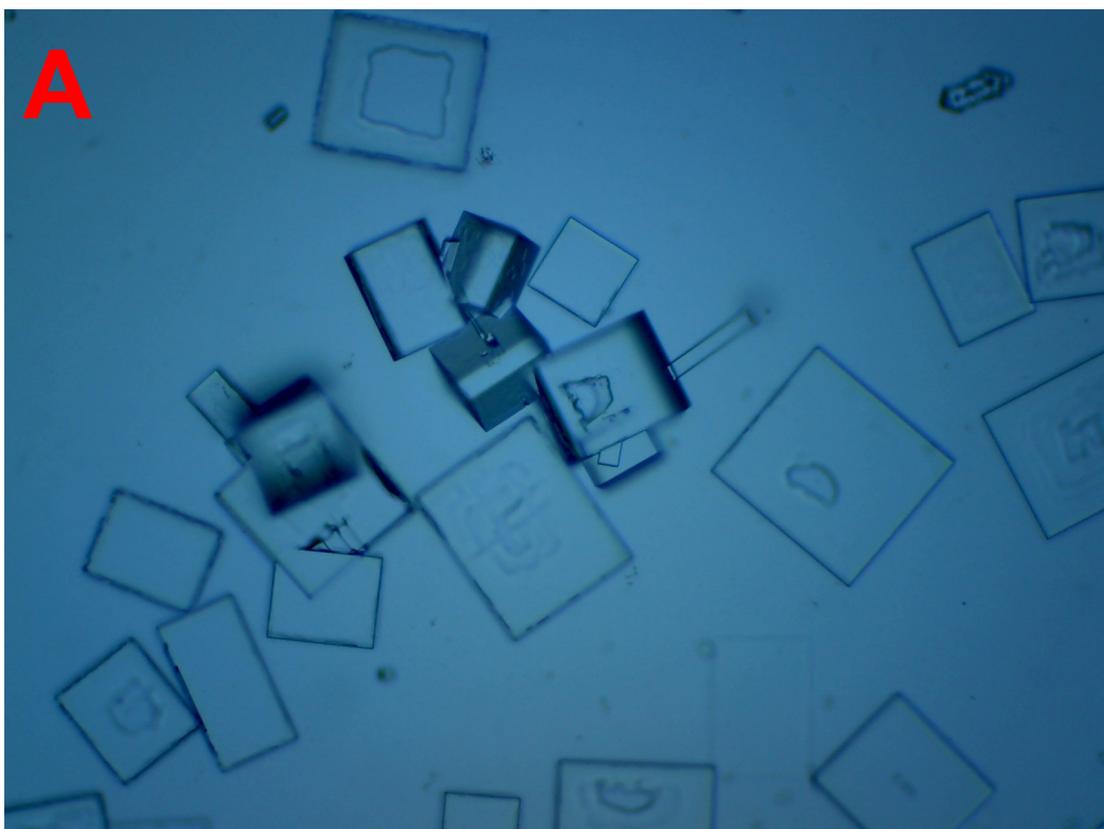
El uso de este material en la Enseñanza media puede ser muy útil en la elaboración de preparaciones microscópicas de bajo coste de organismos procariotas, así como formas cristalinas minerales.



**FIGURA 29.** Imágenes al microscopio de campo claro de **una muestra de agua procedente de una laguna de cristalización de una salinera** (A) Objetivo 40x. (B) Objetivo 100x e inmersión en aceite. Las lagunas de cristalización son características por: la coloración rosada y la precipitación en el fondo de cristales cúbicos de sal. Las imágenes A y B ponen de manifiesto esta segunda cualidad, siendo característicos las formas cúbicas de cloruro de sodio o sal común. Por lo que respecta a la primera de las cualidades, la coloración rosada es debida a la presencia de un microorganismo extremófilo, *Halobacterium salinarium*, el cual presenta un pigmento de naturaleza similar a la rodopsina visual del ojo humano, llamada bacteriorrodopsina (Aguilera et al., 2004; Stoeckenius y Bogomolni, 1982). Se trata de un grupo microbiano quimioheterotrofo aeróbico, con requerimientos nutricionales bastante complejos, teniendo como fuente de carbono y energía los aminoácidos. La disponibilidad de estos pigmentos incorporados a la membrana celular les hace proteger a la célula contra posibles daños fotoquímicos que les puede provocar la intensa radiación solar.

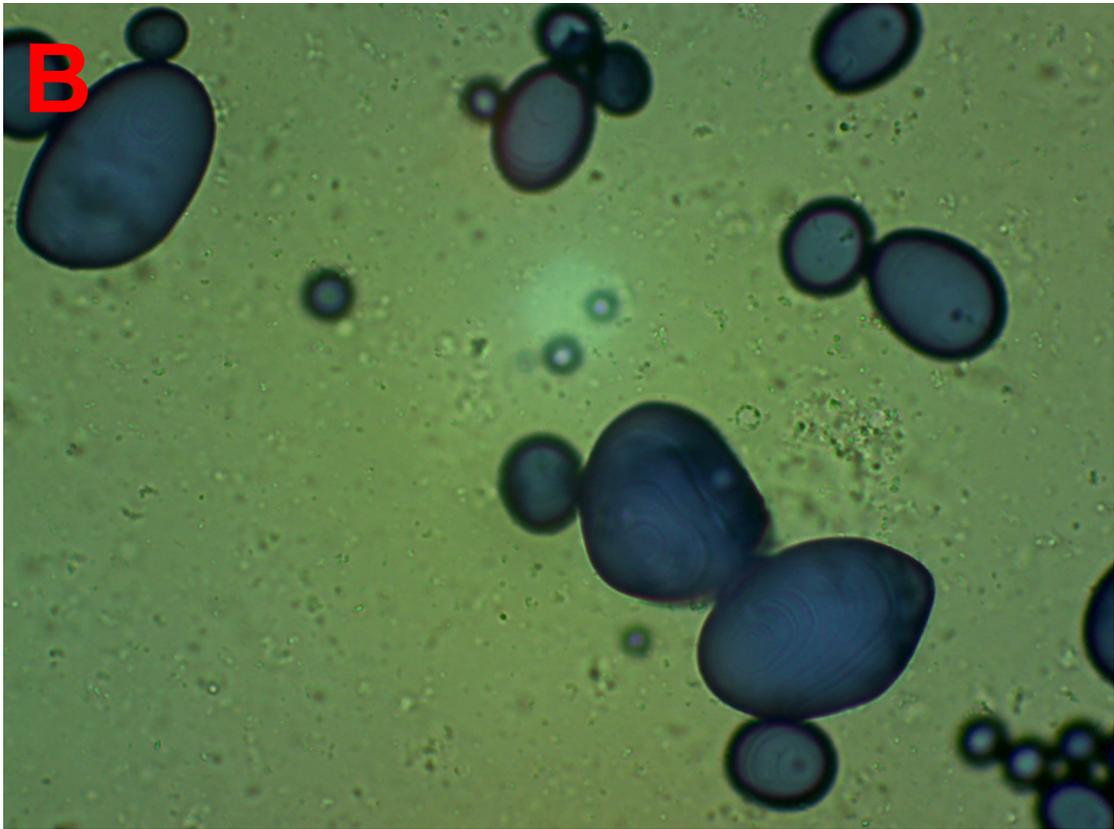
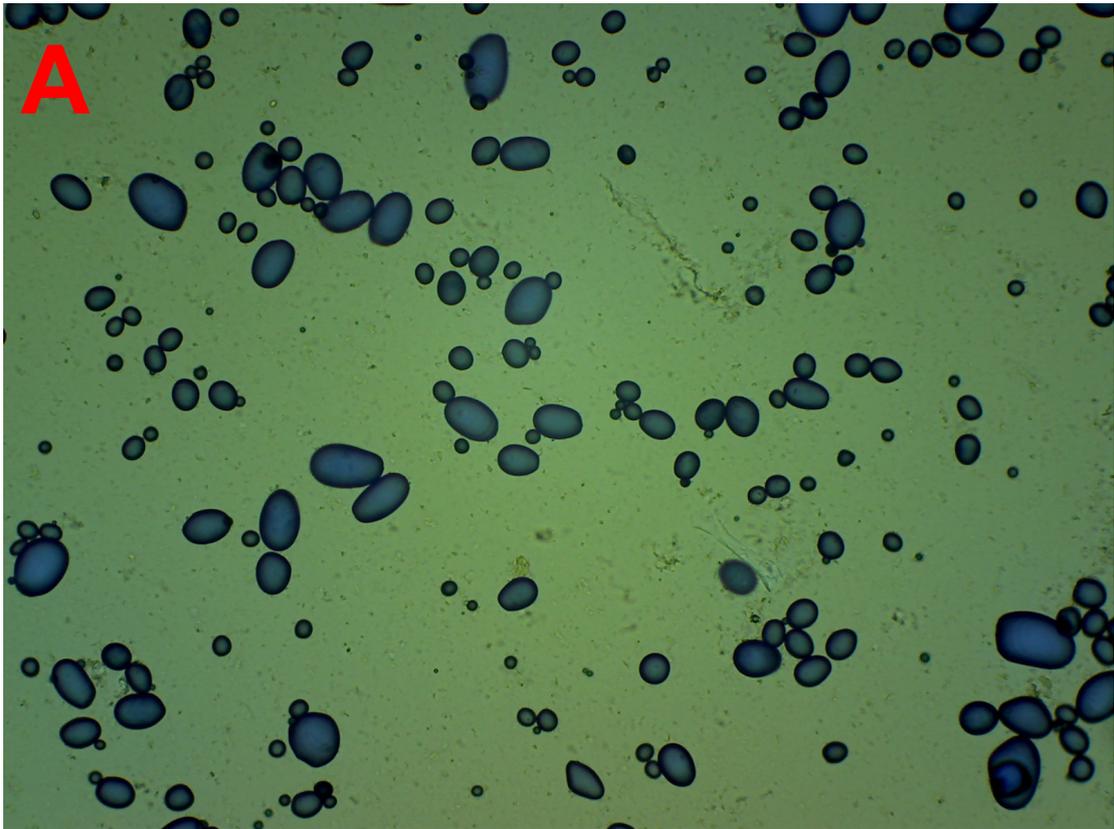
*Halobacterium* sp. puede generar energía en forma de ATP asociada a una nueva fase de fotofosforilación, consistente en un gradiente protónico a través de la membrana plasmática a partir de la luz. A bajas concentraciones de oxígeno son capaces de sintetizar bacteriorrodopsina, una cromoproteína. Esta es capaz de captar la luz y catalizar la transferencia de protones a través de la membrana citoplasmática, originando un gradiente electroquímico utilizado en la síntesis de ATP. Este sistema está asociado a este grupo microbiano, más que para crecer, para prolongar la viabilidad celular (Brock y Madigan, 1991).

El uso de este material en la Enseñanza media puede ser muy útil en la elaboración de preparaciones microscópicas de bajo coste de organismos procariontes, así como formas cristalinas minerales de cloruro de sodio. Se aconseja la lectura de Aguilera et al. (2004) por su gran valor en el conocimiento de la industria salinera y sus pormenores científicos derivados.



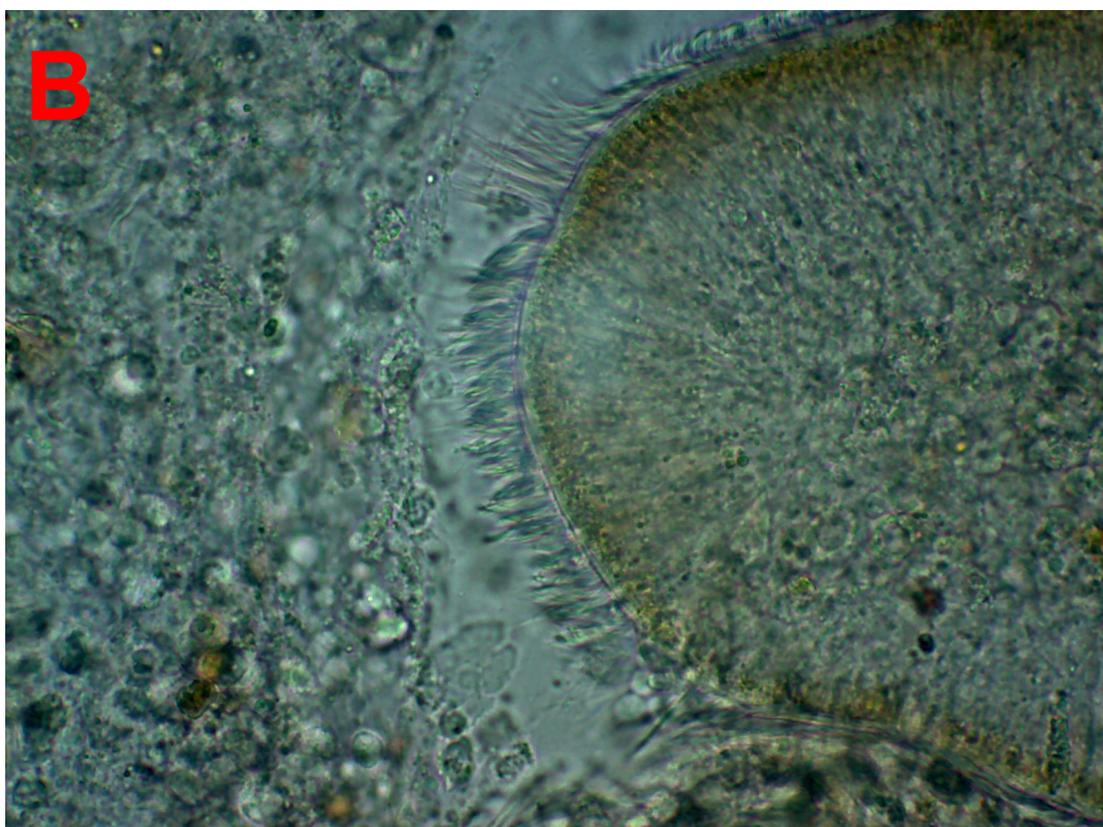
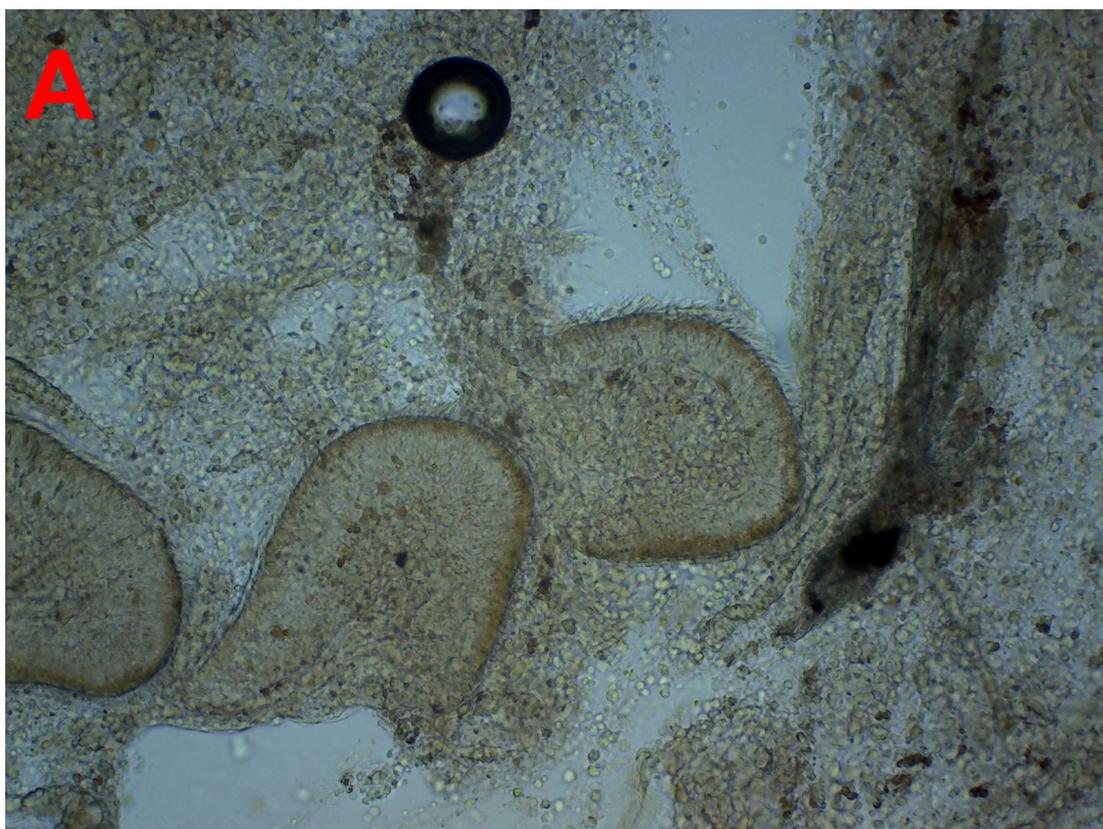
**FIGURA 30.** Imágenes al microscopio de campo claro de **Amiloplastos de patata** teñidos con povidona yodada. (A) Objetivo 10x. (B) Objetivo 40x. Los amiloplastos son un tipo de orgánulos exclusivos vegetales, integrantes del grupo de los leucoplastos o plastos incoloros, cuya función es la reserva del polisacárido almidón o mezcla de los polímeros amilosa y amilopectina (Granados y López, 2003). La reacción que este plasto celular lleva a cabo con la solución tintorial empleada implica la inclusión del yodo en el interior de las hélices que constituyen la amilosa, dando lugar a una coloración violeta. En la imagen B pueden comprobarse los anillos de crecimiento y el depósito del polisacárido de reserva. Como metodología alternativa puede comprobarse, en un tubo de ensayo, cómo la coloración que genera esta reacción física (disolución diluida de almidón de patata en agua, más unas gotas de povidona yodada) desaparece con calor, ya que el aumento de temperatura desestabiliza el yodo introducido en el interior de la molécula helicoidal pasando a la disolución acuosa. Cuando se vuelve a enfriar la mezcla, esta disolución volverá a adquirir la tonalidad violeta intenso, ya que el yodo vuelve a introducirse en la hélice de la amilosa. Si se repite el proceso, puede comprobarse un tipo de reacción cíclica generada por las diferencias térmicas ensayadas.

El uso de este material en la Enseñanza media puede ser muy útil en la elaboración de preparaciones microscópicas de bajo coste de células eucariotas vegetales y sus orgánulos citoplasmáticos, así como reacciones bioquímicas sencillas (en este caso, la reacción de Lugol) para la identificación de principios inmediatos en alimentos.



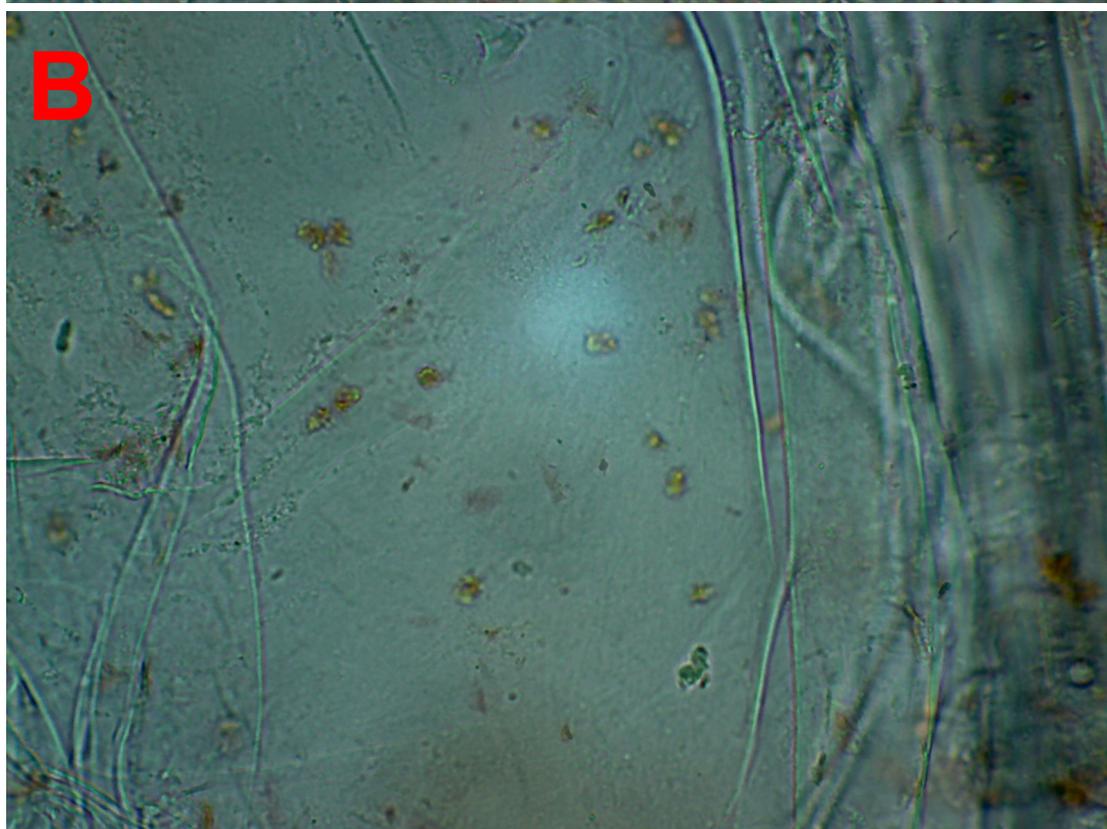
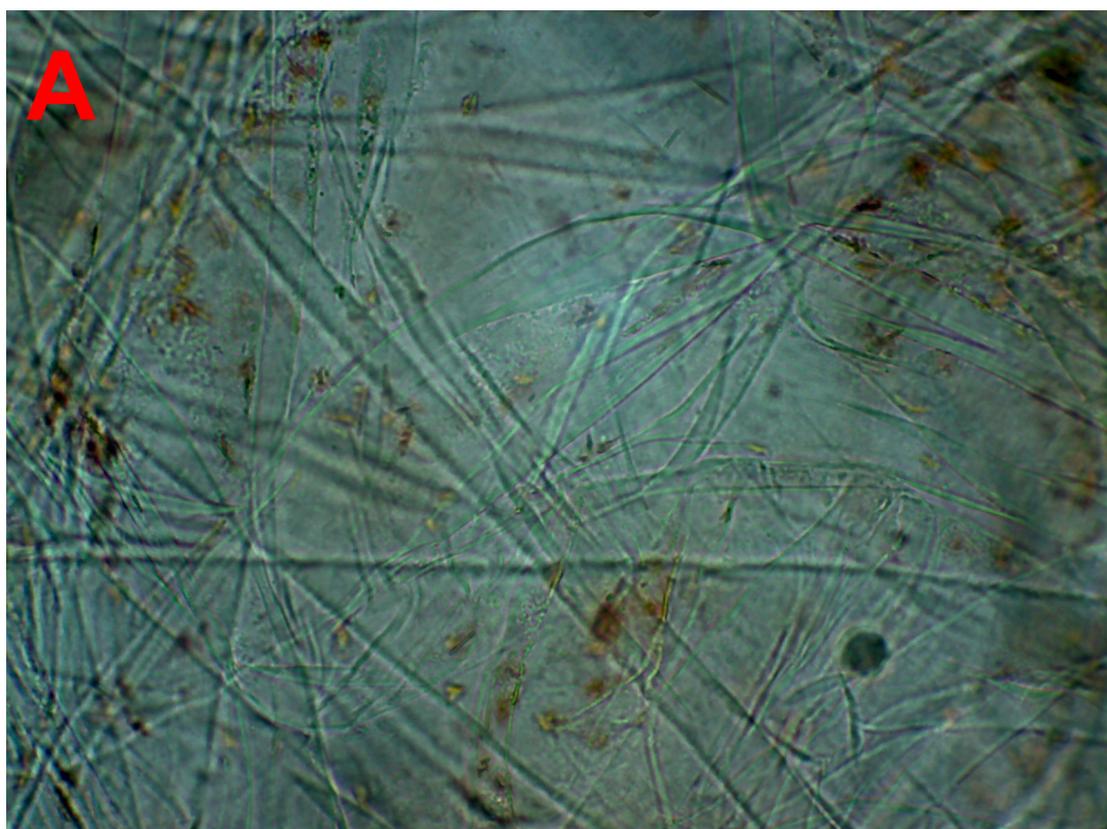
**FIGURA 31.** Imágenes al microscopio de campo claro de **epitelio ciliado de branquias de mejillón** (*Mytilus edulis*). (A) Objetivo 10x. (B) Objetivo 40x. Los cilios de las células que constituyen las branquias de estos moluscos arrastran el agua a través de estas últimas (que funcionan a modo de tamiz). No solo están implicados en agitar el agua para un correcto intercambio de gases. También son responsables del transporte de material particulado y pequeños microorganismos sobre el mucus que tapiza la branquia, hasta llevarlos a la boca donde servirán de alimento al animal (Curtis et al., 2006, página 45).

El uso de este material en la Enseñanza media puede ser muy útil en la elaboración de preparaciones microscópicas de bajo coste de células eucariotas animales in vivo y sus diferenciaciones de membrana. Se aconseja como experiencia alternativa a la disección y estudio de invertebrados (López y Durán, 2008), manteniendo las medidas oportunas de protección a la hora de cortar los músculos, aductor anterior y posterior del mejillón, con la ayuda de un cúter.



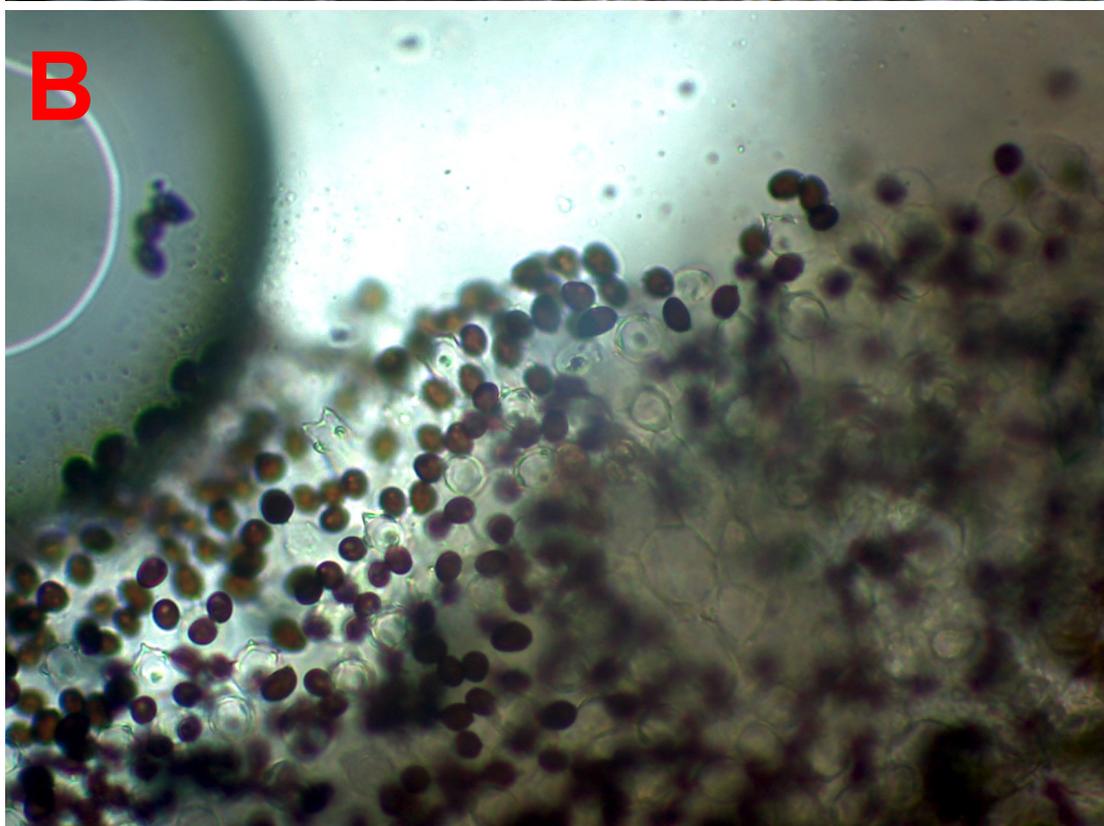
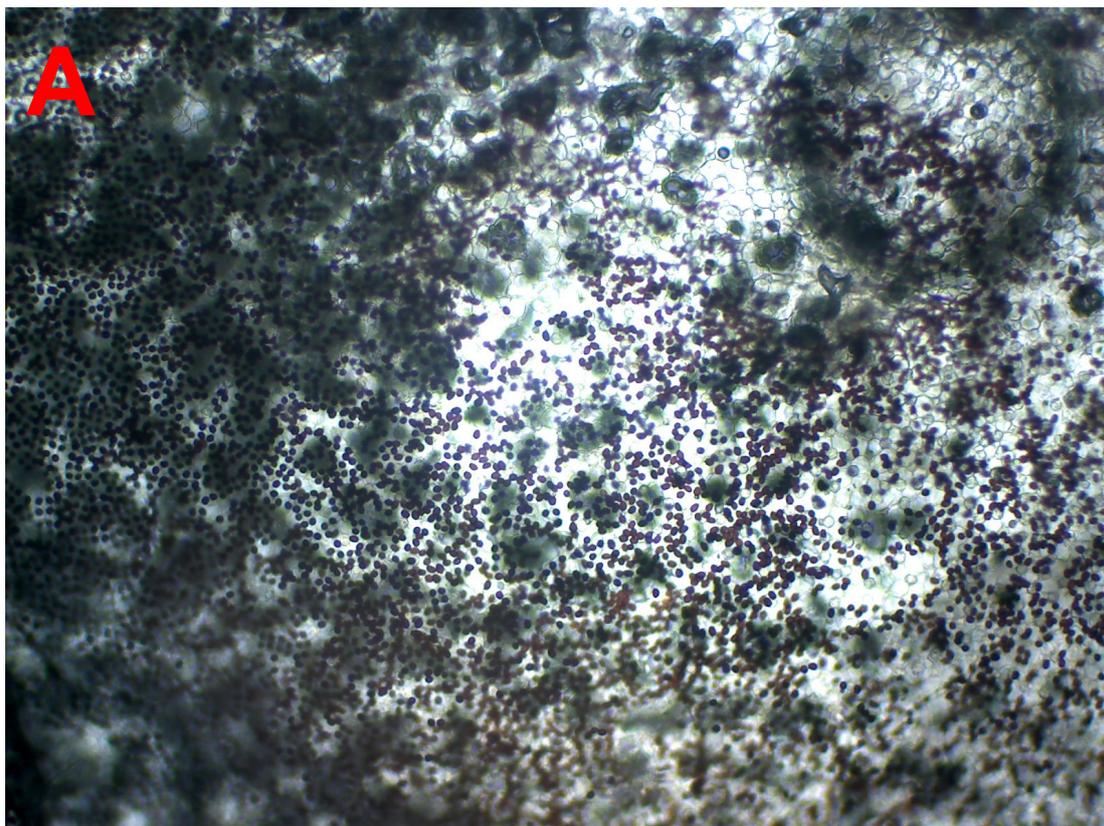
**FIGURA 32.** Imágenes al microscopio de campo claro de **cromoplastos de mesocarpo de la baya de tomate**. (A-B) Objetivo 40x. Estas organelas citoplasmáticas son exclusivas de células vegetales, capaces de almacenar pigmentos de naturaleza carotenoídica (en este caso, licopeno), responsables del color rojo del fruto del tomate. Se observan en estas imágenes, tomadas por alumnos de enseñanza media, los cromoplastos con morfología irregular, a modo de inclusiones citoplasmáticas.

El uso de este material en la Enseñanza media puede ser muy útil en la elaboración de preparaciones microscópicas de bajo coste de células eucariotas vegetales y orgánulos citoplasmáticos. Se aconseja esta preparación en combinación con la visualización de amiloplastos (Figura 30) y cloroplastos (Figura 35).



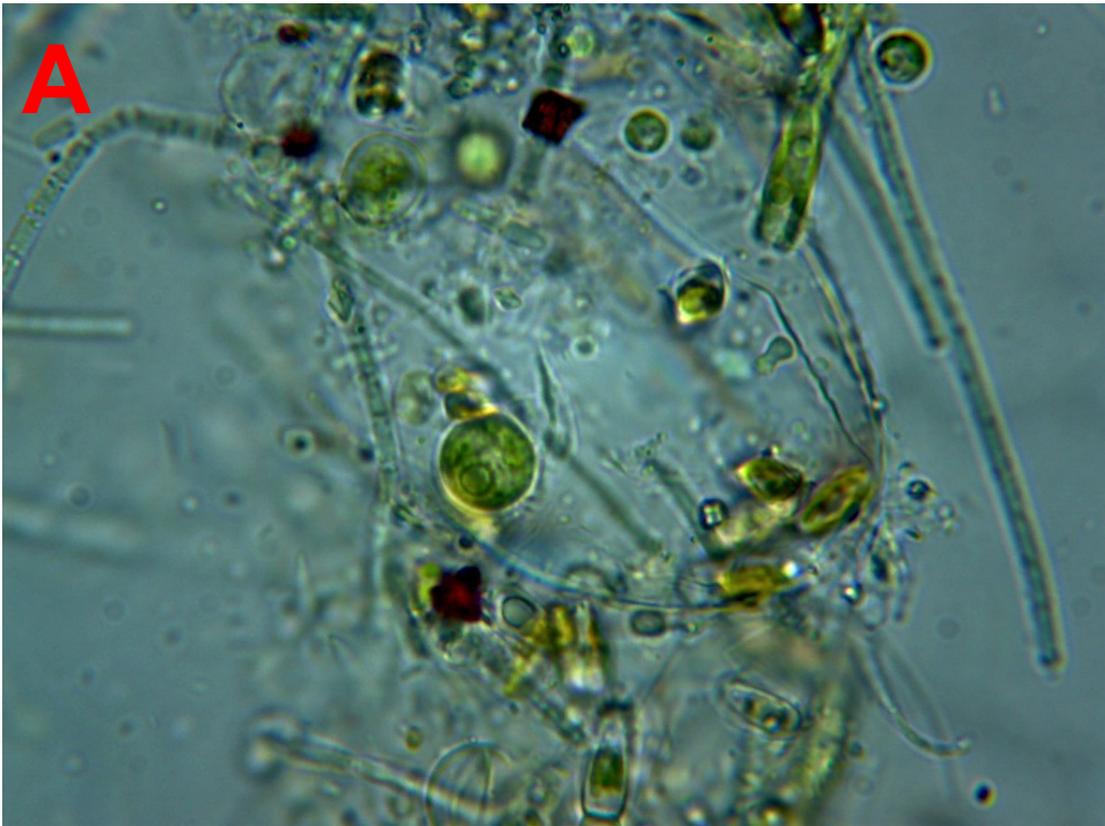
**FIGURA 33.** Imágenes al microscopio de campo claro de **esporas y esporangios del himenio de champiñón** (*Agaricus bisporus*). (A) Objetivo 10x. (B) Objetivo 40x. Las esporas en este hongo se disponen en láminas situadas bajo el sombrero. El himenio está constituido por basidios (estructuras similares a formas fantasmagóricas) provistos de dos esterigmas o prolongaciones que sostendrán a sendas esporas (o basidiosporas) de color marrón intenso. Entre los basidios se encuentran células estériles (globosas), conocidas como cistidios (Guerra et al., 1988, páginas 79-81).

El uso de este material en la Enseñanza media puede ser muy útil en la elaboración de preparaciones microscópicas de bajo coste de células eucariotas fúngicas y estructuras de reproducción.



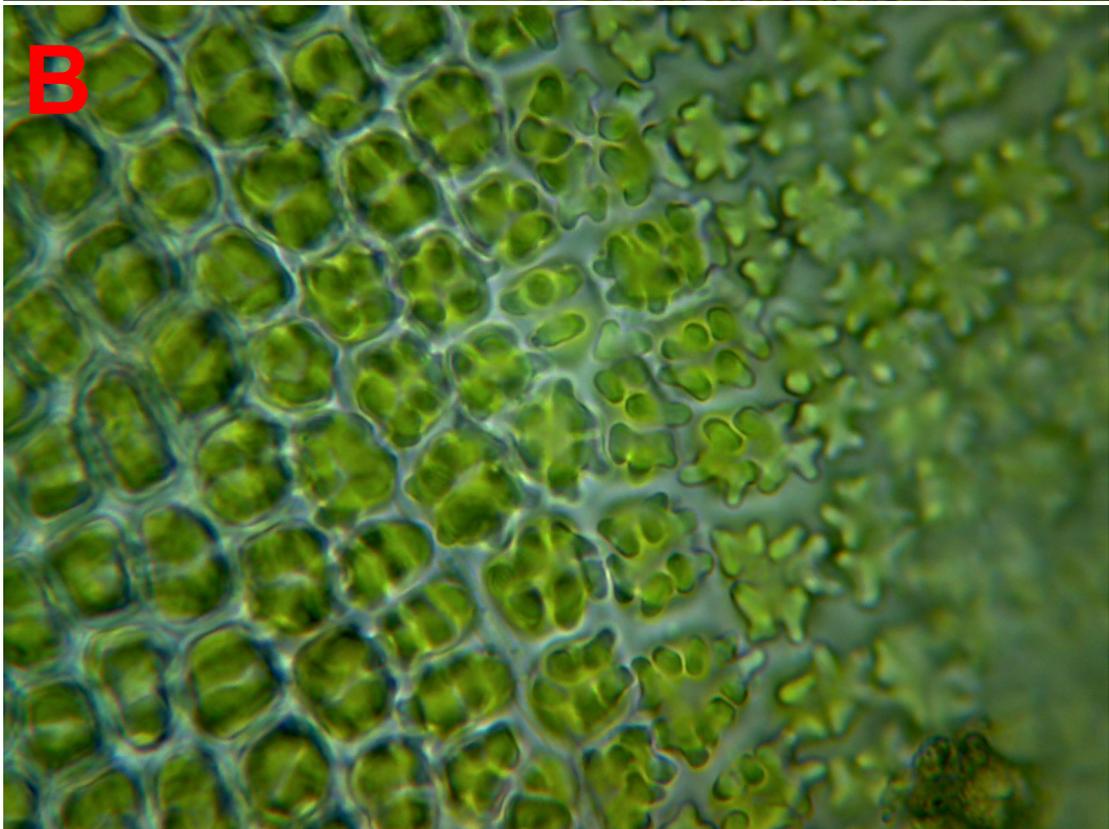
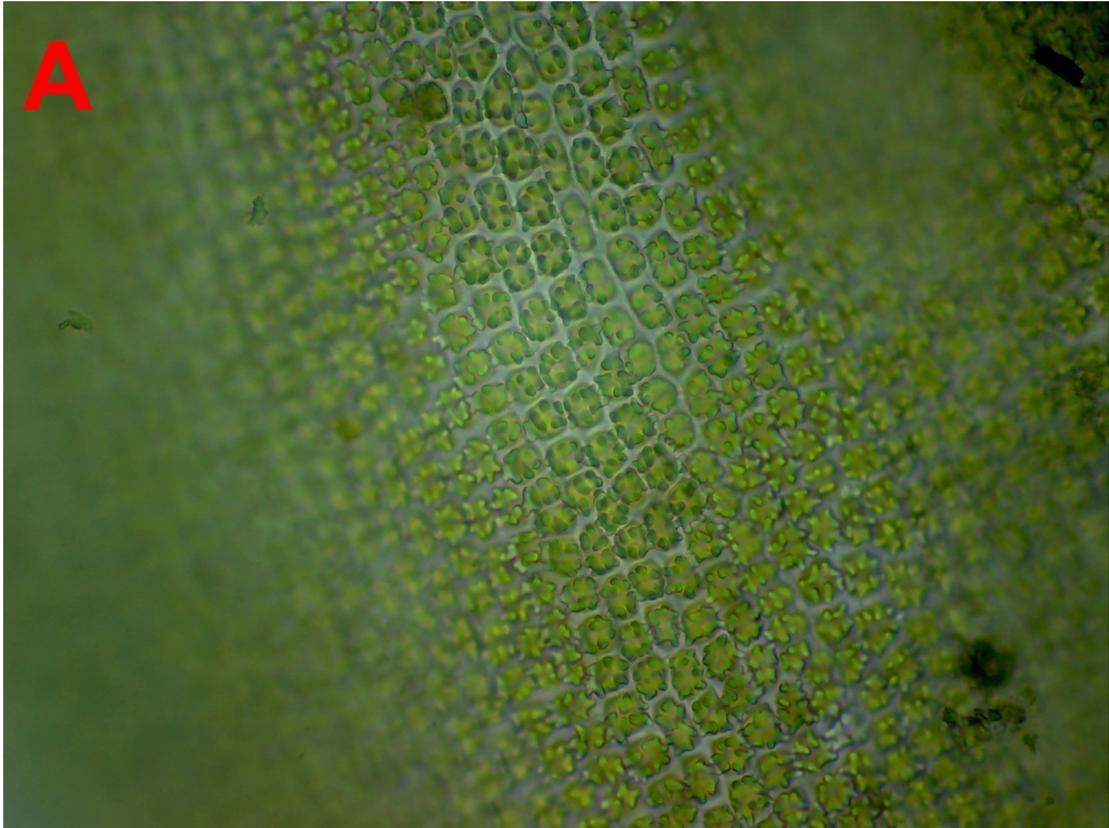
**FIGURA 34.** Imágenes al microscopio de campo claro de ejemplares del **reino Protocista en un raspado de biofilm microbiano** presente sobre las paredes internas del acuario del centro de estudios. (A-B) Objetivo 40x. En la imagen A se observa una visión general del sistema, con material mucilaginoso que alberga inclusiones densas rojizas de material indiferenciado. Se destaca una importante diversidad de microalgas unicelulares verdes –clorofílicas, como pigmento dominante. La imagen B pone de manifiesto un ejemplo de ameba emitiendo prolongaciones citoplasmáticas, los pseudópodos. Su citoplasma muestra gran cantidad de material indiferenciado. Junto a este Protocista heterótrofo, otro de naturaleza autotrófica, una alga filamentosa.

El uso de este material en la Enseñanza media puede ser muy útil en la elaboración de preparaciones microscópicas de bajo coste para la observación de comunidades microscópicas y las relaciones tróficas entre sus integrantes. Se recomienda para alumnos de primer curso de enseñanza media como medio de estimulación, motivación y acercamiento incipiente hacia las Ciencias Naturales.



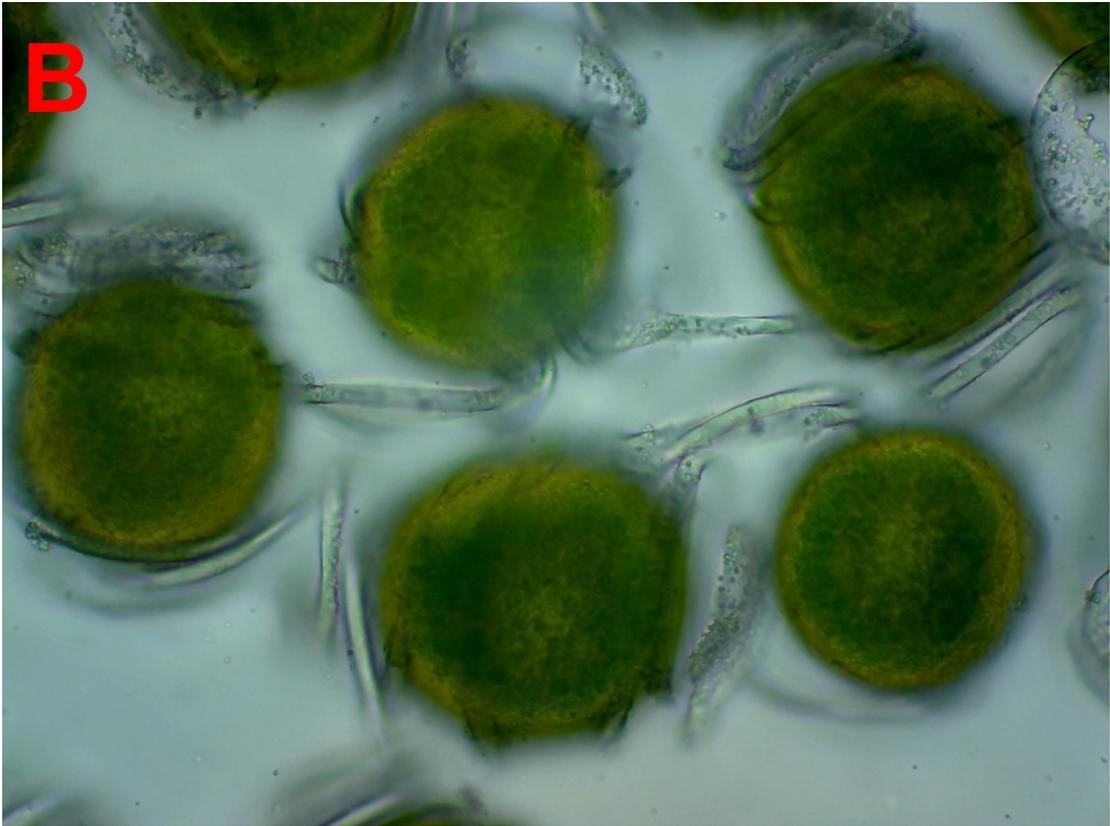
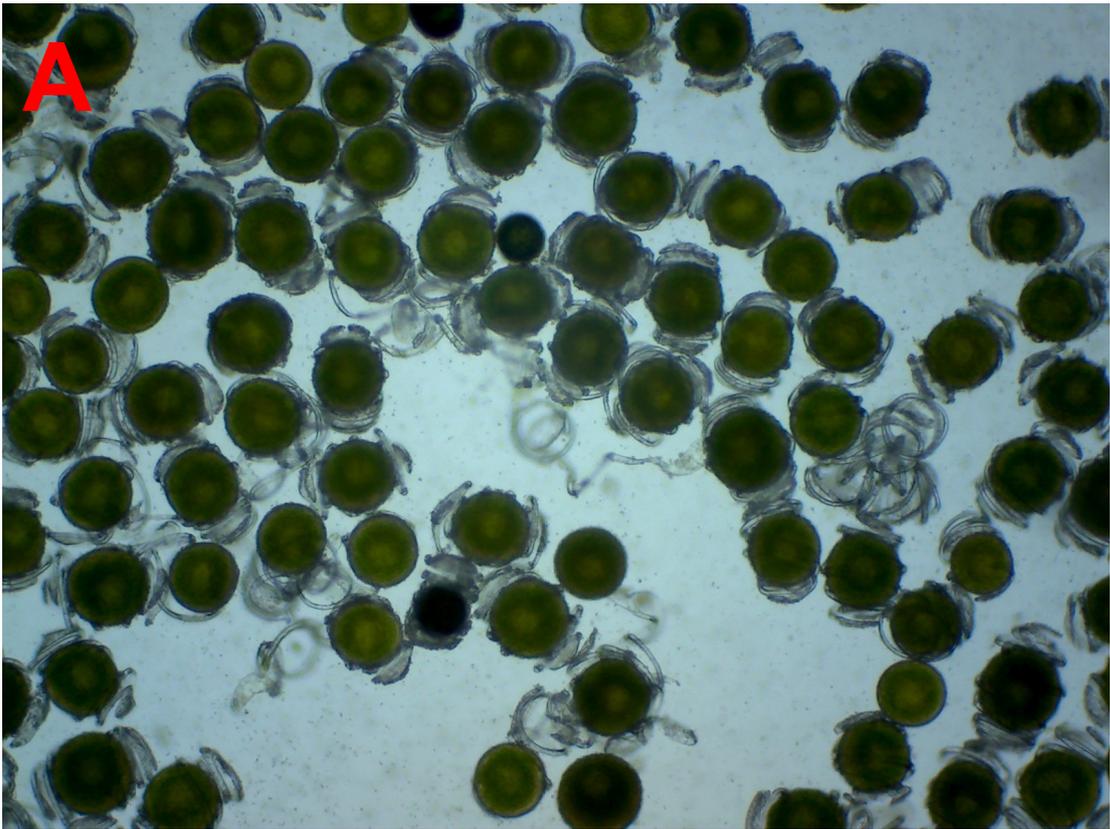
**FIGURA 35.** Imágenes al microscopio de campo claro de **cloroplastos en fiálides del musgo estrellado** (*Polytrichum* sp). (A) Objetivo 40x. (B) Objetivo 100x e inmersión en aceite. Los cloroplastos son orgánulos citoplasmáticos propios de células eucariotas vegetales. Estos son responsables de la fotosíntesis, proceso anabólico por el cual fijan el dióxido de carbono atmosférico y toman el agua (junto a sales minerales) para formar azúcares y otros compuestos orgánicos. De la reacción se libera un gas, el oxígeno, responsable de la respiración de la propia célula (por la que obtendrá la energía necesaria para su sustento) y cuyo sobrante forma parte de la composición química del aire que respiramos el resto de organismos aeróbicos. Su coloración verde es consecuencia de la acumulación de pigmentos de tipo clorofila y, en menor medida, carotenoides (García et al., 2005)

El uso de este material en la Enseñanza media puede ser muy útil en la elaboración de preparaciones microscópicas de bajo coste para la observación de células eucariotas vegetales y sus organelas citoplasmáticas. Tradicionalmente, para este tipo de observaciones, se utilizaba la planta acuática *Elodea* sp. (incluso permitía la observación de los movimientos de ciclosis de los cloroplastos alrededor de la gran vacuola citoplasmática). No obstante, y ante su dificultad para encontrarse, ya que es una planta que se considera exótica e invasora (BOE, 2013), nuestro equipo ha utilizado este tipo de estructuras “hojosas” de plantas no vasculares, los briófitos, ya que disponen de una transparencia idónea para trabajos de microscopía de campo claro.



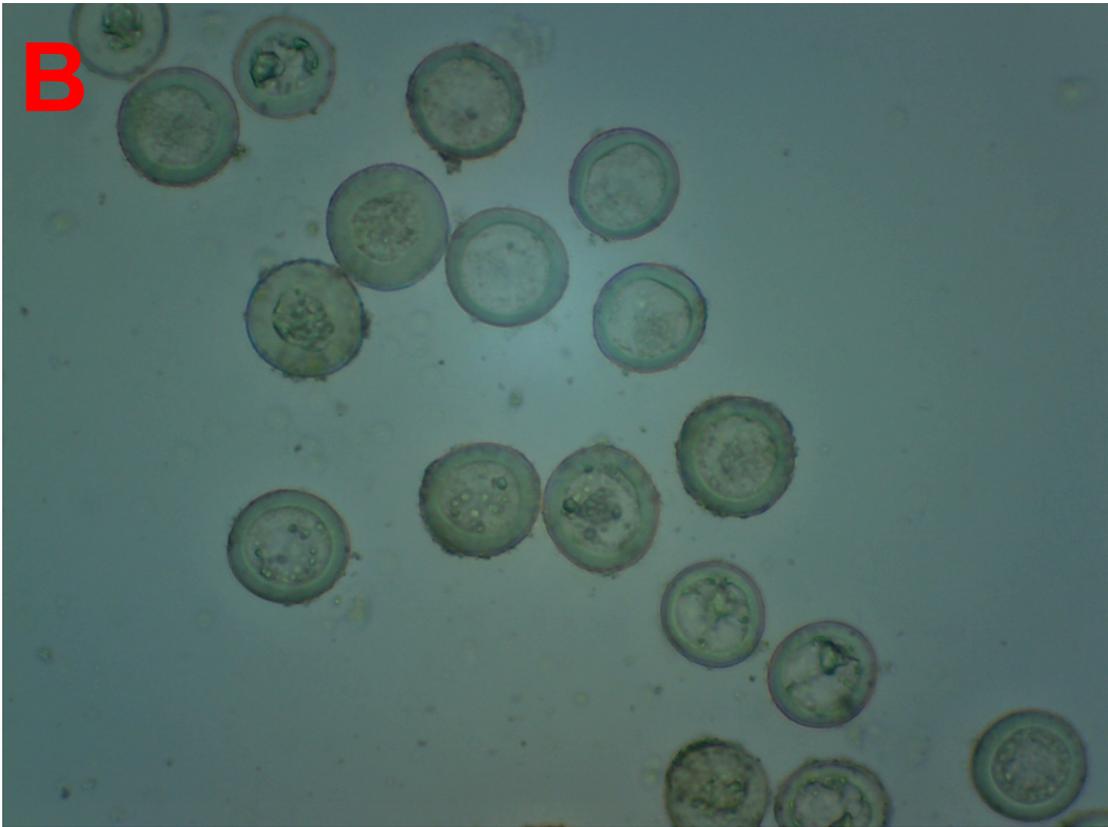
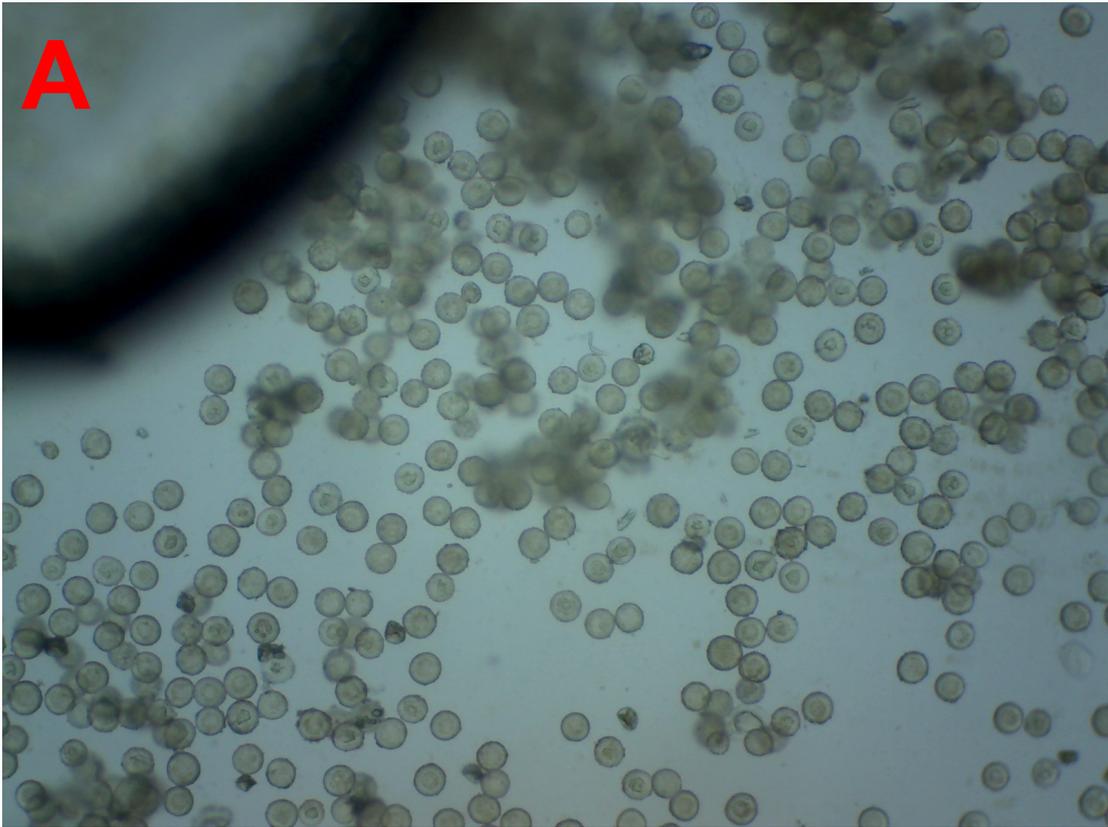
**FIGURA 36.** Imágenes al microscopio de campo claro de **esporas o meiosporas de helechos** (*Equisetum ramosissimum*). (A) Objetivo 40x. (B) Objetivo 100x e inmersión en aceite. De coloración verdosa, disponen las esporas de equiseto de un perisporio pluriestratificado externo, cuya capa exterior está formada por dos bandas llamadas hapterios, enrolladas en hélice. Al secarse, caso mostrado en estas imágenes, los hapterios pierden su enrollamiento, quedando extendidos pero unidos a la capa más externa de la spora, el exosporio (capa de color verde) por un punto en su mitad (Strasburger et al., 1986, página 734-735).

El uso de este material en la Enseñanza media puede ser muy útil en la elaboración de preparaciones microscópicas de bajo coste para la observación de células eucariotas vegetales y sus formas de reproducción, así como la comprensión directa del ciclo vital de los helechos (formas de dispersión del organismo de constitución génica haploide).



**FIGURA 37.** Imágenes al microscopio de campo claro de **granos de polen de ciprés** (*Cupressus arizonica*). (A) Objetivo 10x. (B) Objetivo 40x. De morfología esférica, los granos de polen presentan en su capa más externa, la exina, ornamentos granulados de disposición irregular que definen su relieve. Consecuencia de su reducido tamaño (15-30  $\mu\text{m}$ ) puede quedar en suspensión en la columna de aire durante largo tiempo, permitiendo con ello la correcta polinización de la flor femenina (Danti et al., 2010).

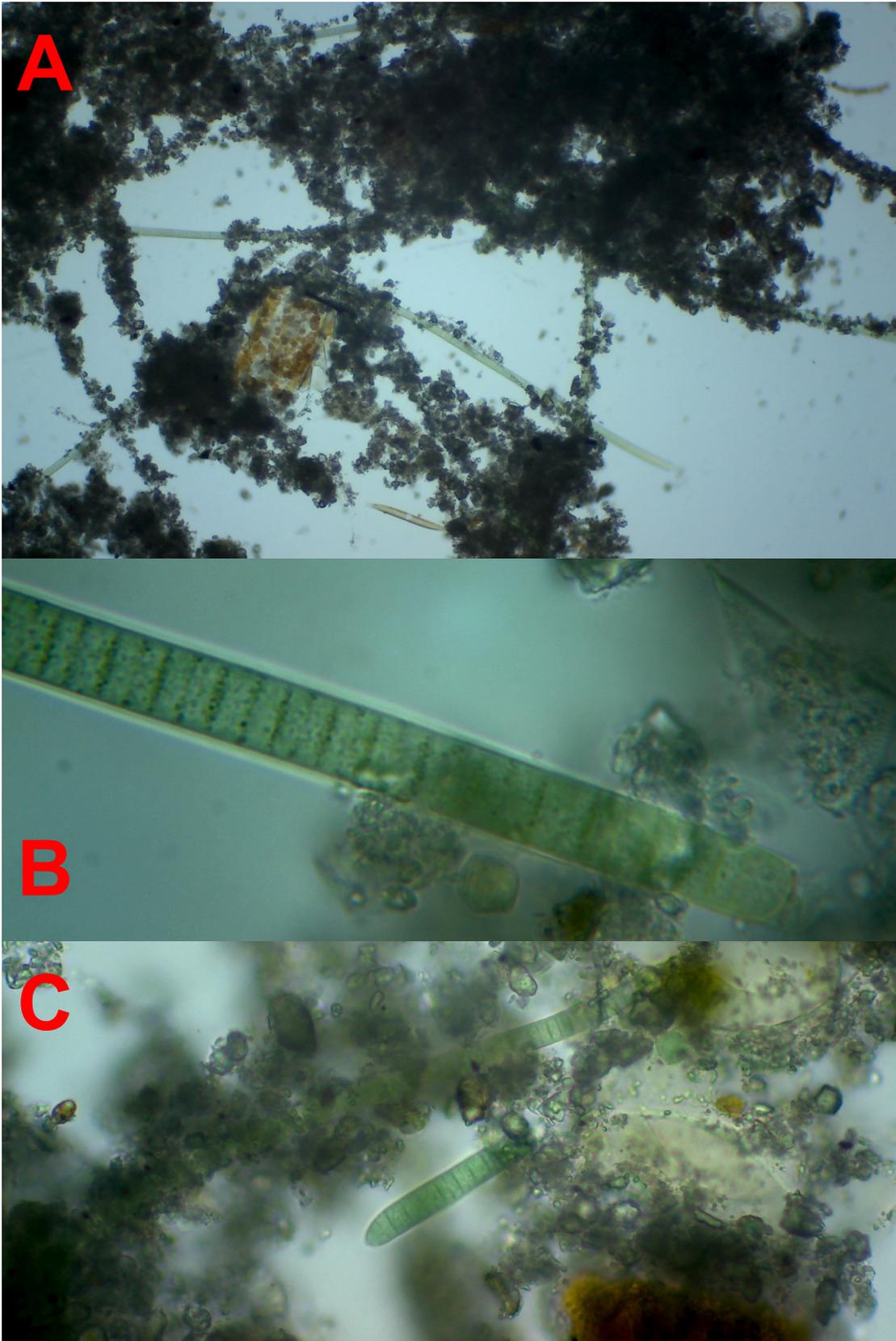
El uso de este material en la Enseñanza media puede ser muy útil en la elaboración de preparaciones microscópicas de bajo coste de organismos complejos, así como complemento de estudio de la reproducción en el reino *Plantae* (Espermatófitos-gimnospermas). La observación del alumnado de este tipo de estructuras puede abrir el debate en el aula ofreciendo ideas sobre su posible mecanismo de dispersión, en comparación con lo observado en la Figura 16 (polen de pino) o Figura 24 (polen de árbol botella), su producción masiva para lograr la polinización o si cabe la necesidad de insectos para llevarlo hacia un pistilo.



**FIGURA 38.** Imágenes al microscopio de campo claro de **cianobacterias** (*Oscillatoria sp.*) en una muestra de sedimento de acequia (Acequia Beniaján, a su paso por la pedanía de Santo Ángel, Murcia). (A) Objetivo 10x. (B) Objetivo 100x e inmersión en aceite. (C) Objetivo 40x. Las cianobacterias se corresponden con un grupo de bacterias (reino Moneras) con capacidad fotosintética. Al contrario que el resto de fotótrofos bacterianos, este grupo dispone de clorofila A en lugar de bacterioclorofila, y liberan al medio acuático el oxígeno formado durante el proceso. Las cianobacterias forman estructuras filamentosas fotoautótrofas, careciendo en su citoplasma de sistemas de membrana interno. Aunque no se puede observar en las imágenes mostradas, presentan movilidad por reptación (ya que utilizan el cubreobjetos y portaobjetos, así como el material de depósito presente en la muestra húmeda, para movilizar sus microfibrillas de superficie).

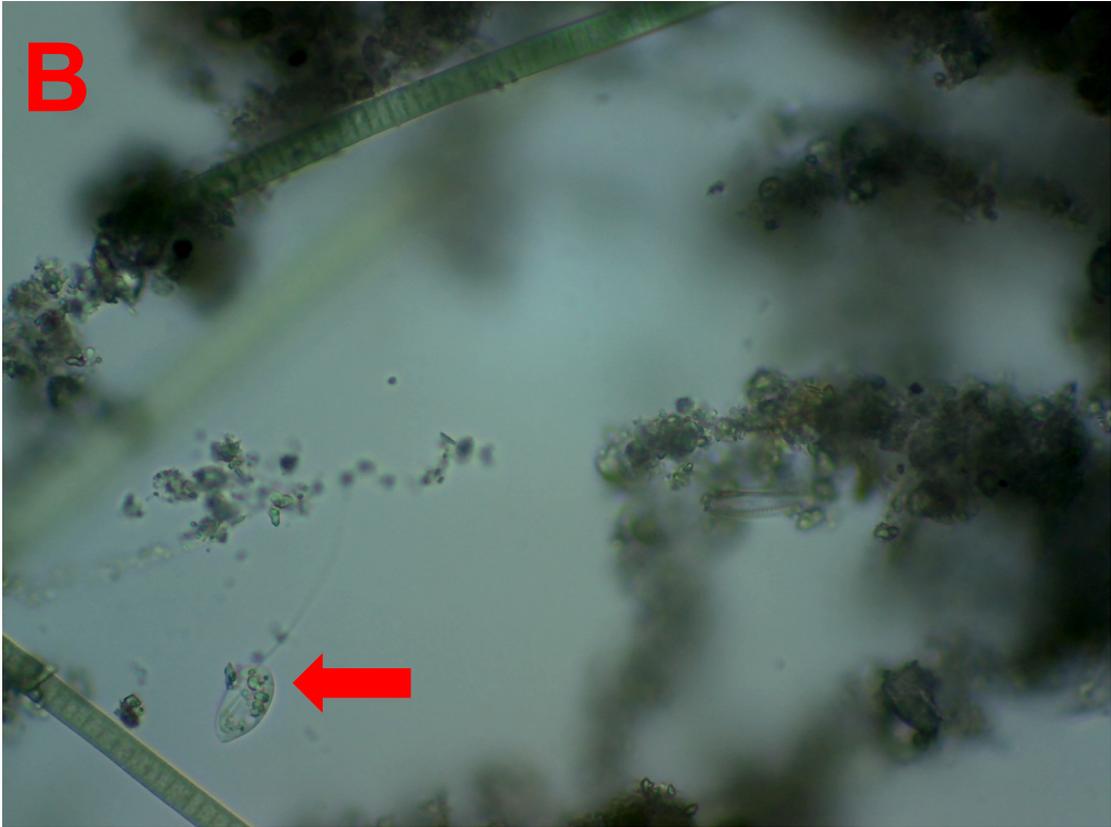
Se piensa que este grupo microbiano fue responsable de un cambio crucial en la configuración del planeta Tierra. Hace 3500 millones de años, cuando aparecieron en aquella primitiva sopa rica en organismos heterótrofos, liberaron grandes cantidades de oxígeno al medio acuático, escapándose finalmente a la atmósfera. La presencia de este nuevo gas oxidante produjo una modificación dramática para las antiguas formas vivas con metabolismo anaeróbico que deambulaban por el medio, permitiendo con ello tres posibles escenarios: muerte (por incapacidad de soportar las nuevas condiciones de oxidación), quedar recluidos a lugares donde el gas difícilmente pudiera tener acceso o evolución hacia nuevas formas de metabolismo donde el oxígeno fuera protagonista (Margulis y Dolan, 2009).

El uso de este material en la Enseñanza media puede ser muy útil en la elaboración de preparaciones microscópicas de bajo coste de organismos procarióticos. La observación del alumnado de este tipo de morfologías microbianas puede abrir el debate en el aula sobre la actividad fotosintética en el reino Monera y la movilidad en este tipo de medios.



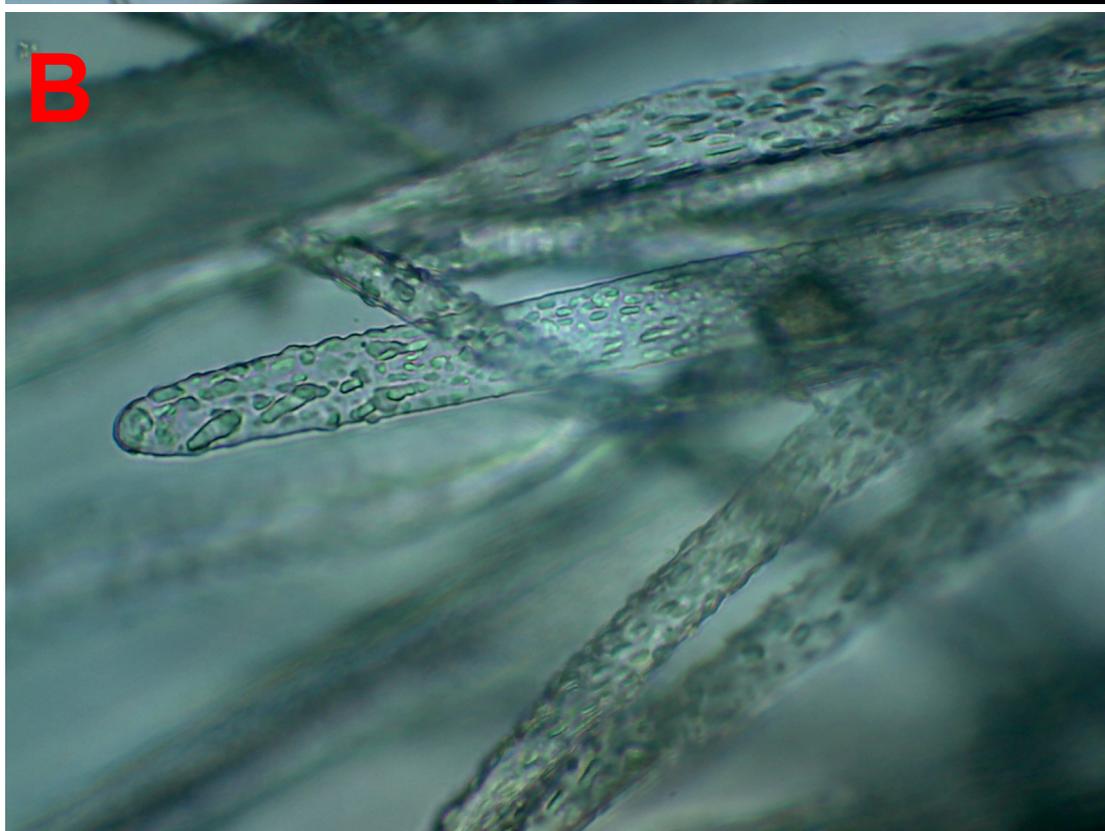
**FIGURA 39.** Imágenes al microscopio de campo claro de **algas diatomeas (A) y euglenófitos (B)** en una muestra de sedimento de acequia (Acequia Beniaján, a su paso por la pedanía de Santo Ángel, Murcia). (A) Objetivo 100x e inmersión en aceite. (B) Objetivo 40x. Las diatomeas son algas, por lo general unicelulares, muy especiales ya que disponen de un caparazón o frústulo de naturaleza silíceo ( $\text{SiO}_2$ ). Este caparazón consta de dos valvas (hipoteca y epiteca), que encajan entre sí como lo hacen las cajas de Petri. Las diatomeas son organismos fotosintéticos, integrantes del fitoplancton marino o dulceacuícola. En este grupo de algas microscópicas se encuentran también los euglenófitos. Organismos unicelulares móviles mediante flagelos (en número de dos, si bien uno de ellos no logra visualizarse bien al microscopio óptico). Aunque un gran grupo de ellos son fotoautótrofos, en algunas especies complementan la fotosíntesis con la heterotrofia, dando la idea a los científicos de situarse entre los límites del reino “cajón desastre” que constituyen los Protoctistas (Strasburger et al., 1986, páginas 577 y 608-609).

El uso de este material en la Enseñanza media puede ser muy útil en la elaboración de preparaciones microscópicas de bajo coste para la observación de células eucariotas integrantes del reino Protoctista, así como su importancia en la cadena trófica de ecosistemas acuáticos.



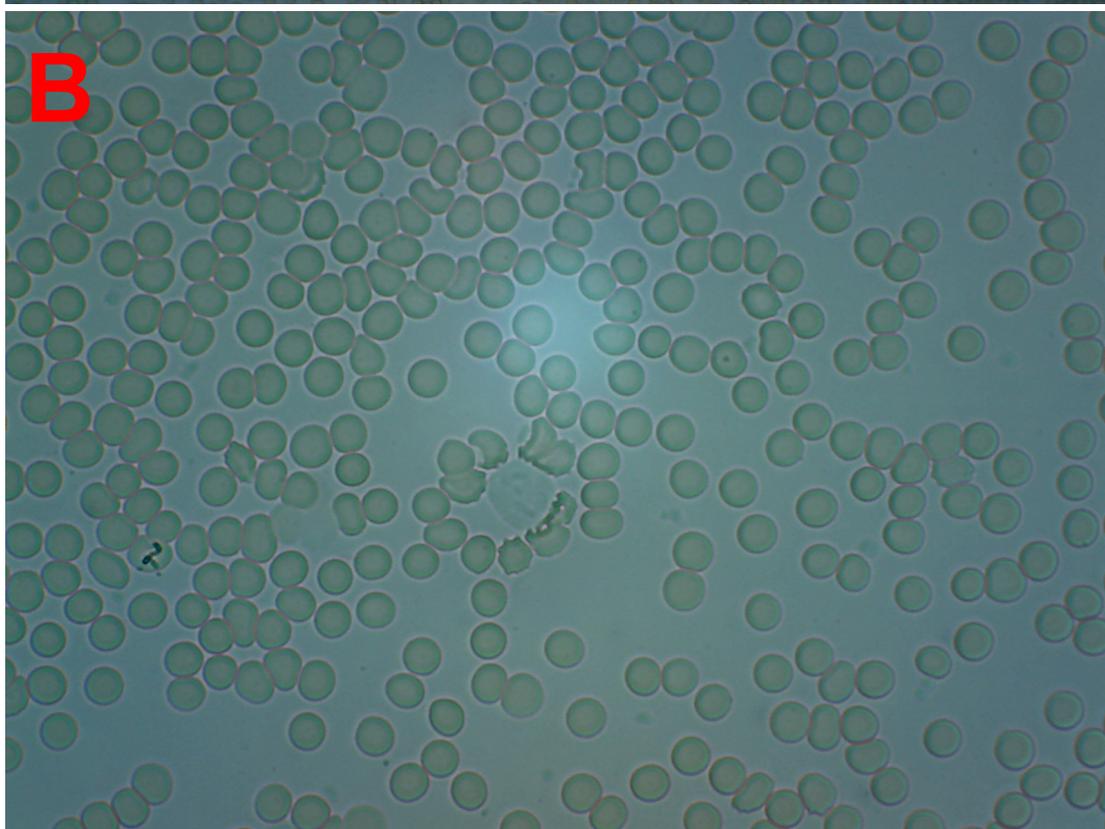
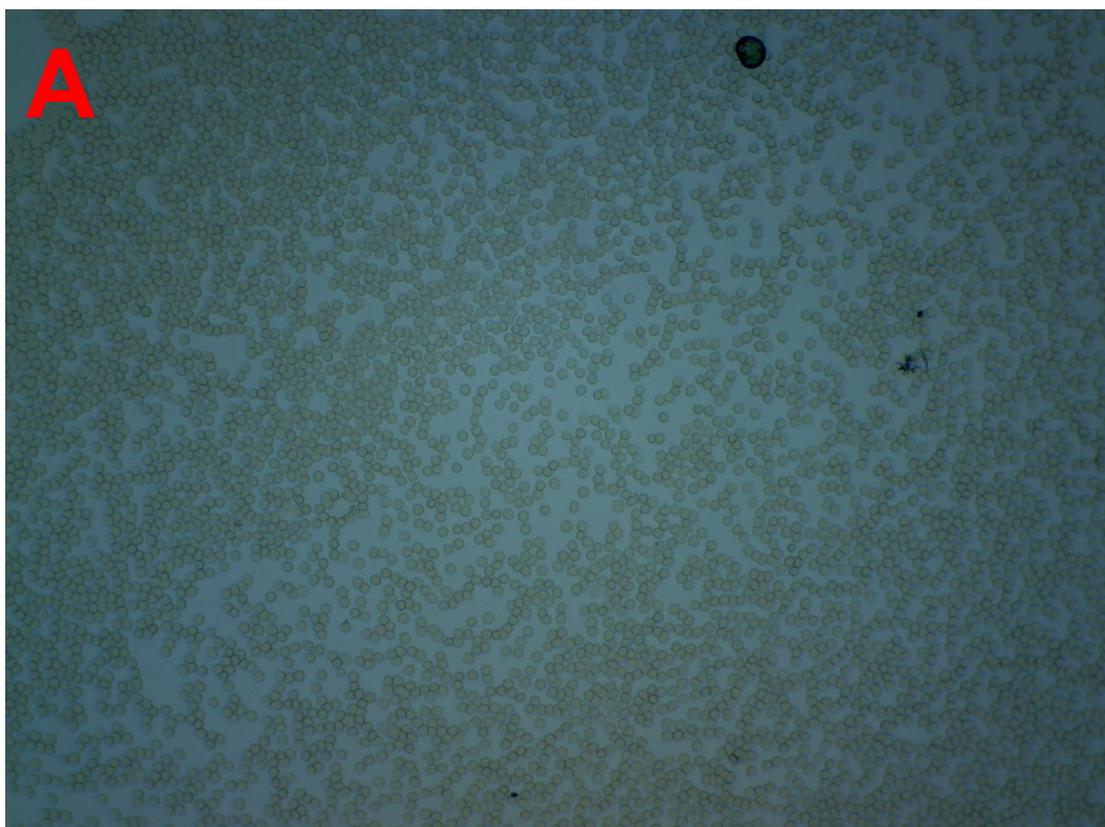
**FIGURA 40.** Imágenes al microscopio de campo claro de los **estambres plumosos de la adelfa** (*Nerium oleander*). (A) Objetivo 10x. (B) Objetivo 40x. De los estambres en el baladre llama la atención las anteras, pubescentes, que se entrelazan helicoidalmente, logrando sobresalir de la corola. Las observaciones al microscopio óptico demuestran la presencia de costras refringentes sin función determinada en este trabajo.

El uso de este material en la Enseñanza media puede ser muy útil en la elaboración de preparaciones microscópicas de bajo coste para la observación de estructuras de órganos reproductores de integrantes del reino *Plantae*, así como la potenciación del debate entre el alumnado para averiguar su posible función.



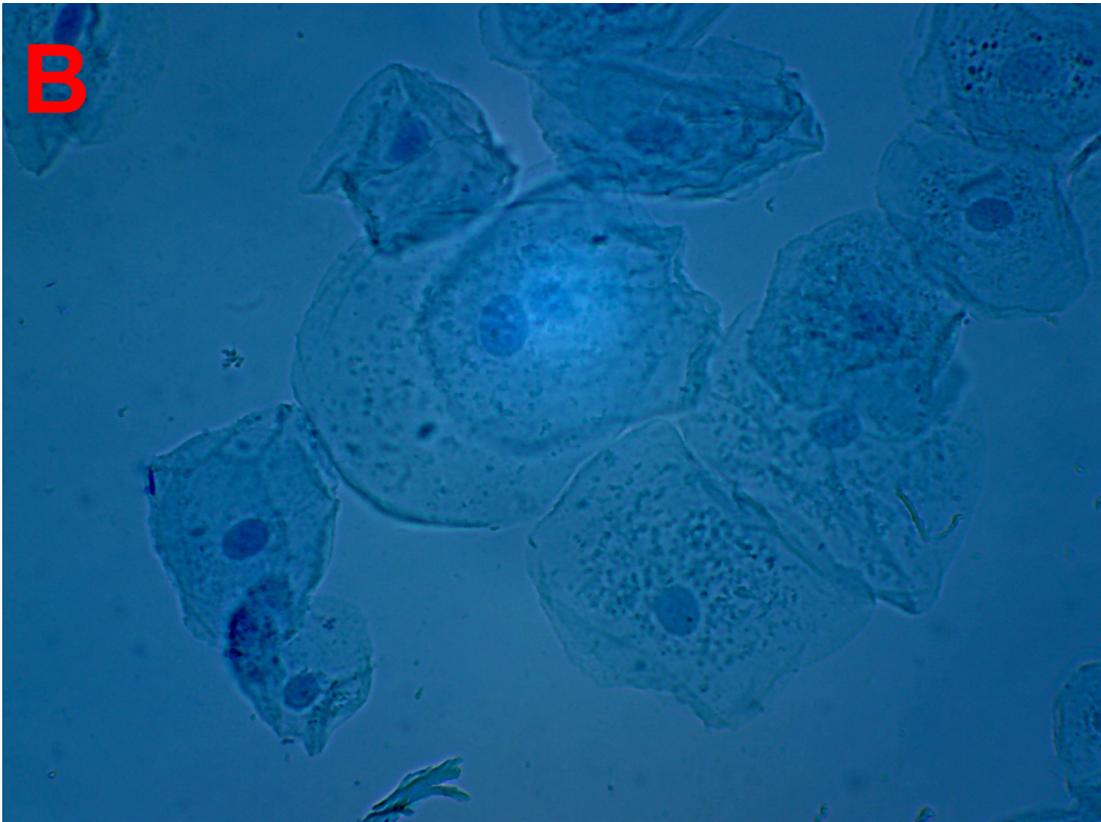
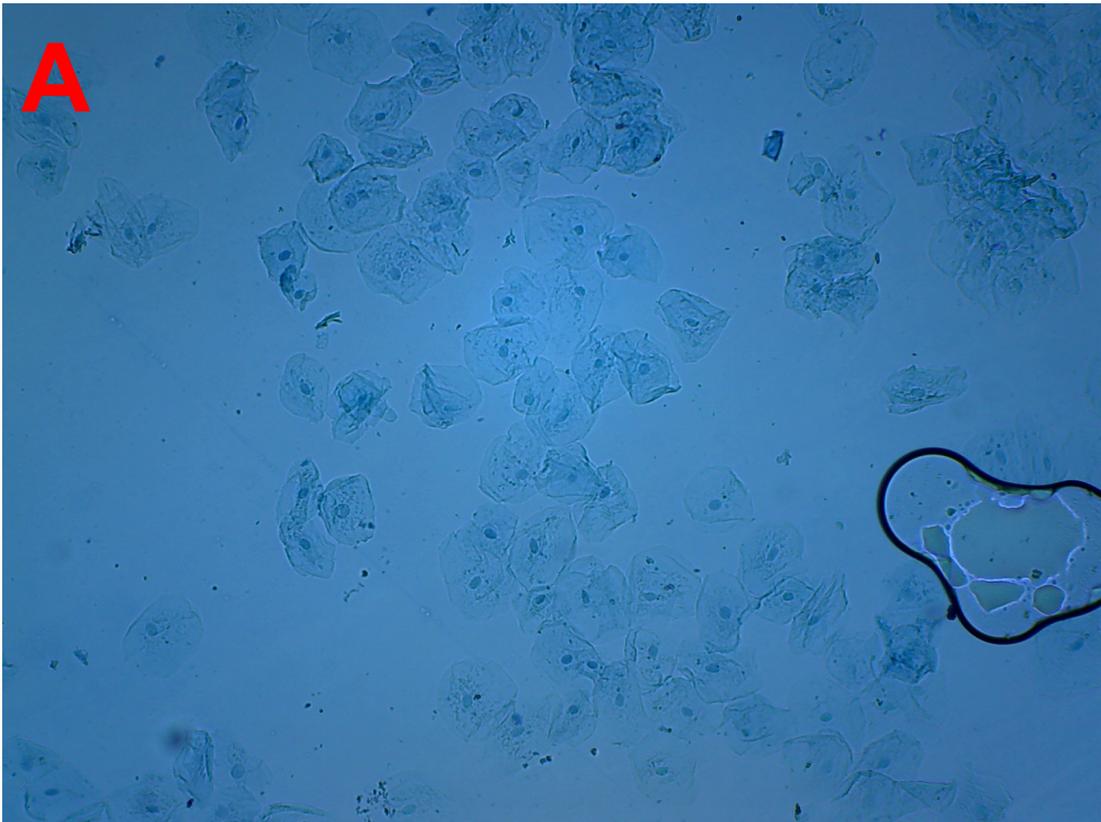
**FIGURA 41.** Imágenes al microscopio de campo claro de **sangre humana sin teñir**. (A) Objetivo 10x. (B) Objetivo 40x. El aspecto macroscópico de la sangre cuando, tras una herida, empieza a brotar es de un marcado color rojo. El grupo hemo ( $\text{Fe}^{+2}$ ) presente en la hemoglobina es quien da el color característico. No obstante, cuando se realiza un frotis si tinción al microscopio óptico, como el resultado mostrado en este trabajo, no presenta este llamativo color. Recordemos los aspectos teóricos presentados en la introducción, cuando se hacía necesario aumentar el contraste de una preparación biológica como consecuencia de la paridad entre los índices de refracción de las muestras a analizar y el medio que las rodea (generalmente agua). Además, la cantidad de hemoglobina por célula no es lo suficientemente importante para resaltar la célula respecto del medio externo. De ahí la necesidad de tinción específica, analizada en la Figura 22, con violeta de genciana o mezcla de colorante tintorial Giemsa.

El uso de este material en la Enseñanza media puede ser muy útil en la elaboración de preparaciones microscópicas de bajo coste para la observación de células eucariotas. Se recomienda al profesorado la comparación entre las Figuras 22 y 41 con el objetivo de profundizar en la necesidad del contraste de las preparaciones para su observación al microscopio óptico.



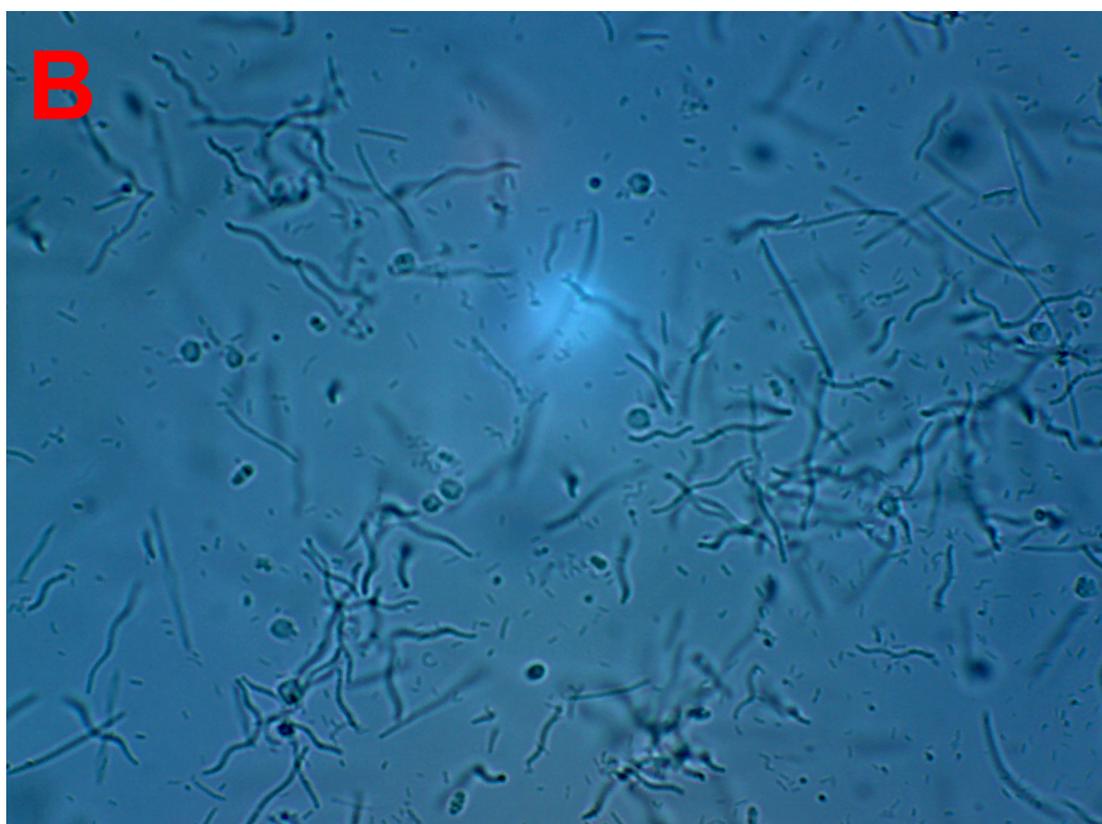
**FIGURA 42.** Imágenes al microscopio de campo claro de **células epiteliales procedentes de un raspado bucal**. (A) Objetivo 10x. (B) Objetivo 40x. Esta actividad práctica está muy recomendada para el alumnado de tercer curso de Educación Secundaria, ya que la metodología de trabajo requiere cierto cuidado que sería de responsabilidad para cursos anteriores: (1) raspado de la parte interna de la cavidad bucal con un palillo de alimentación. (2) Depósito del mismo sobre una gota de agua en un portaobjetos. (3) Secado-Fijación a la llama de un mechero Bunsen. (5) Tinción con azul de metileno. (6) Eliminar el sobrante de colorante con agua del grifo y cubrir la preparación con un cubreobjetos, previo a su observación al microscopio de campo claro.

El uso de este material en la Enseñanza media puede ser muy útil en la elaboración de preparaciones microscópicas de bajo coste para la observación de células eucariotas. Es muy interesante para recordar y debatir con el alumnado la estructura básica de la célula eucariota. Se denota el núcleo como material celular más afín al colorante.



**FIGURA 43.** Imágenes al microscopio de campo claro de **biodiversidad morfológica microbiana presente en una gota de agua** procedente de un enriquecimiento con extracto de levadura y carne, de una muestra de agua de la acequia (Acequia Beniaján, a su paso por la pedanía de Santo Ángel, Murcia). (A) Objetivo 100x e inmersión en aceite. (B) Objetivo 40x. La diversidad morfológica microbiana presente en esta agua estudiada dominan los espirilos, bacilos y cocos. Las muestras recogidas inicialmente en ríos, lagos o comunicaciones de aguas varias no presentan mucha diversidad, ya que el número de microorganismos por mililitro es reducido (llegando en el mejor de los casos a los cientos de miles). No obstante, cuando esta agua es enriquecida con unos gramos de hidrolizados cárnicos, al cabo de unos días las poblaciones microbianas son importantísimas. Estas imágenes han sido tomadas de alícuotas recogidas de las zonas más apicales del bote de recogida de agua (500 ml) enriquecido con 1/10 de caldo de carne para alimentación, con lo que estamos contemplando poblaciones de microorganismos aeróbicos.

El uso de este material en la Enseñanza media puede ser muy útil en la elaboración de preparaciones microscópicas de bajo coste para la observación de células procariotas, el estudio de los morfotipos celulares y la movilidad en medio líquido. Son muy motivadoras este tipo de muestras para los alumnos de Educación Secundaria ya que implican una “selva microbiana en movimiento constante”. También puede ser muy útil para los estudios de revelación de la cadena trófica incipiente en ecosistemas acuáticos.



**FIGURA 44.** Imágenes al microscopio de campo claro de **protozoos ciliados y cianobacterias** procedentes de un enriquecimiento con extracto de levadura y carne, de una muestra de agua de la acequia (Acequia Beniaján, a su paso por la pedanía de Santo Ángel, Murcia). (A-B) Objetivo 100x e inmersión en aceite. Los eucariotas microscópicos (A) también son importantes cuando se enriquece una muestra de agua con nutrientes. El aumento de las poblaciones bacterianas como consecuencia de los nutrientes aportados al sistema determina una explosión de depredadores secundarios, los protozoos. Además de los eucariotas, la diversidad microbiana es enorme en la muestra estudiada. La imagen B ilustra ejemplos de cianobacterias filamentosas, en cuyos citoplasmas podemos contemplar la presencia de vesículas de gas, permitiendo con ello una localización apical en la columna de agua y disponiendo con ello una mayor cantidad de oxígeno para enriquecer su metabolismo aeróbico.

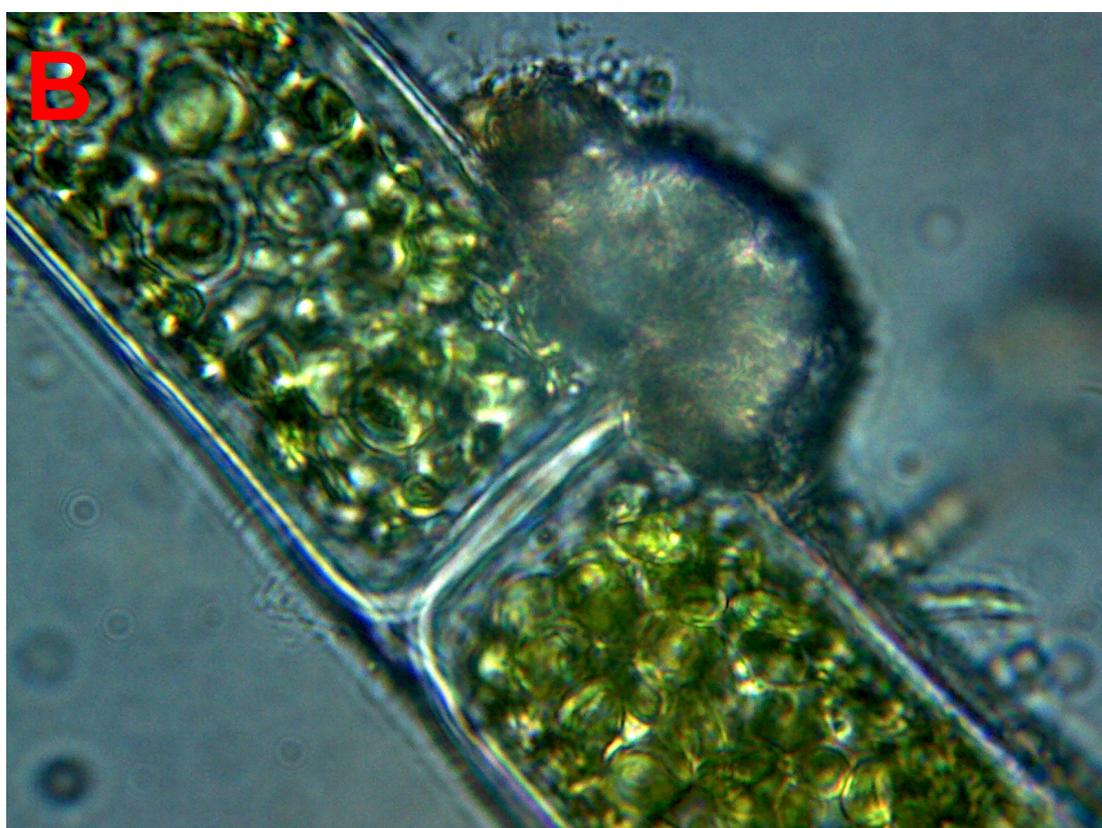
El uso de este material en la Enseñanza media puede ser muy útil en la elaboración de preparaciones microscópicas de bajo coste para la observación de células eucariotas y procariotas, el estudio de los morfotipos y tamaños celulares. También puede ser muy útil para los estudios de interpretación de los componentes de la cadena trófica en ecosistemas acuáticos.



**FIGURA 45.** Imágenes al microscopio de campo claro de **cloroplastos y morfología estructural externa del alga verde *Cladophora* sp.** (ova), procedentes de una muestra de agua de balsa para regadío. (A) Objetivo 40x. (B) Objetivo 100x e inmersión en aceite.

De talo ramificado, las células muestran un imponente tamaño y una riqueza citoplasmática dominada por cloroplastos. Esta planta suele desarrollarse en zonas de aguas estancadas, poco agitadas y ricas en nitrógeno. Son muy importantes las comunidades microbianas que habitan asociadas a las hojas filamentosas, destacando las diatomeas (1).

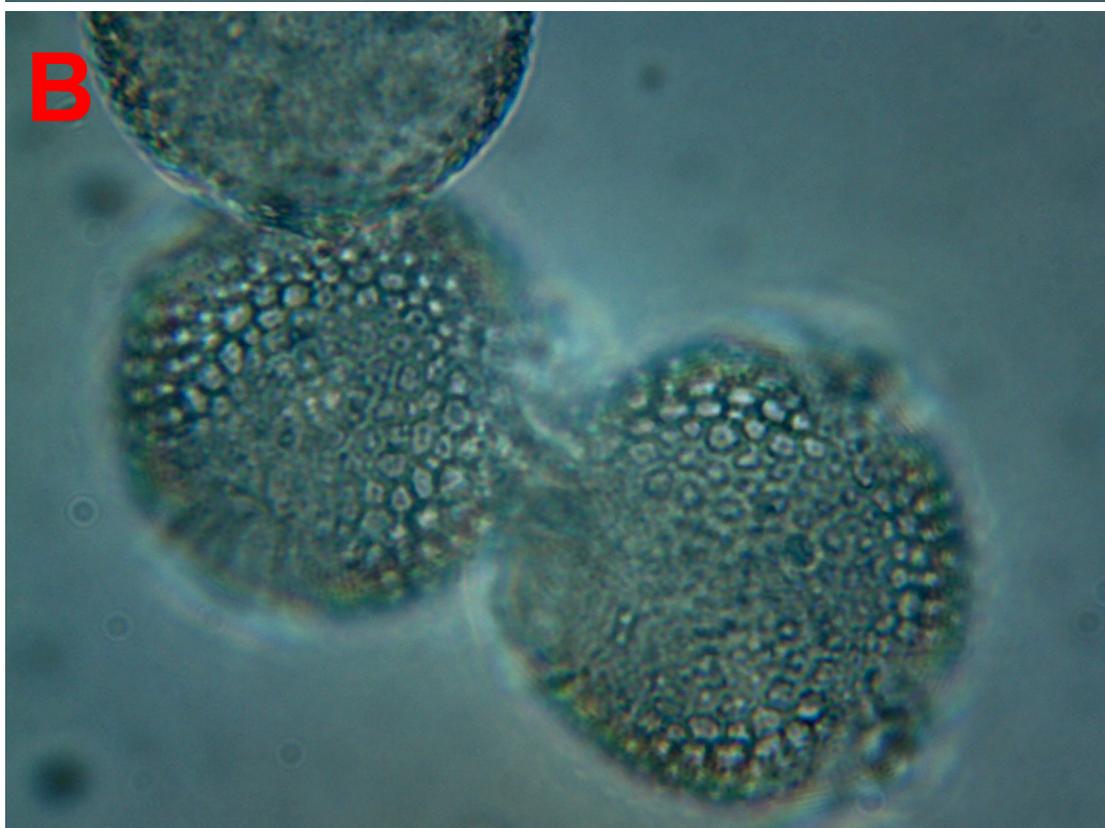
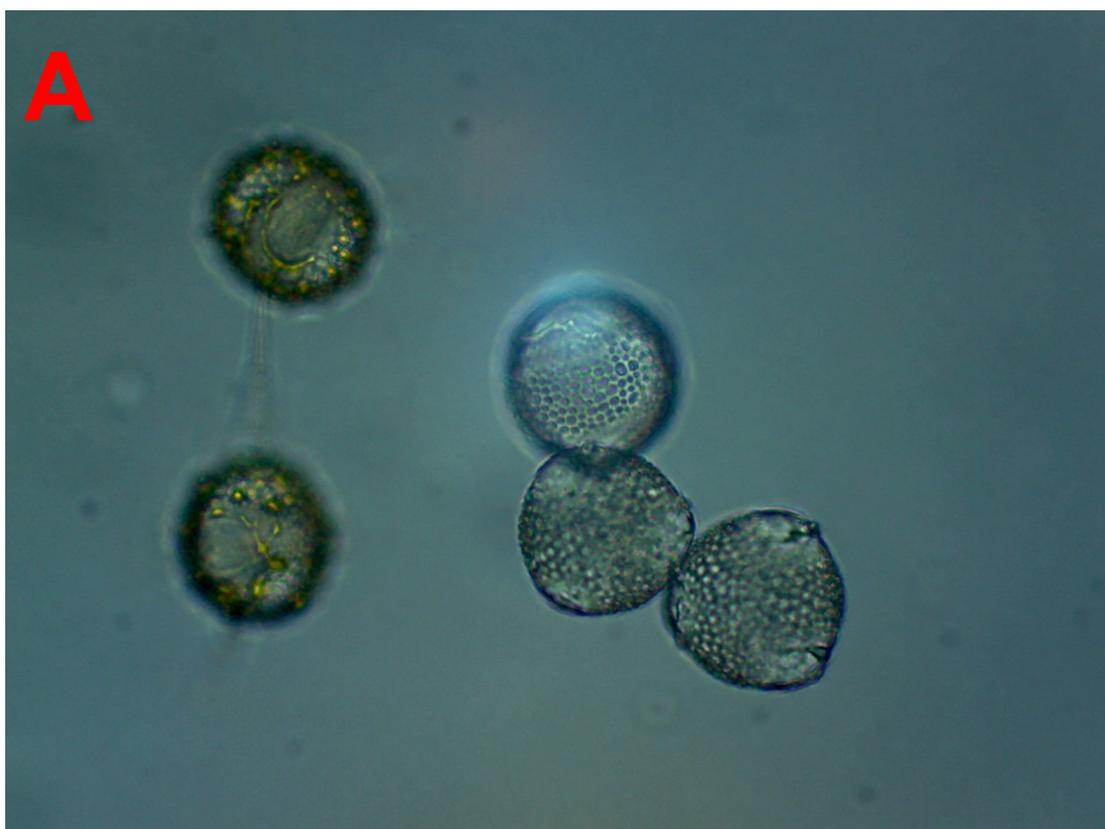
El uso de este material en la Enseñanza media puede ser muy útil en la elaboración de preparaciones microscópicas de bajo coste para la observación de células eucariotas y procariotas, el estudio de los morfotipos y tamaños celulares. También puede ser muy útil para los estudios de interpretación de los componentes de la cadena trófica en ecosistemas acuáticos.



**FIGURA 46.** Imágenes al microscopio de campo claro de **granos de polen del árbol Parkinsonia** (*Parkinsonia aculeata*), procedente de jardines que rodean al instituto. (A) Objetivo 40x. (B) Objetivo 100x e inmersión en aceite.

Ejemplar perteneciente a la familia Fabáceas, predominantemente entomófila (donde los insectos son los responsables de la polinización o traslado del grano de polen a las inmediaciones del estigma (Faricelli et al., 2004). Llama la atención la exina, con relieve y ornamentación reticulada que recuerda a un entramado de panal de abejas.

El uso de este material en la Enseñanza media puede ser muy útil en la elaboración de preparaciones microscópicas de bajo coste de organismos complejos, así como complemento de estudio de la reproducción en el reino *Plantae* (Espermatófitos-angiospermas). La observación del alumnado de este tipo de estructuras puede abrir el debate en el aula ofreciendo ideas sobre su posible mecanismo de dispersión, en comparación con lo observado en la Figura 16 (polen de pino), Figura 24 (polen de árbol botella) o Figura 37 (polen de ciprés), su producción masiva para lograr la polinización o si cabe la necesidad de insectos para llevarlo hacia un pistilo.

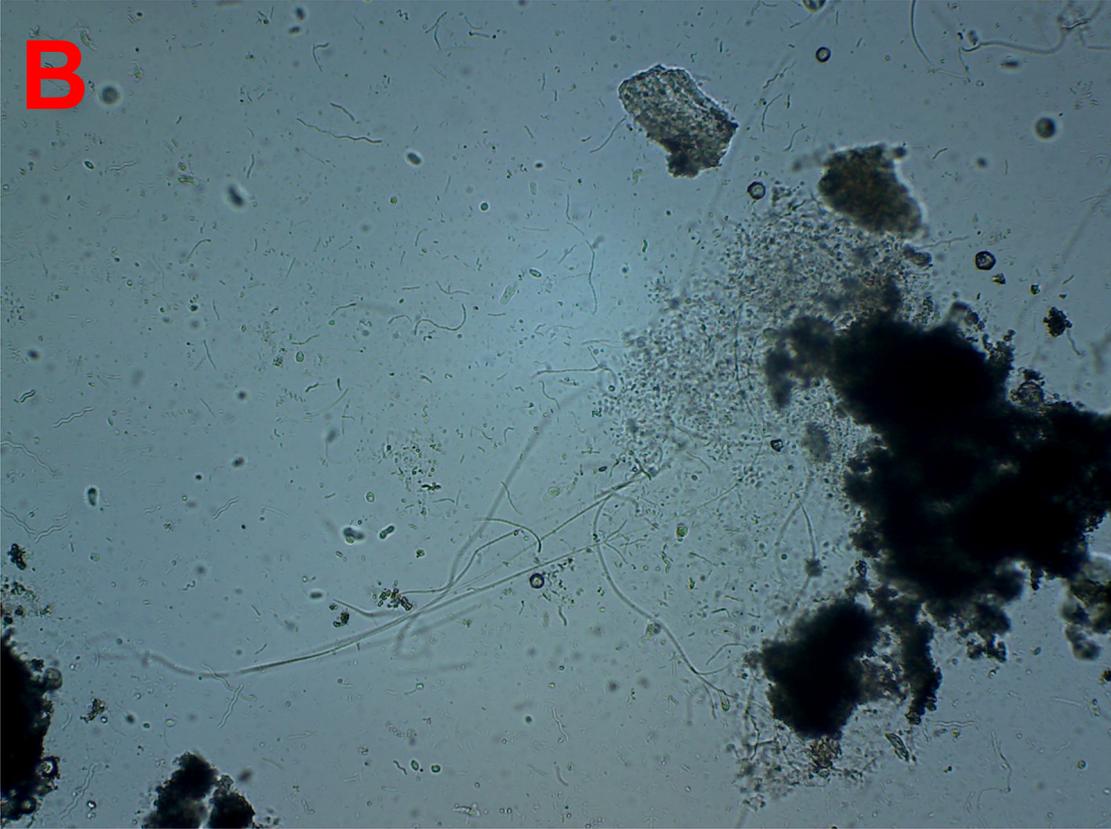
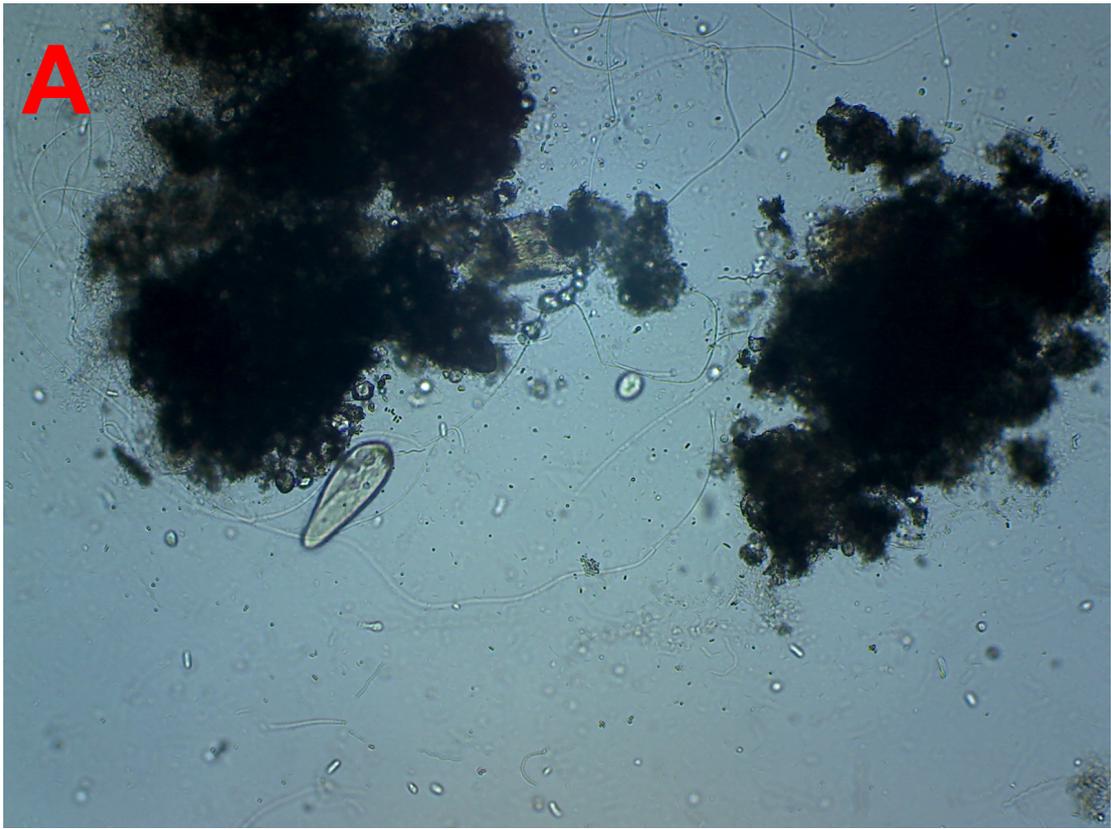


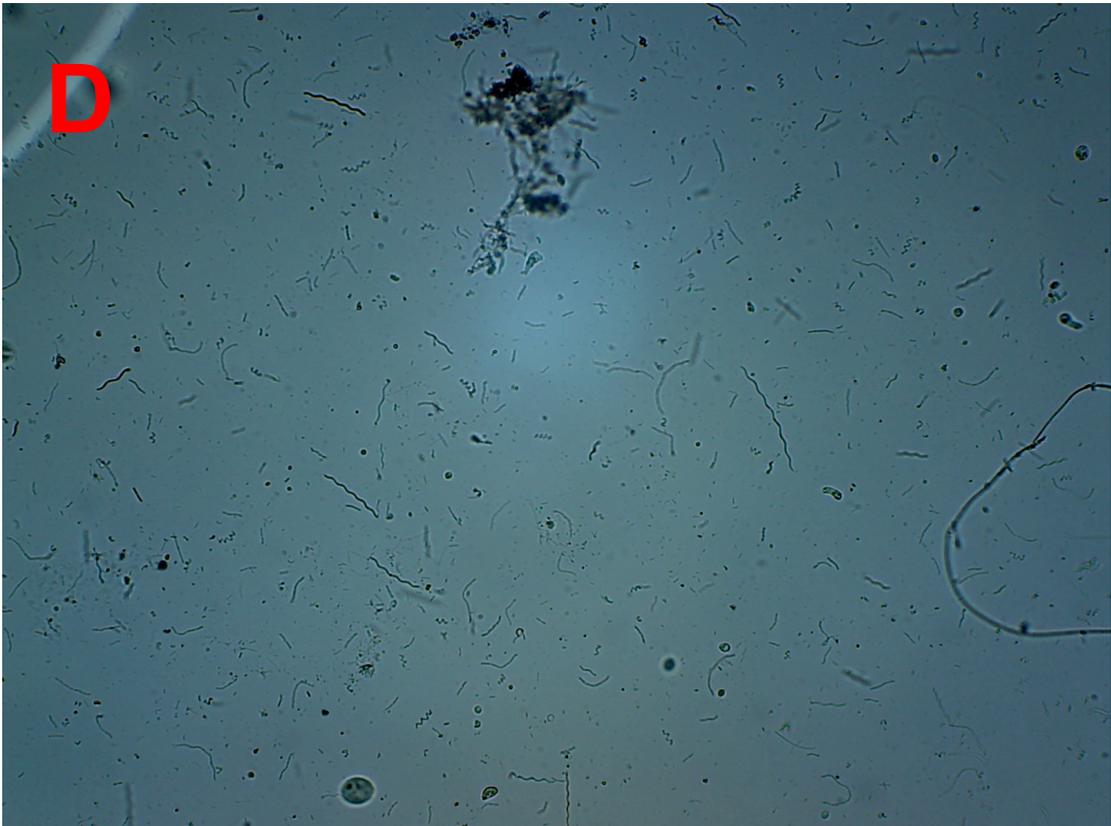
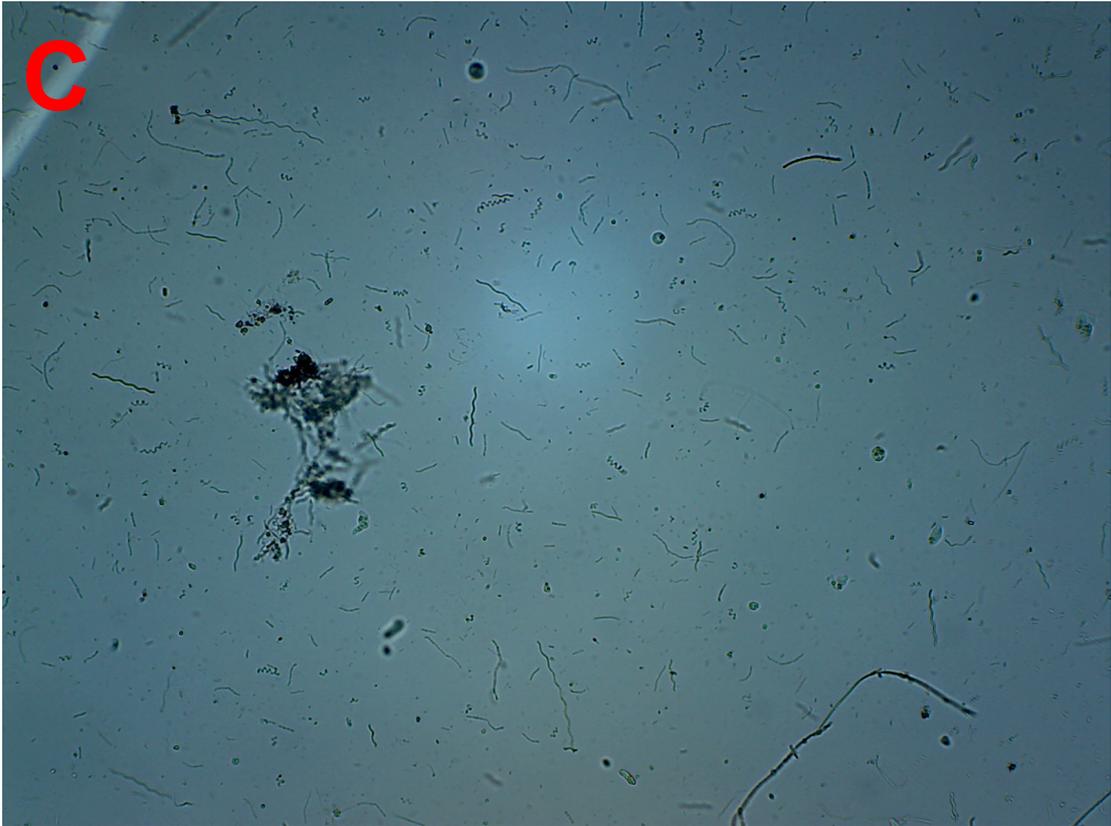
**FIGURA 47.** Imágenes al microscopio de campo claro de “**El universo microbiano**” en una gota de agua, procedente de una balsa para riego enriquecida con extracto de carne. (A-B-C-D) Objetivo 10x. (E-F) Objetivo 40X. (G) Objetivo 100x e inmersión en aceite.

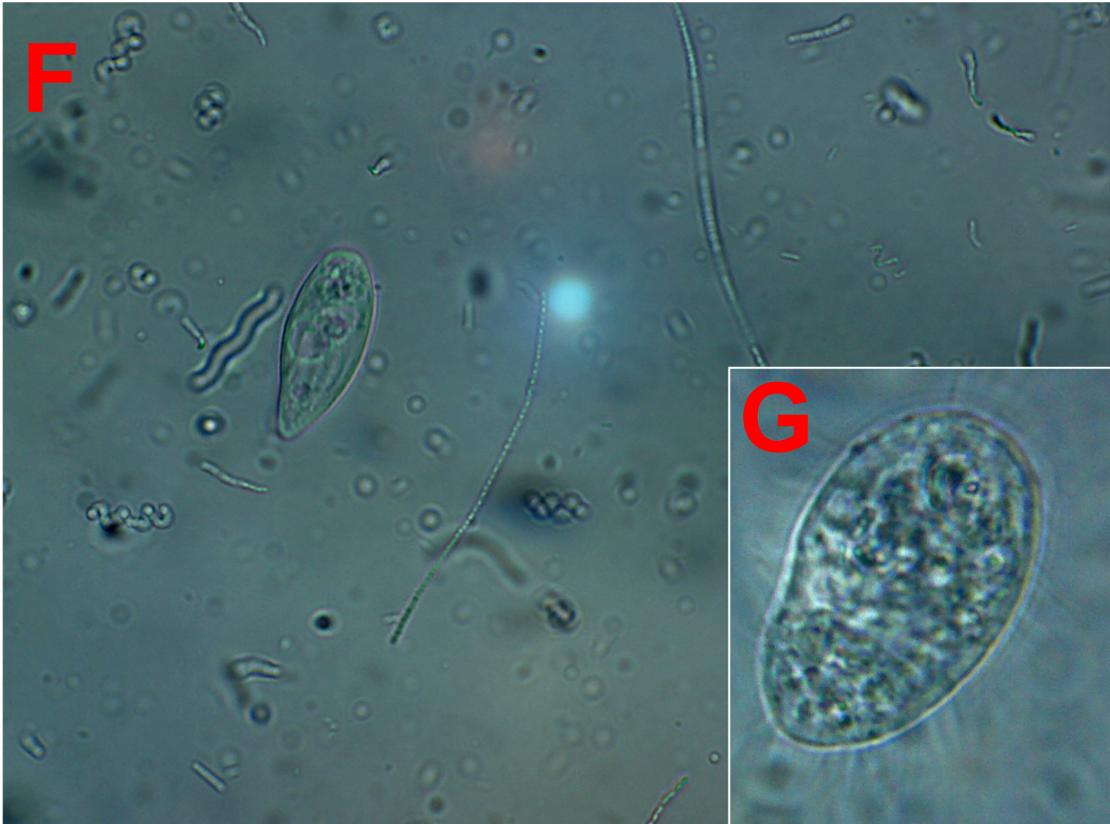
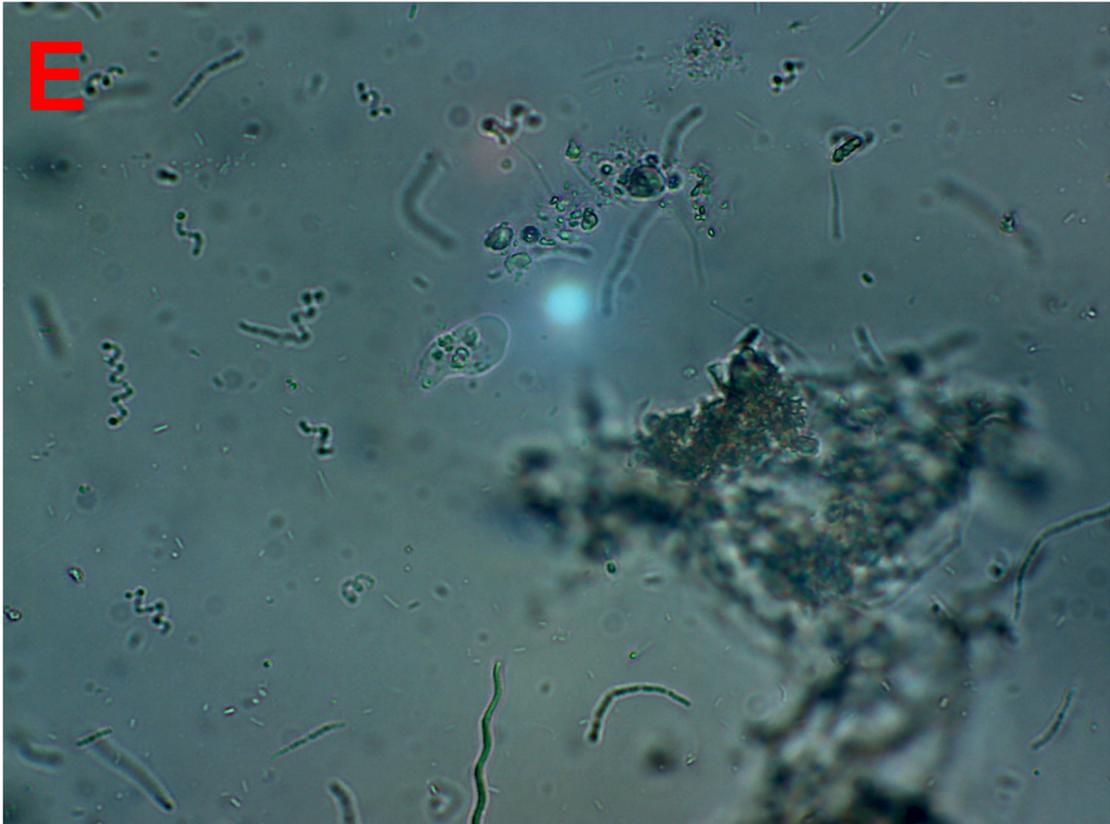
Una simple gota de agua de balsa o de charca, enriquecida en materia orgánica compleja, ofrece un universo de microorganismos como el que muestra las siguientes imágenes. Las Figuras A-B-C-D ofrecen una microscopía de campo oscuro, donde el cierre del diafragma reduciendo con ello el cono de luz que llega a la preparación, ofrece a los microorganismos la posibilidad de dispersarla, dando con ello un mayor contraste a la muestra. En estas imágenes puede apreciarse la presencia de paramecios (A) (protozoos ciliados), cianobacterias (largos filamentos), morfologías variadas de bacterias (bacilos y espirilos con gran capacidad de movimiento). Aumentando el objetivo del microscopio a la preparación nos posibilita la observación de amebas y paramecios de pequeño tamaño (E-F), así como morfotipos bacterianos caracterizados como cadenas de bacilos y espirilos móviles.

La Figura G muestra una imagen de la preparación biológica a 100x e inmersión del objetivo en aceite, con la definición de algunos organismos eucarióticos (protozoos flagelados), muy interesantes para el alumnado por sus peculiares propiedades de movimiento. El interior citoplasmático se hace difícil de observar como consecuencia de la paridad en los índices de refracción entre el medio interno del Protoctista y el agua que le rodea.

El uso de este material en la Enseñanza media puede ser muy útil en la elaboración de preparaciones microscópicas de bajo coste para la observación de células eucariotas y procariotas, el estudio de los morfotipos y tamaños celulares. También puede ser muy útil para los estudios de interpretación de los componentes de la cadena trófica en ecosistemas acuáticos.

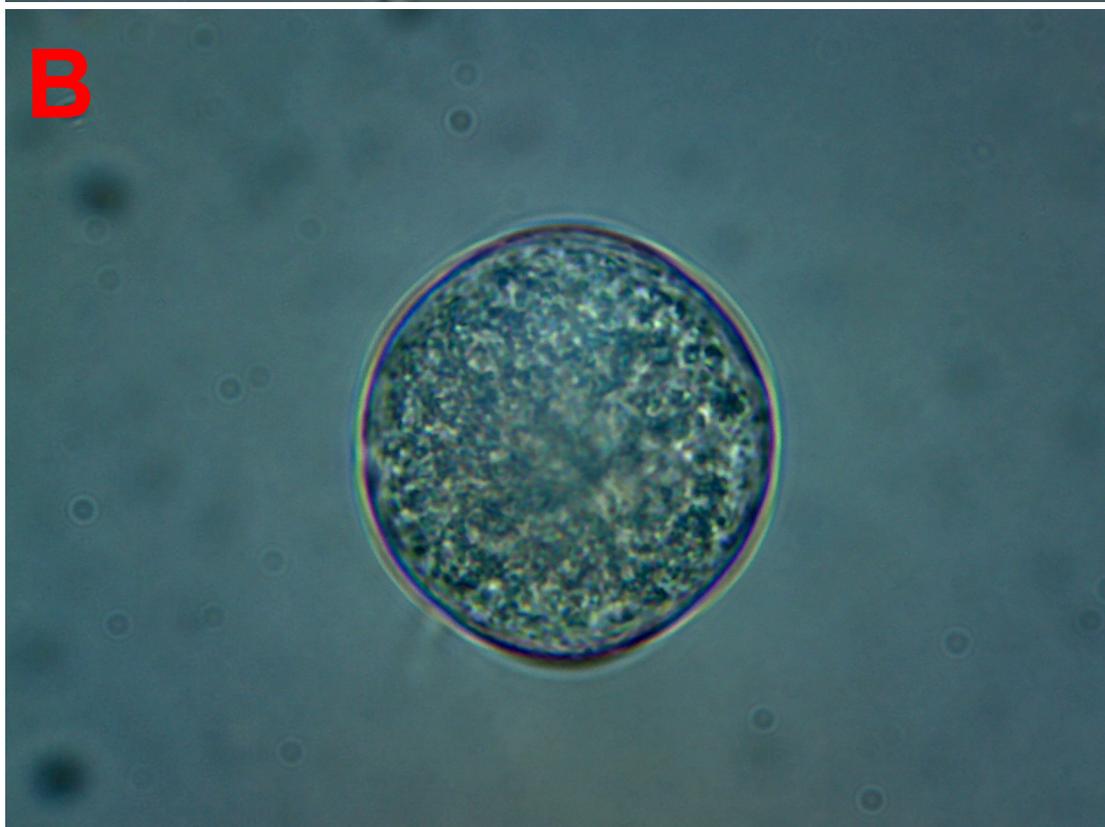
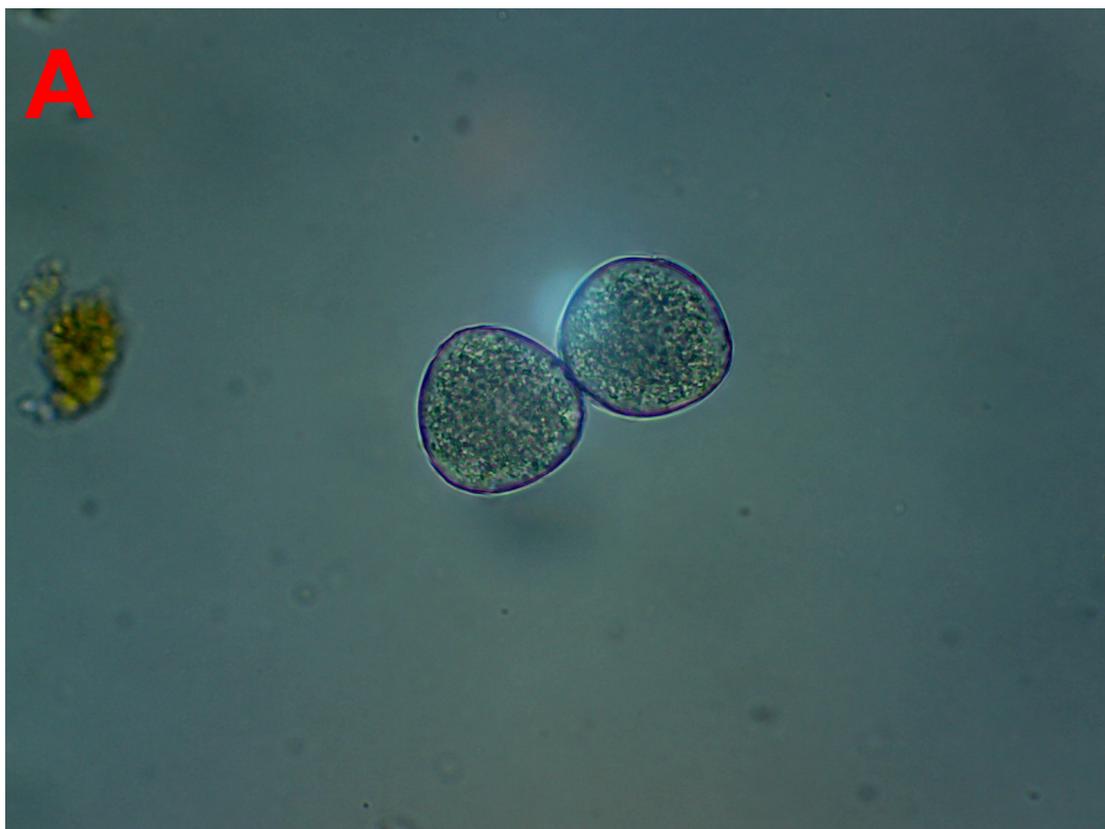






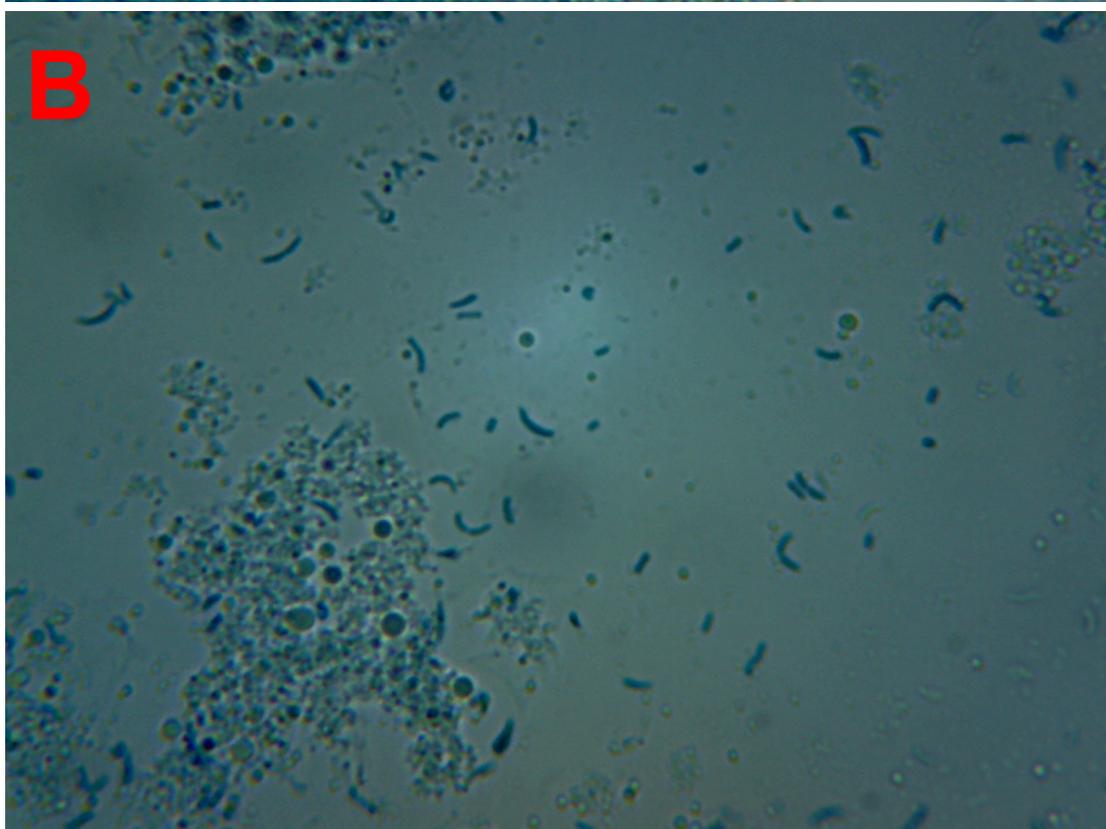
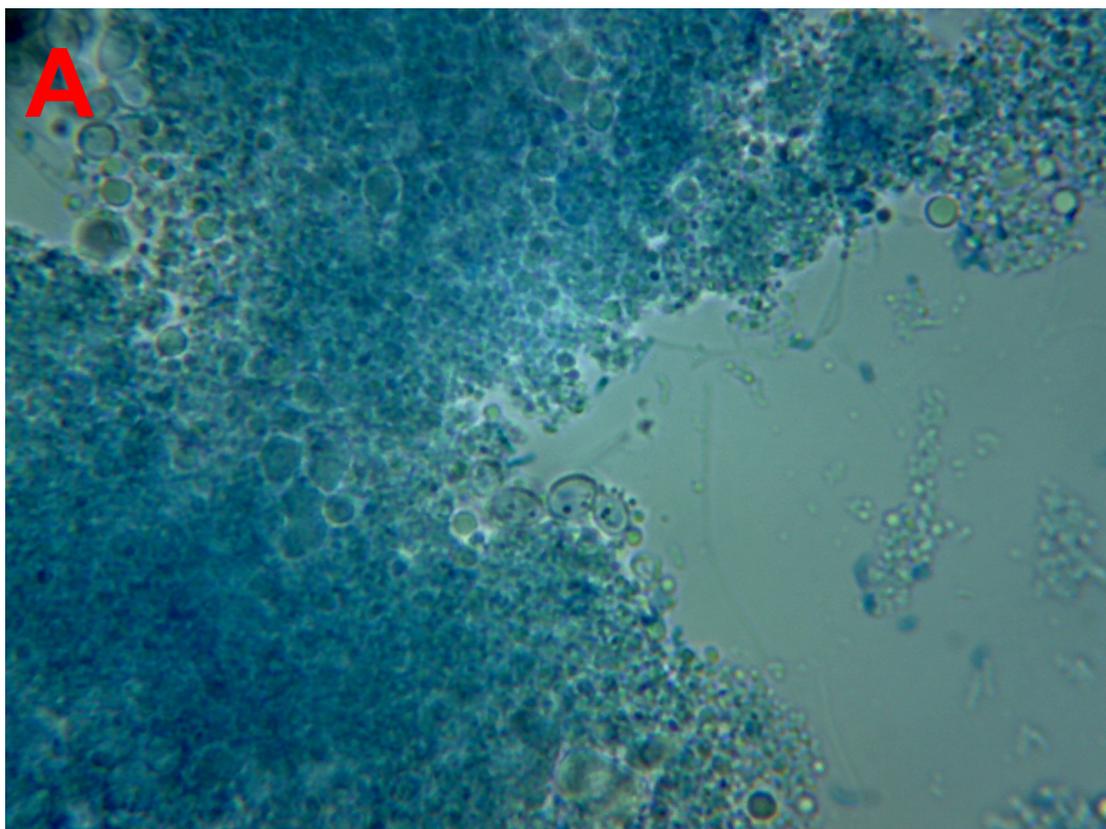
**FIGURA 48.** Imágenes al microscopio de campo claro de **granos de polen del árbol Tipuana** (*Tipuana tipu*), procedente de jardines que rodean al instituto. (A) Objetivo 40x. (B) Objetivo 100x e inmersión en aceite. Puede comprobarse el aspecto globoso, achatado por la zona ecuatorial, del polen de esta especie de angiosperma (familia Fabáceas), no mostrando estructuras anejas que le ayuden a la dispersión. Para lograr que esta estructura llegue a las inmediaciones del pistilo es necesario la ayuda de insectos portadores (entomofilia).

El uso de este material en la Enseñanza media puede ser muy útil en la elaboración de preparaciones microscópicas de bajo coste de organismos complejos, así como complemento de estudio de la reproducción en el reino *Plantae*. La observación del alumnado de este tipo de estructuras puede abrir el debate en el aula ofreciendo ideas sobre su (1) posible mecanismo de dispersión, en comparación con lo observado en la Figura 16 (polen de pino), (2) la producción masiva o el reducido número de estas estructuras para lograr la polinización, por parte del grupo de angiospermas y, (3) si cabe la necesidad de insectos para llevarlo hacia un pistilo.



**FIGURA 49.** Imágenes al microscopio de campo claro de **comunidades microbianas del kéfir**. Tinción con Azul de metileno. (A-B) Objetivo 100x e inmersión en aceite. El kéfir es una bebida láctea constituida por suero y un cuajo formado por granos que fermentan la leche sustrato. Su origen está basado en una amalgama de comunidades microbianas, entre las que se destacan integrantes del Reino Monera (*Streptococcus* sp., *Lactobacillus* sp., *Leuconostoc* sp. y *Acetobacter* sp.), del Reino Fungi (*Kluyveromyces* sp., *Torulaspota* sp., *Candida* sp. y *Saccharomyces* sp.), así como un imponente grupo de microorganismos desconocidos hasta el presente (Margulis, 2002). Es por lo tanto una bebida probiótica a la que se le han atribuido milagros sin base científica demostrada, pero con una historia asociada a la cultura humana envidiable.

El uso de este material en la Enseñanza media puede ser muy útil en la elaboración de preparaciones microscópicas de bajo coste de organismos procariotas y eucariotas primitivos. Para ello se procede con un secado sobre un portaobjetos de un frotis de kéfir (cuajo más suero) y tinción con Azul de metileno. Se recomienda la observación de las poblaciones microbianas con objetivo de 100x e inmersión en aceite.



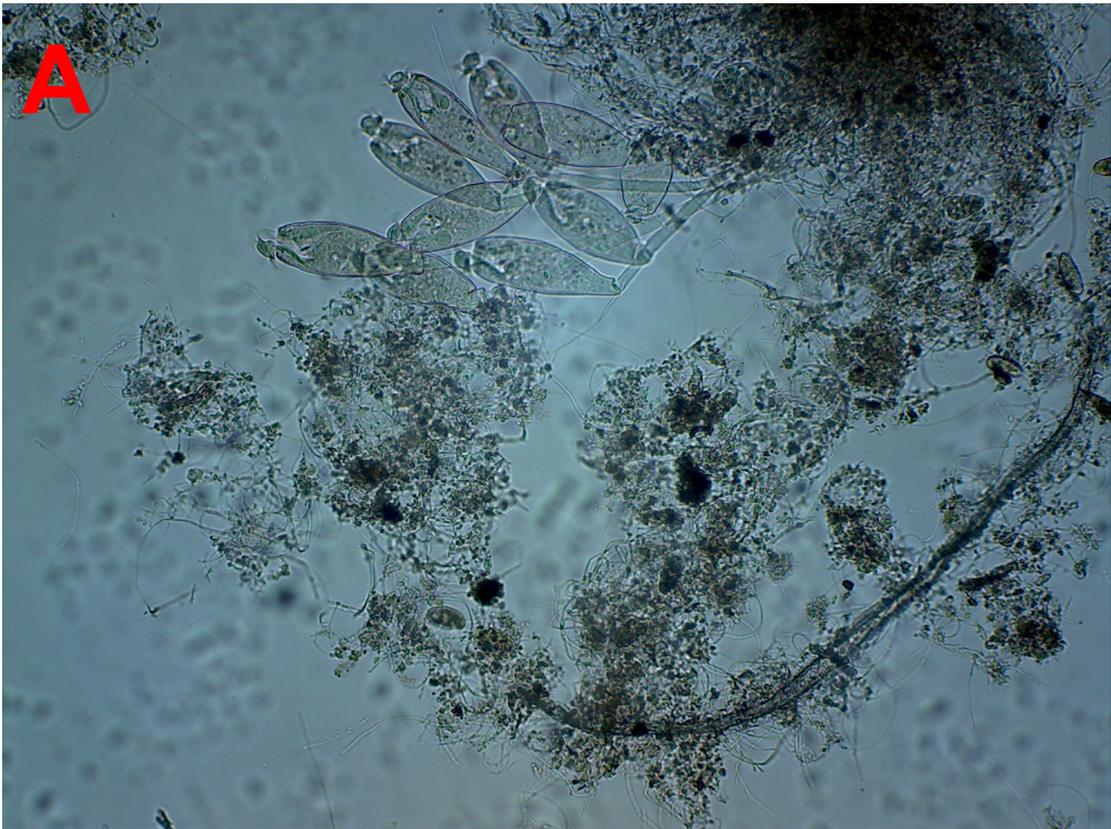
**FIGURA 50.** Imágenes al microscopio de campo claro de **comunidades microbianas presentes en un tanque de digestión aeróbica (tratamiento secundario)** de una depuradora de aguas residuales. (A-E) Objetivo 10x. (B-C-F) Objetivo 40x. (D) Objetivo 100x e inmersión en aceite. La degradación de la materia orgánica por parte de microorganismos se conoce como tratamiento biológico o secundario en una EDAR (Estación Depuradora de Aguas Residuales). En el tanque biológico la degradación tiene lugar vía aeróbica, por lo que las bacterias y organismos eucariotas oxidan de manera efectiva la misma dando lugar como productos finales dióxido de carbono y agua. El procedimiento de la degradación biológica en el tanque de la depuradora requiere de un flujo y agitación continua de aire (implicando un gasto energético importante para el sistema de depuración).

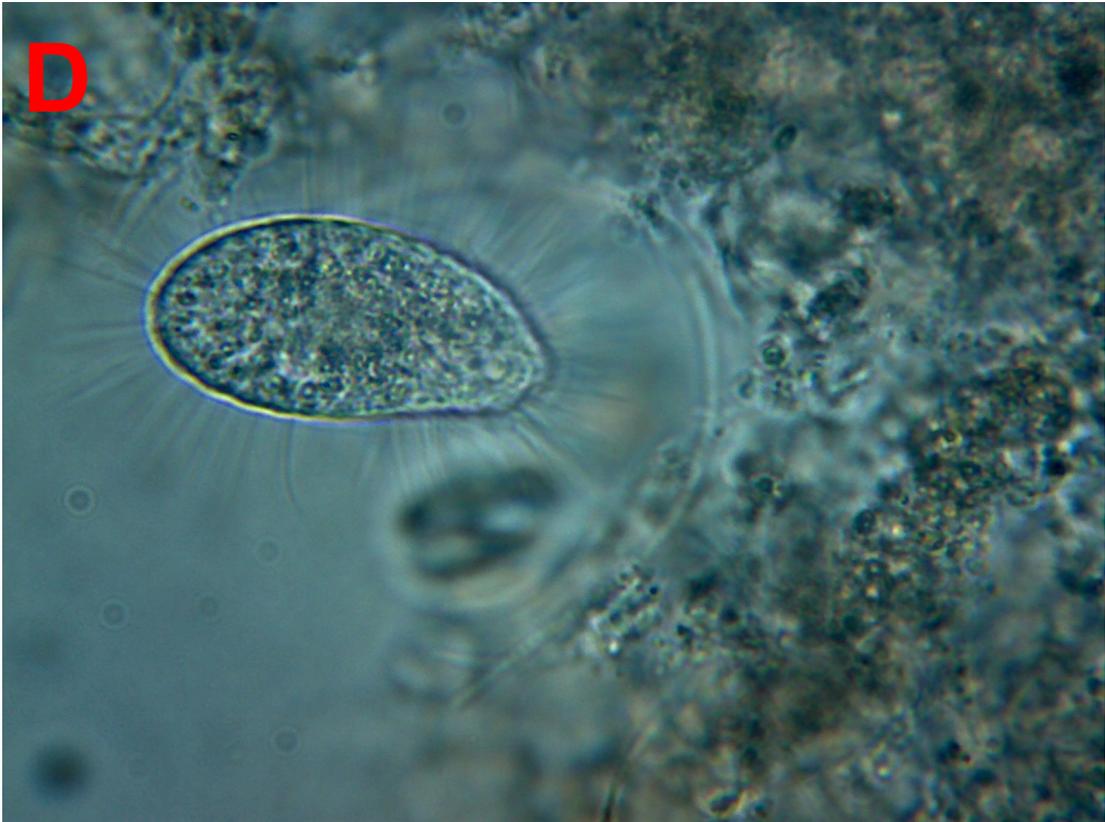
En las imágenes A y B se pone de manifiesto comunidades de protozoos sésiles (*Opercularia* sp.). Disponen en la boca de todo un conjunto de cilios cuya misión es acercar a las inmediaciones de la misma la materia orgánica y bacterias a incorporar.

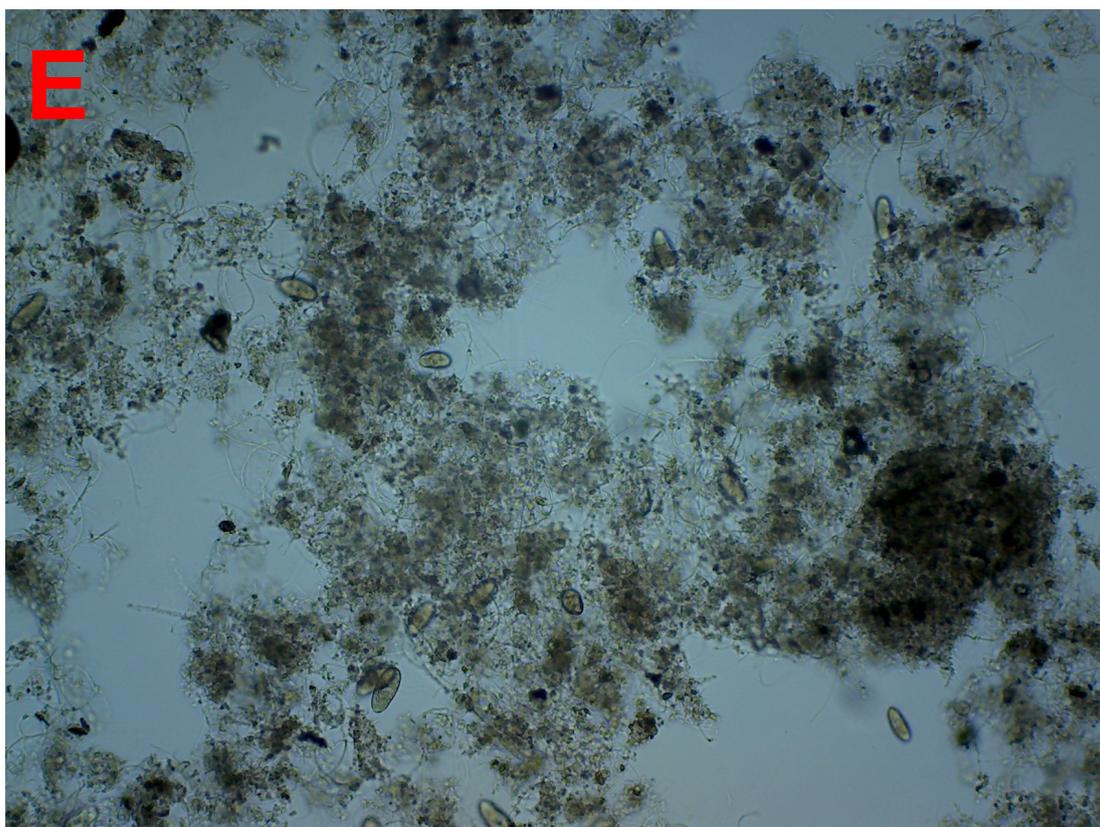
En la imagen C y D se denota la presencia de ejemplares de protozoos ciliados; esta vez móviles. Además, se señala en la imagen C la bondad ecológica que debe existir en cualquier nicho, cuando puede contemplarse una interacción inespecífica entre especies microbianas (flecha), con un grado de complejidad inexplicable para la ciencia en nuestros días.

Las imágenes E y F ponen de manifiesto el flóculo (materia orgánica y mineral entrelazada con microorganismos filamentosos) y su naturaleza abierta (disperso), donde las comunidades de protozoos ciliados móviles son abundantes y campan a sus anchas, cumpliendo la misión de degradar la materia orgánica y poblaciones microbianas.

El uso de este material en la Enseñanza media puede ser muy útil en la elaboración de preparaciones microscópicas de bajo coste para la observación de células eucariotas y procariotas, el estudio de los morfotipos y tamaños celulares. También puede ser muy útil para los estudios de interpretación de los componentes de la cadena trófica en ecosistemas acuáticos.

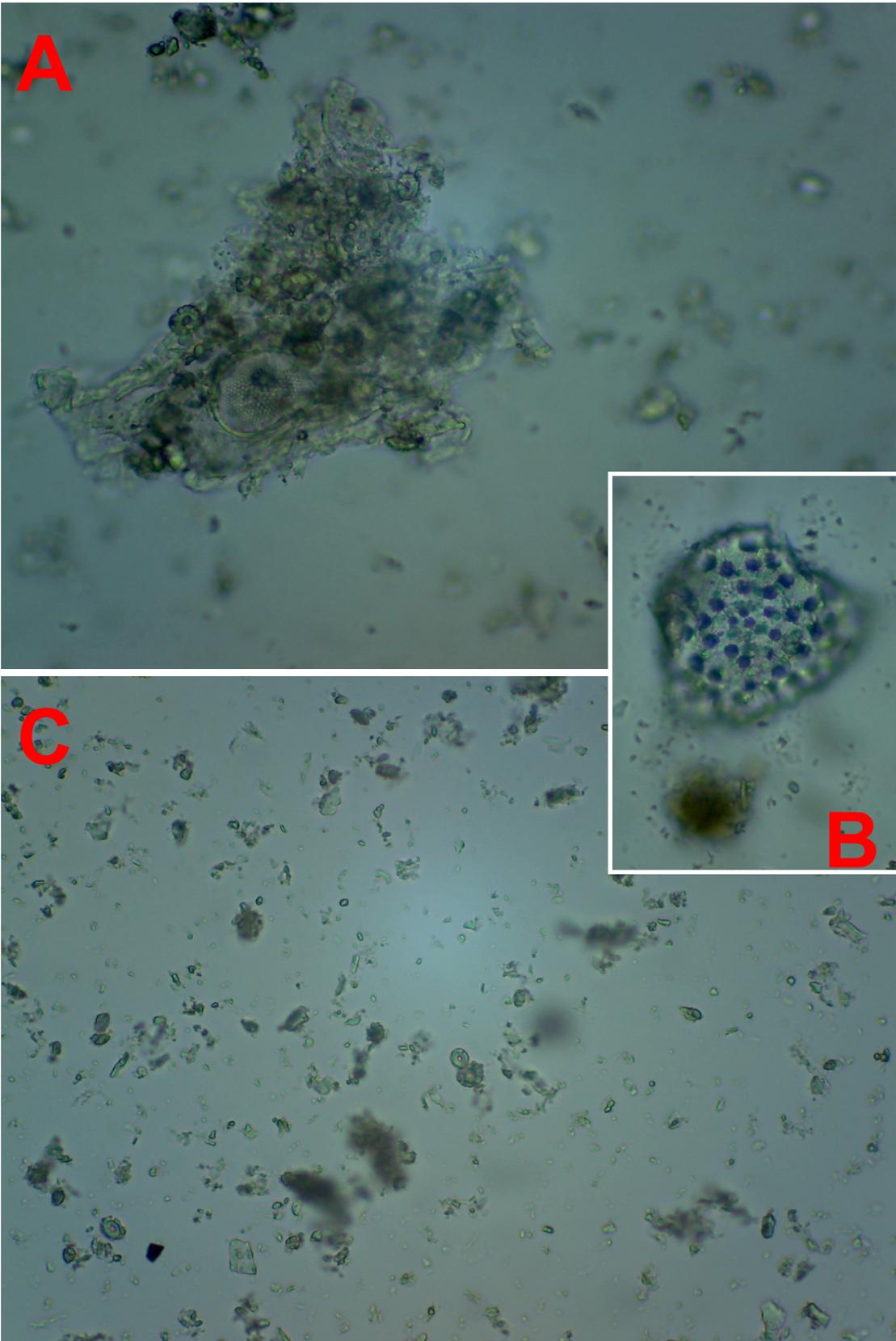






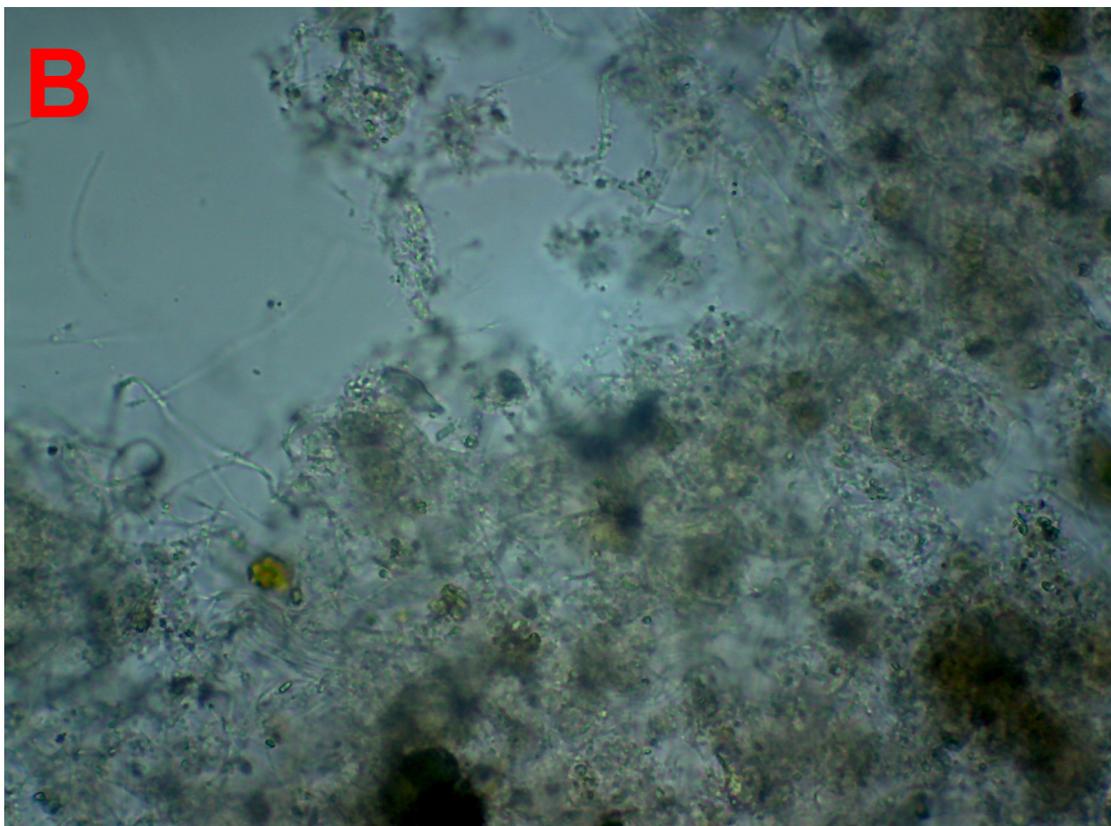
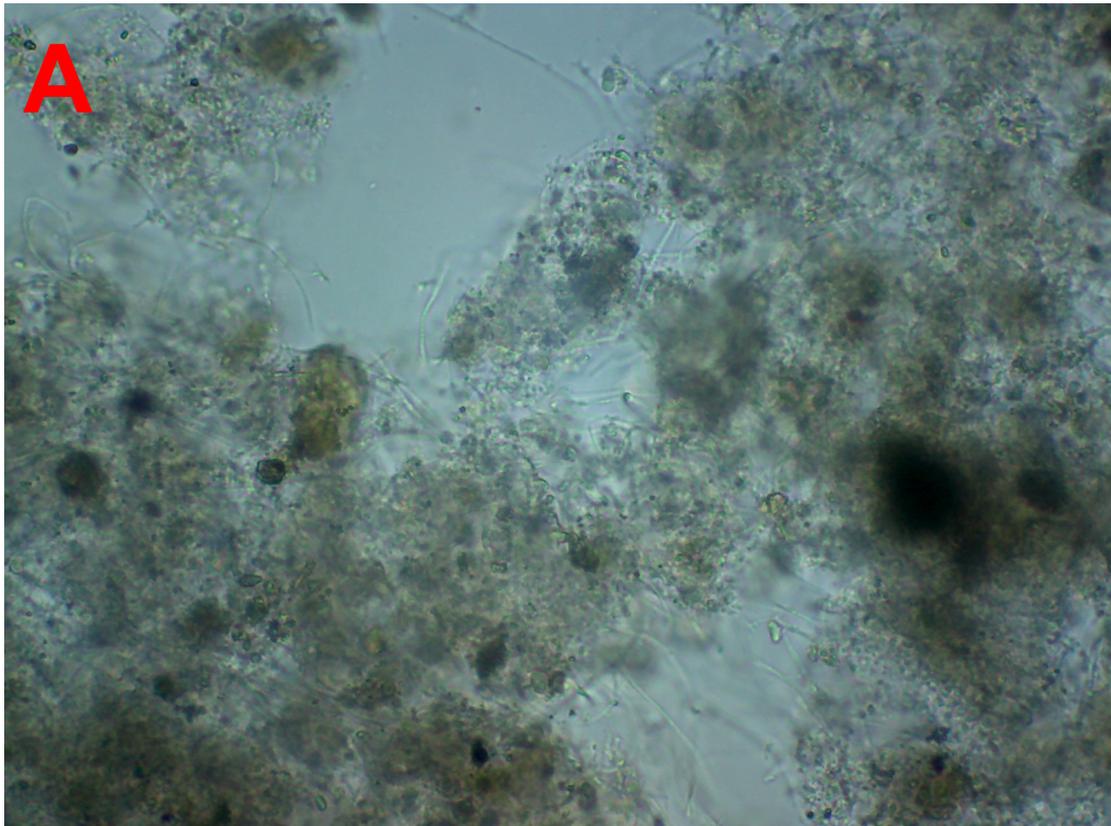
**FIGURA 51.** Imágenes al microscopio de campo claro de los **constituyentes macroscópicos de una diatomita (roca sedimentaria constituida por diatomeas)**. (A-B-C) Objetivo 40x. La baja consistencia de algunas rocas sedimentarias hace posible su observación al microscopio. La diatomita, roca sedimentaria formada por la acumulación de restos de algas diatomeas (ver Figuras 39 y 45 del presente trabajo), tiene la facilidad de descomponerse en fragmentos muy pequeños cuando se le adiciona agua, dejando ver sus constituyentes más elementales. Las imágenes presentadas nos ofrecen la visión del mineral de la cual están formadas este tipo de rocas (C), así como los caparazones de restos de organismos marinos (A y B) (en este caso se trata de una muestra de diatomitas cogida en las inmediaciones de la Serrata de la cuenca Neógena de Lorca, en la carretera que une este paraje con Caravaca).

El uso de este material en la Enseñanza media puede ser muy útil en la elaboración de preparaciones microscópicas de bajo coste de material geológico, observando su constitución y posible origen.



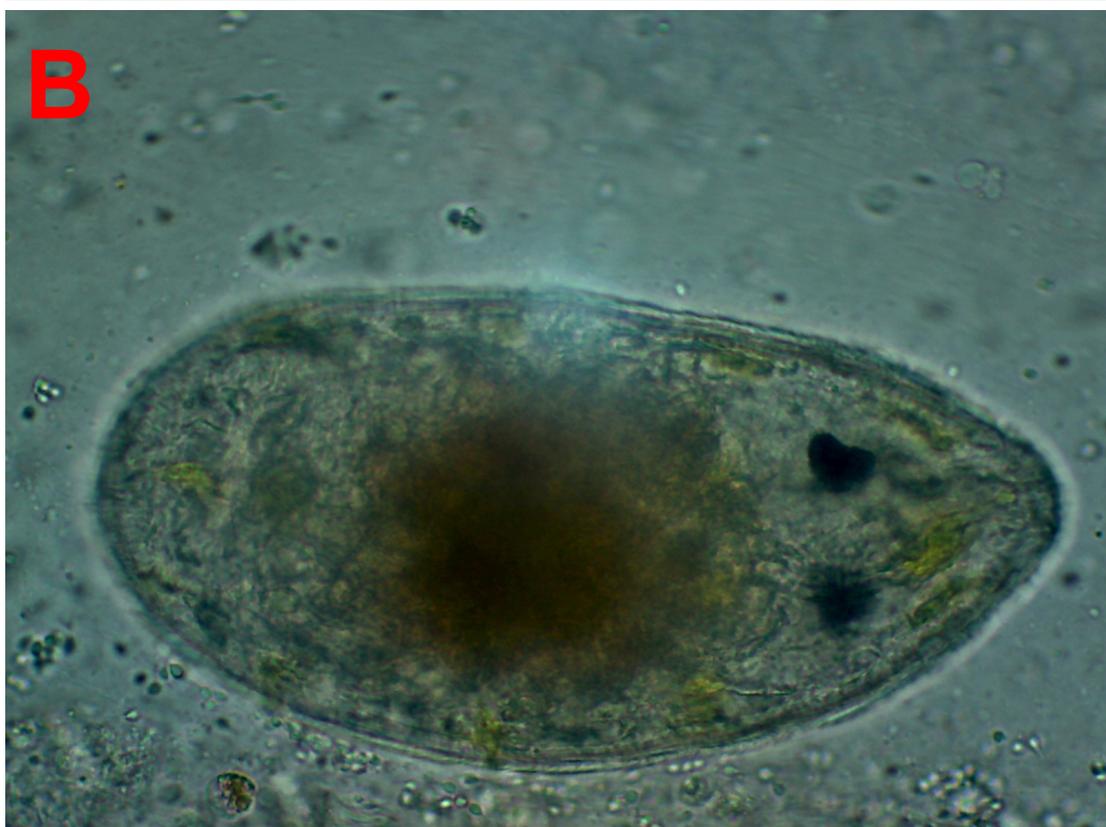
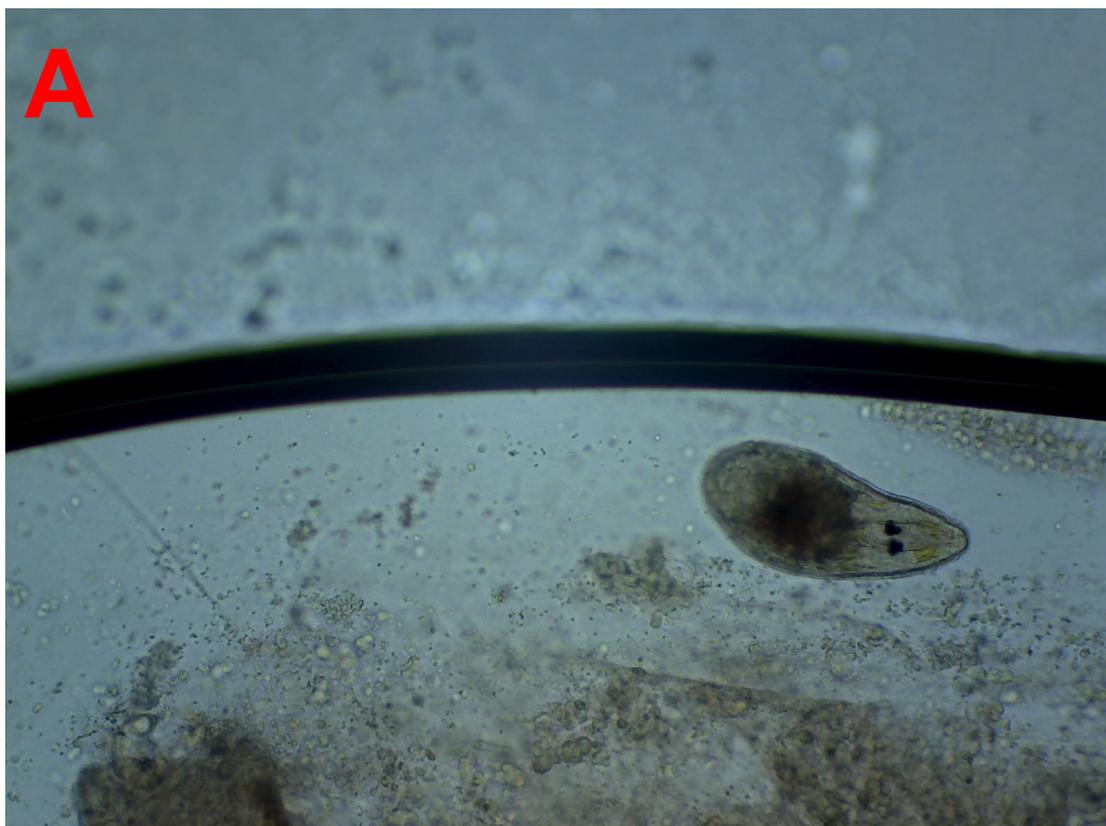
**FIGURA 52.** Imágenes al microscopio de campo claro de la **Línea de fangos de una depuradora de aguas residuales**. (A-B) Objetivo 40x. La depuración activa con gasto de energía implica un proceso donde el flóculo adquiere mayor consistencia y se separa por gravedad de la masa de agua que lo contiene. La línea de fangos comprende el conjunto de tratamientos que se llevan a cabo sobre el flóculo para que pierda todo su poder tóxico (en materia microbiana) y pueda ser utilizado como abono orgánico. Un análisis microscópico de este fango compactado, como el que muestra estas imágenes, ofrece la posibilidad de encontrar gran cantidad de materia mineral y orgánica, junto a microorganismos de fisionomía fibrilar que la estabilizan. Desaparecen las comunidades de protozoos, ya que el sistema pasa a comportarse como anaeróbico. Las poblaciones de bacterias serán ahora las responsables de la degradación de la materia orgánica; proceso más lento que se compagina en la sala de depuración con la pérdida del agua residual hasta generar una pasta utilizada en compostaje.

El uso de este material en la Enseñanza media puede ser muy útil en la elaboración de preparaciones microscópicas de bajo coste para la observación de células eucariotas y procariotas, el estudio de los morfotipos y tamaños celulares. También puede ser muy útil para los estudios de interpretación de los procesos biológicos llevados a cabo durante la depuración de las aguas mediante tratamiento activos con gasto energético.



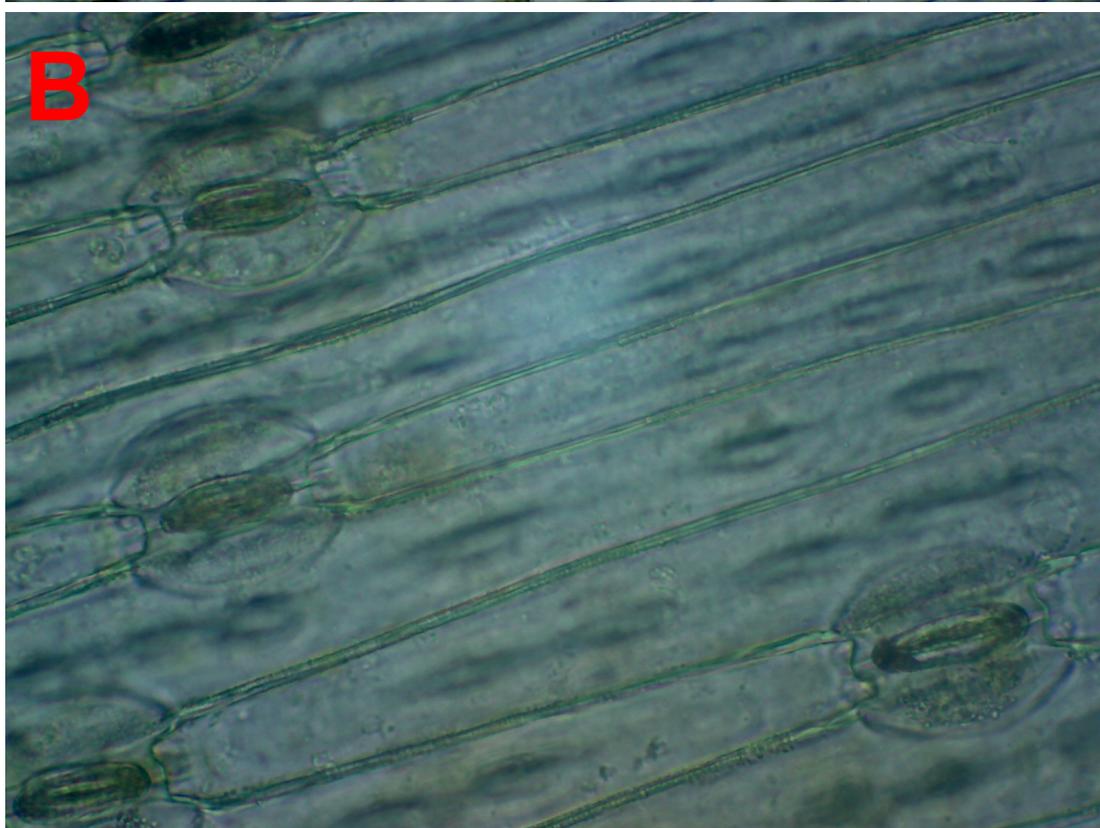
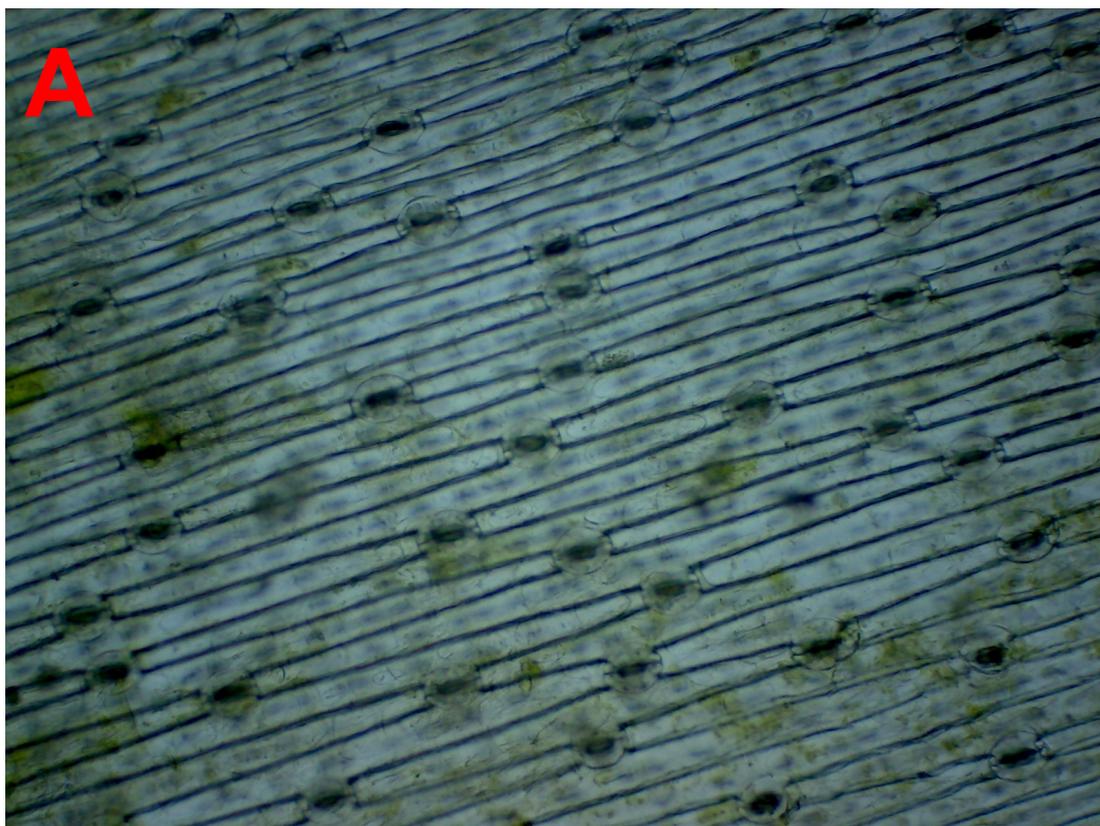
**FIGURA 53.** Imágenes al microscopio de campo claro de **parásitos sobre branquias de mejillón**. (A) Objetivo 10X. (B) Objetivo 40x. Las preparaciones microscópicas también pueden ofrecer casos insólitos y descubrir nuevos aspectos inimaginables para los alumnos. En este caso, analizando el epitelio ciliado de la branquia de mejillón (ver Figura 29) apareció un individuo que captó la atención del alumnado. Al parecer se trata de un estadio juvenil de platelminto parásito, perteneciente al género *Gyratrix*.

El uso de este material en la Enseñanza media puede ser muy útil en la elaboración de preparaciones microscópicas de bajo coste para la observación de metozoos inferiores y sus rasgos incipientes de ecología.



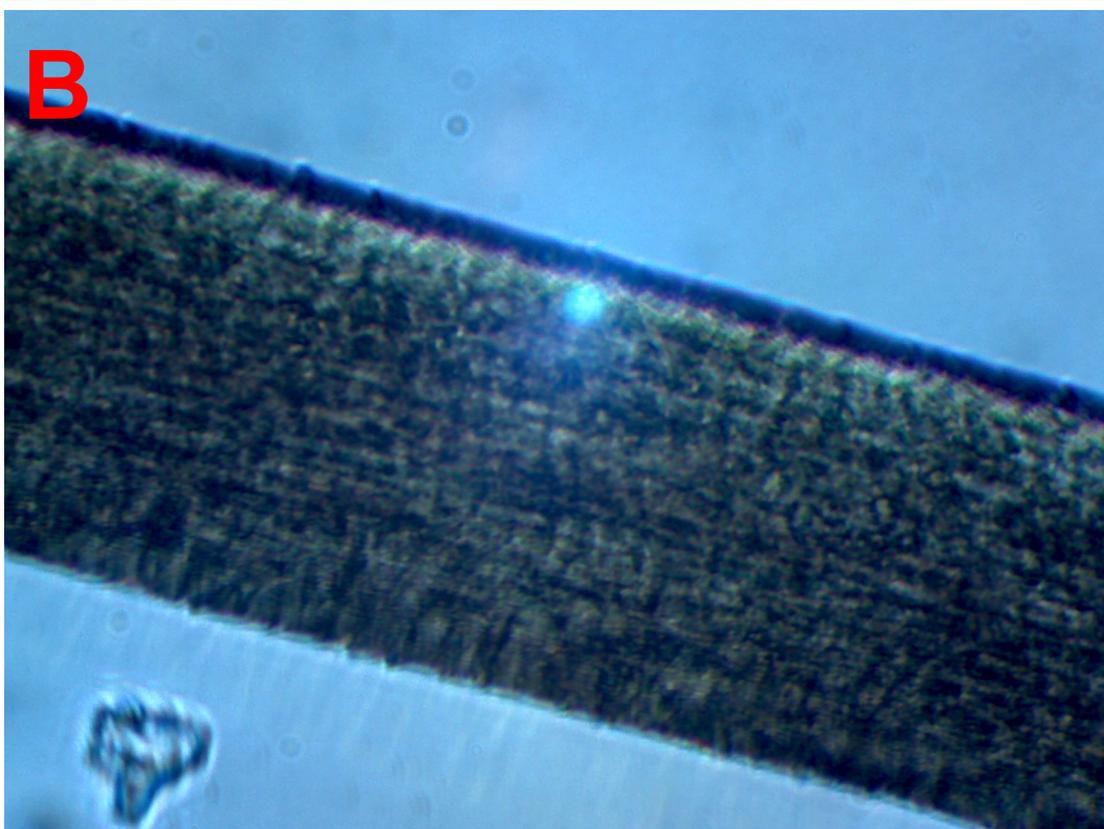
**FIGURA 54.** Imágenes al microscopio de campo claro de **estomas de puerro** (*Allium ampeloprasum*). (A) Objetivo 10X. (B) Objetivo 40x. Los estomas o aparatos estomáticos son diferenciaciones de la epidermis vegetal, aperturas constituidas por dos pares de células de morfología reniforme que dejan un espacio abierto, el poro u ostiolo (Strasburger et al., 1986, páginas 118-120). Las células son llamadas oclusivas. Los estomas son sistemas que regulan la entrada y salida de gases y, en especial, de la transpiración (pérdida de agua).

El uso de este material en la Enseñanza media puede ser muy útil en la elaboración de preparaciones microscópicas de bajo coste para la observación de células eucariotas, así como diferenciaciones en tejidos (epidermis vegetal). También puede ser muy útil para los estudios de interpretación de la nutrición de las plantas (trasiego de la savia por el interior de la planta y actividad fotosintética).



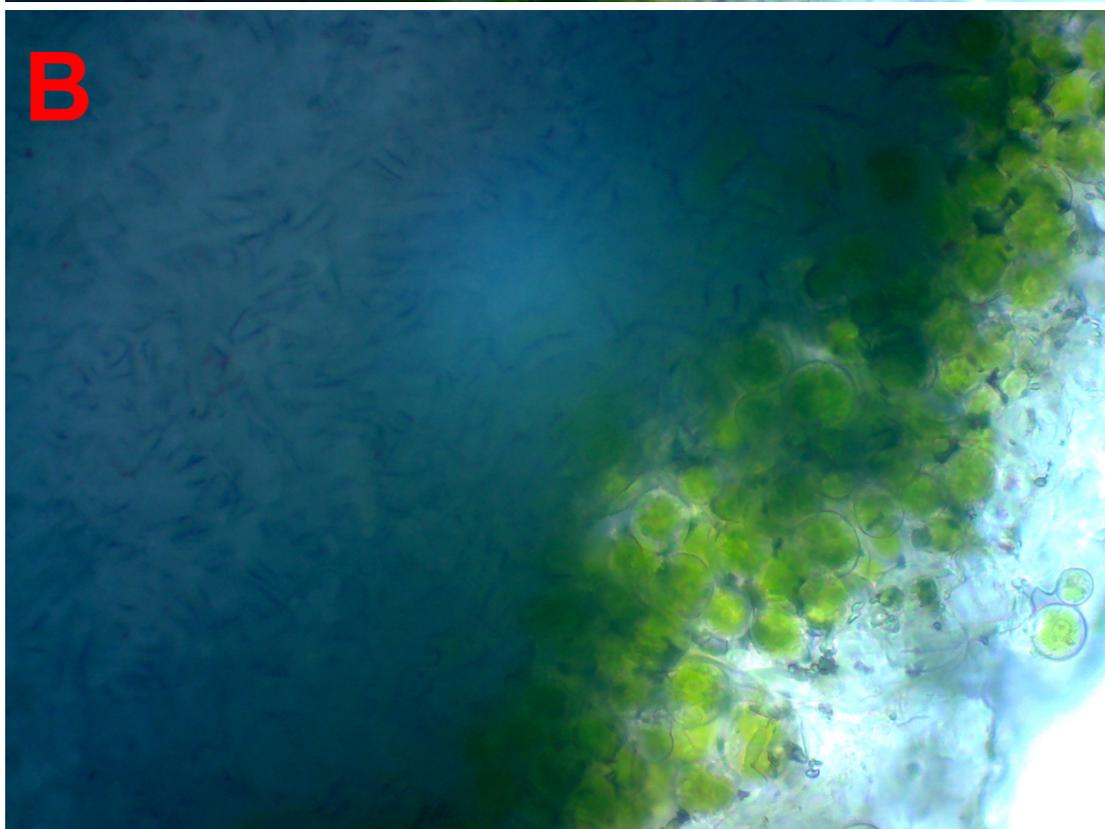
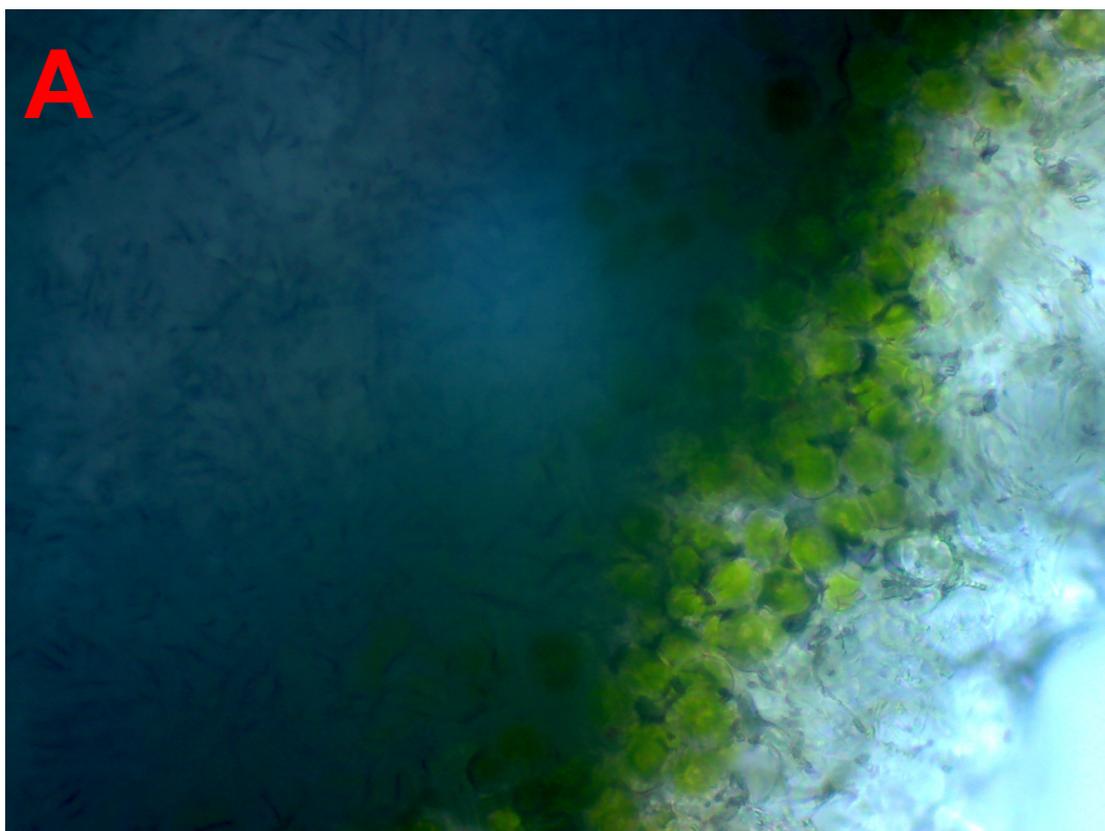
**FIGURA 55.** Imágenes al microscopio de campo claro de **cabello humano**. (A) Objetivo 10X. (B) Objetivo 40x. El pelo es una organización macroscópica de la proteína  $\alpha$ -queratina (Voet y Voet, 1992). Al microscopio de campo claro no se aprecian rasgos llamativos que definan la estructura interna biológica.

El uso de este material en la Enseñanza media es accesorio, ya que no aporta ningún rasgo microscópico relevante. No obstante, el interés mostrado por el alumnado por su observación se hace obligatorio, incrementando con ello su motivación e interés por la microscopía.



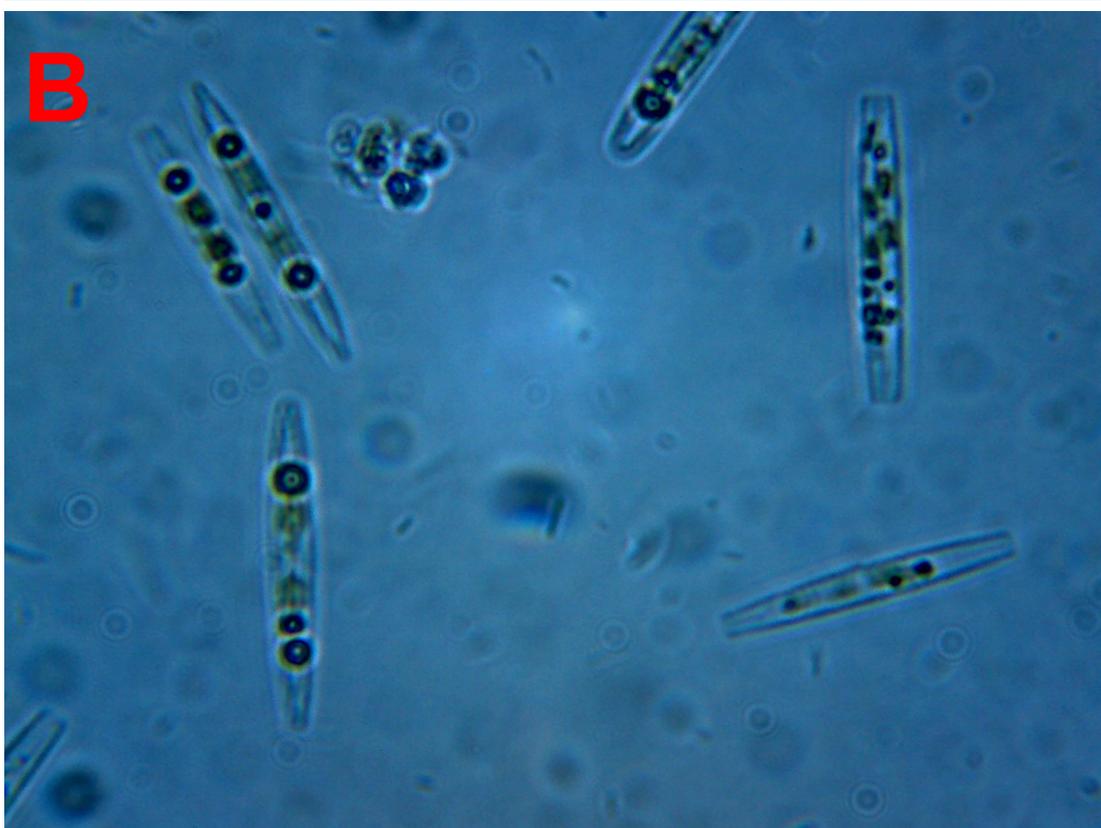
**FIGURA 56.** Imágenes al microscopio de campo claro de una **sección fina de líquen (*Cladonia convoluta*)**. (A-B) Objetivo 40x. En la actualidad se acepta que los líquenes son hongos liquenizados; es decir aquellos que viven en simbiosis con algas. El componente fúngico del líquen recibe el nombre de micobionte (que nunca aparece libre en la naturaleza); ficobionte recibe el nombre del componente algal. El talo es el cuerpo vegetativo que presentan los líquenes y que se pone de manifiesto sus integrantes en las siguientes imágenes. Este talo se define como heterómero, ya que hay una disposición ordenada entre el hongo (gris-verdoso) y el alga (verde). El alga proporciona al hongo todos los productos derivados de la actividad fotosintética; incluso la simbiosis puede llegar a intensificar esta actividad anabólica. Los micobiontes proporcionan al alga sustancias necesarias para la vida, tales como sales minerales y agua. En algunas ocasiones (Strasburger et al., 1986, página 378-379), la relación entre los componentes del líquen es interpretada como una relación de parasitismo atenuado del hongo respecto al alga (ya que este recibe mucho más de lo que da).

El uso de este material en la Enseñanza media puede ser muy útil en la elaboración de preparaciones microscópicas de bajo coste para la observación de células eucariotas. El problema que presenta este tipo de preparaciones es el corte del material vegetal. Se aconseja la lectura de "Material y Metodología especial", al final de esta monografía, con el objetivo de profundizar en una técnica de bajo coste y de relativa sencillez para trabajar con secciones finas de muestra en microscopía con alumnos (sobre todo con aquellos de 4º ESO y 1º Bachillerato).



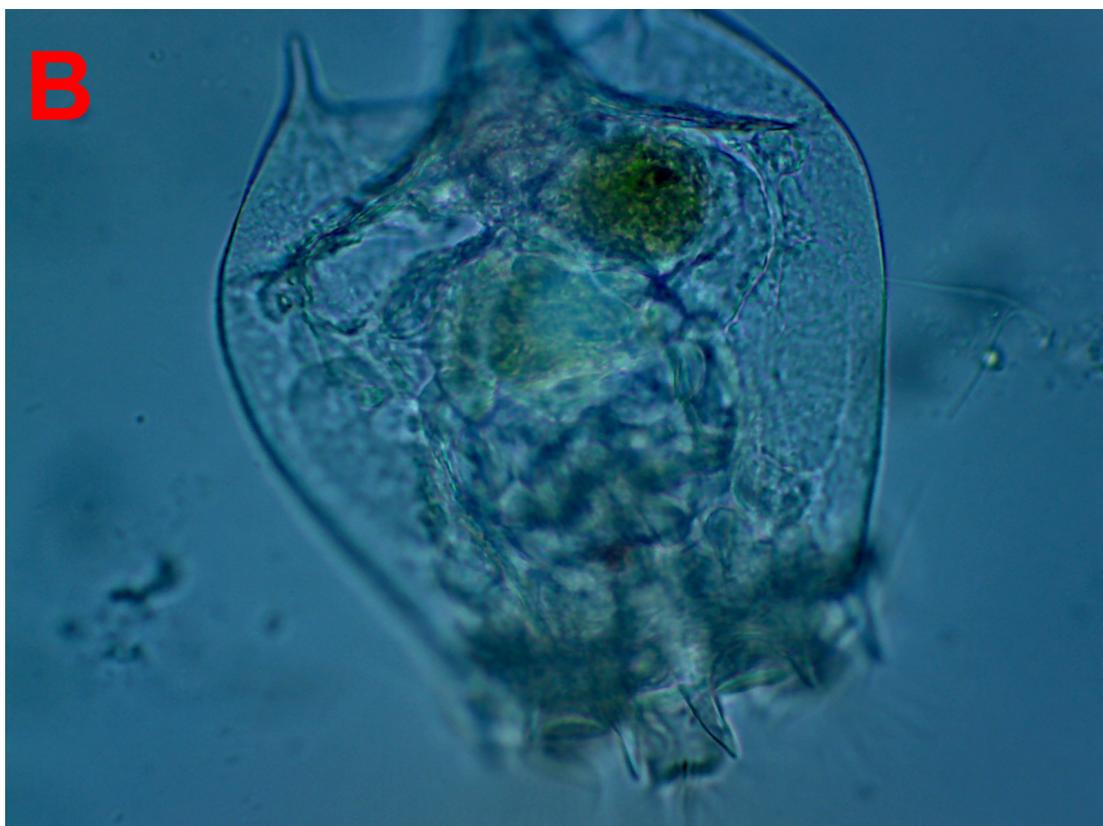
**FIGURA 57.** Imágenes al microscopio de campo claro de un **“blooms” de algas diatomeas.** (A) Objetivo 40x. (B) Objetivo 100x e inmersión en aceite. Las diatomeas comprende un complejo grupo de algas unicelulares o coloniales que carecen de flagelos que le proporcionen movilidad. Están rodeadas por una pared de naturaleza silíceo, el frústulo. Esta pared está constituida por dos mitades que encajan a modo de una placa de Petri (Strasburger et al., 1986, páginas 608-612). Las diatomeas pennadas son aquellas que presentan frústulos alargados, como los que se muestran en estas imágenes. Pueden presentar una fisura en el centro llamada rafe; así como de dos a cuatro grandes cloroplastos. Llama la atención en la preparaciones de agua de charca que cuando se exponen largo tiempo las muestras a la luz del microscopio, las diatomeas se aglomeran a la fuente lumínica, dando la impresión de blooms o floraciones de este tipo de algas. Ver información extra en la Figura 39.

El uso de este material en la Enseñanza media puede ser muy útil en la elaboración de preparaciones microscópicas de bajo coste para la observación de células eucariotas, el estudio de los morfotipos y tamaños celulares. También puede ser muy útil para los estudios de interpretación de los componentes de la cadena trófica en ecosistemas acuáticos.



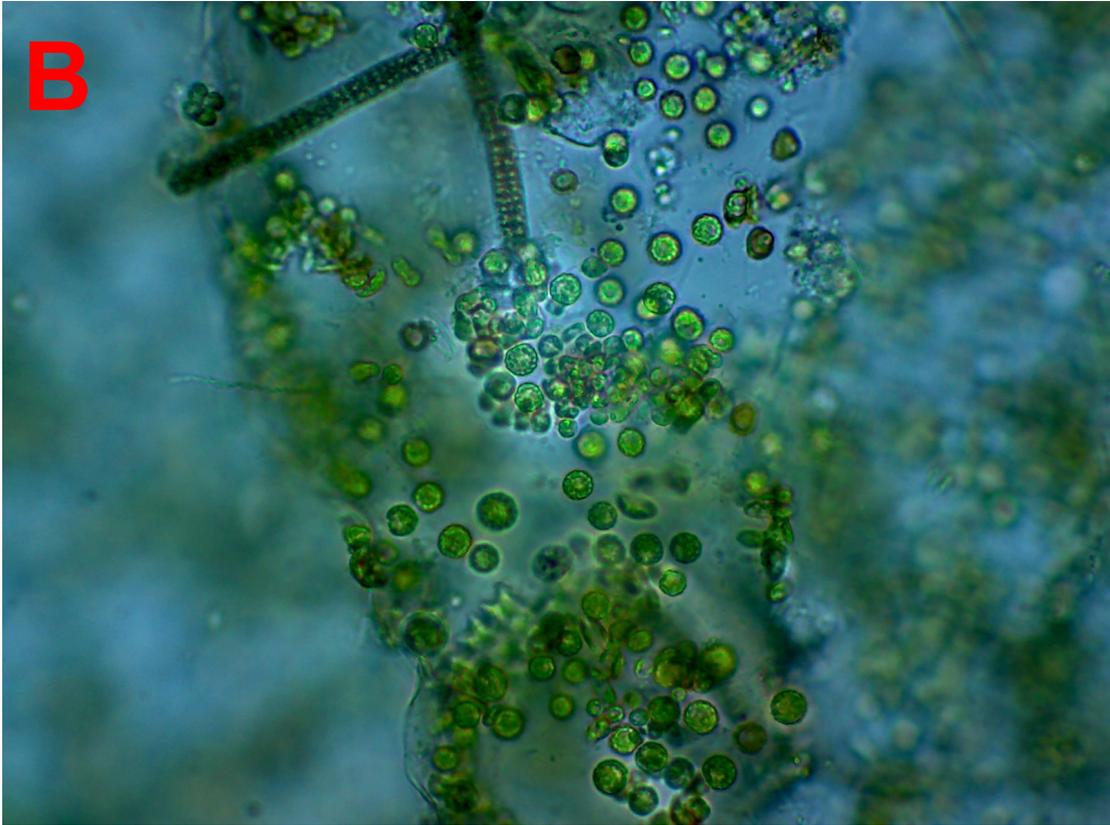
**FIGURA 58.** Imágenes al microscopio de campo claro del **rotífero *Brachionus sp.*** (comedor empedernido de las aguas superficiales). (A) Objetivo 10x. (B) Objetivo 40x. *Brachionus* pertenece a un género de rotíferos, animales muy primitivos habitantes de aguas dulce acuícolas y saladas. Se recomienda la información general que se cita en la Figura 18.

El uso de este material en la Enseñanza media puede ser muy útil en la elaboración de preparaciones microscópicas de bajo coste para la observación de metozoos inferiores y sus rasgos incipientes de ecología.



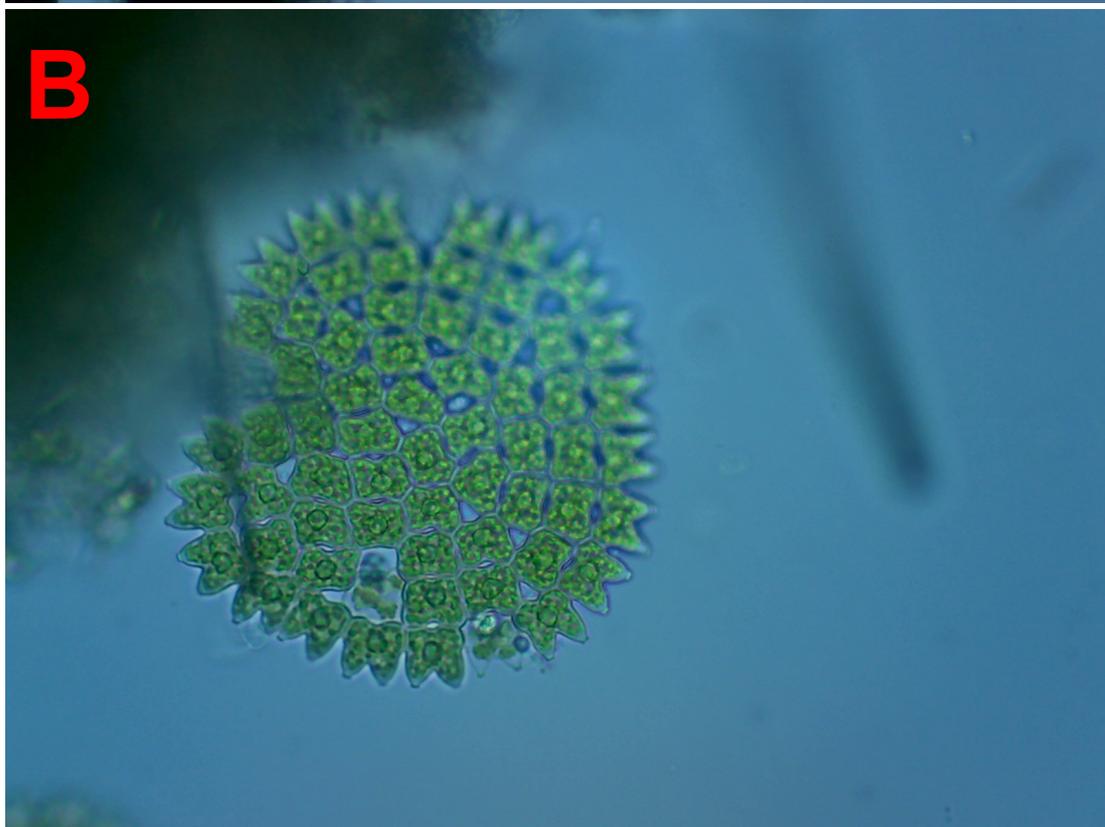
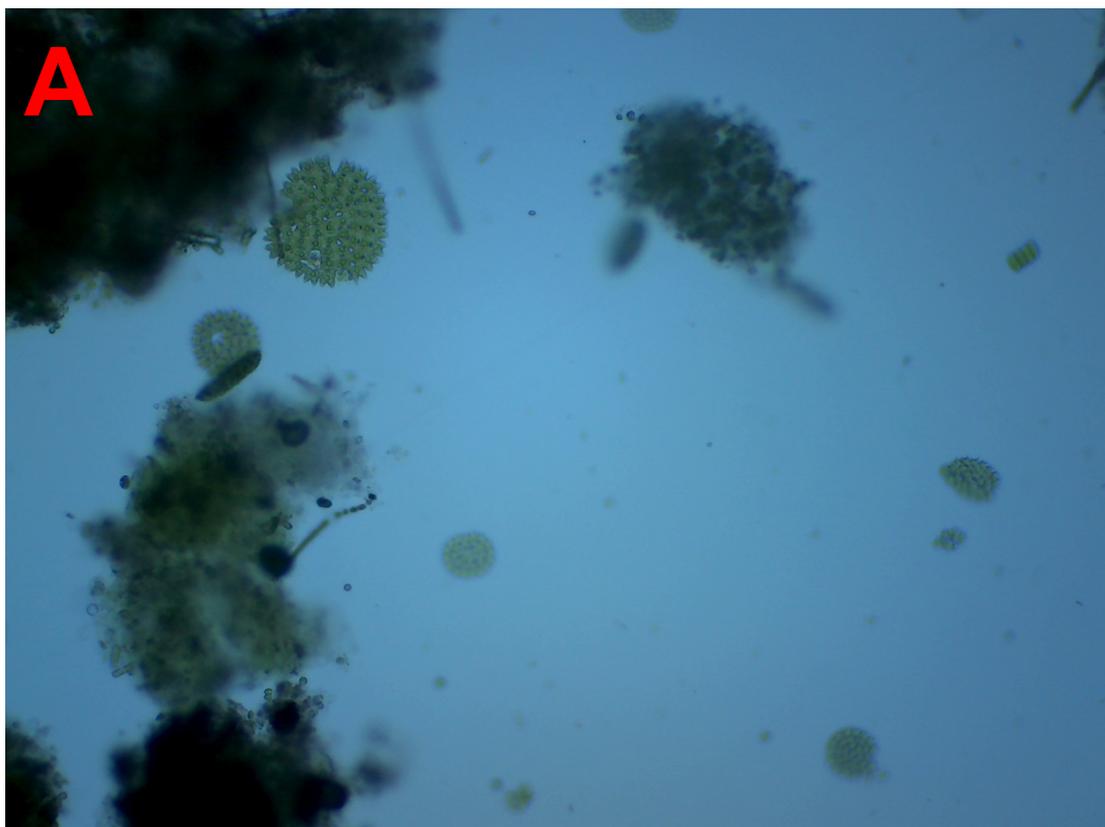
**FIGURA 59.** Imágenes al microscopio de campo claro de la **diversidad de protoctistas (algas) en una muestra de agua con un biofilm** de pared de una de las lagunas de Campotejar (Molina de Segura). (A-B) Objetivo 40x. El fitoplancton es el conjunto de organismos acuáticos que presentan actividad autotrófica (generalmente fotosintética). Dentro de este grupo se encuentran -tradicionalmente- las algas (macro y microscópicas), como las que se muestran en las siguientes imágenes. La principal característica que define a estos organismos es la presencia de pigmentos verdes, clorofílicos. El fitoplancton se encuentra en la base de las cadenas tróficas del ecosistema acuático, responsable de la producción de oxígeno.

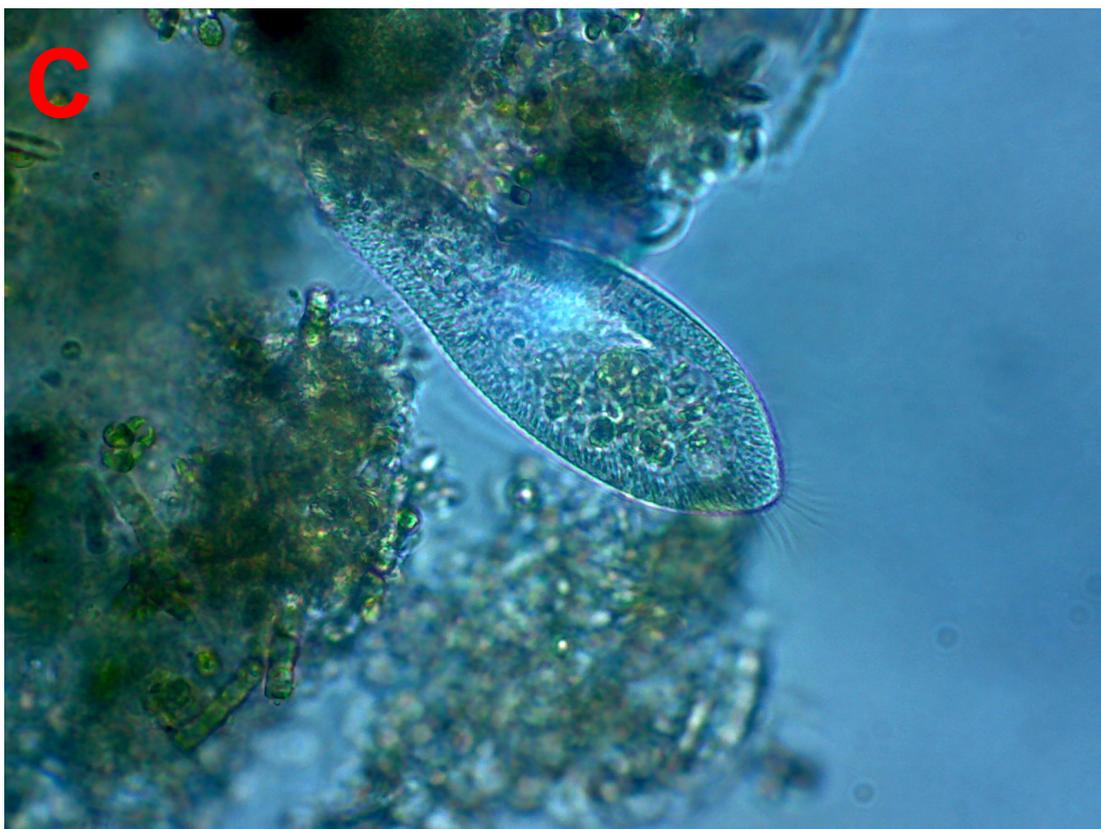
El uso de este material en la Enseñanza media puede ser muy útil en la elaboración de preparaciones microscópicas de bajo coste para la observación de comunidades microscópicas y las relaciones tróficas entre sus integrantes. Se recomienda para alumnos de primer curso de enseñanza media como medio de estimulación, motivación y acercamiento incipiente hacia las Ciencias Naturales.



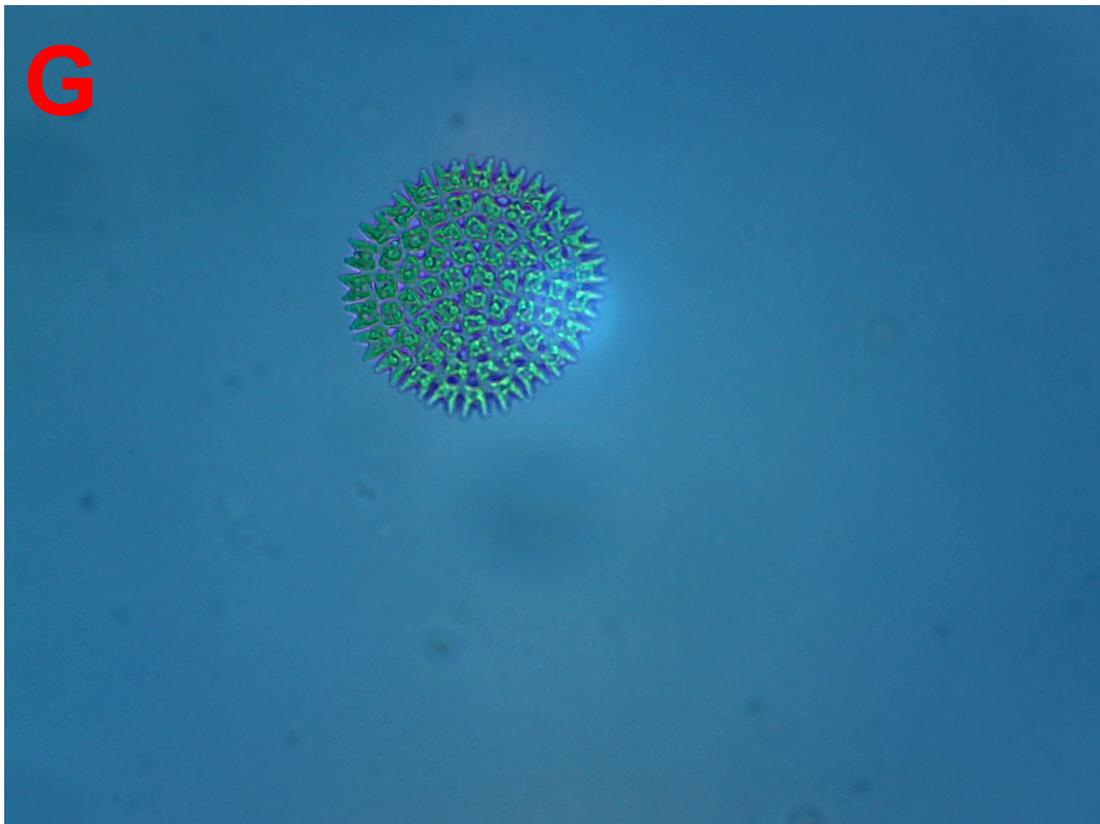
**FIGURA 60.** Imágenes al microscopio de campo claro de la **diversidad de protoctistas (algas y protozoos) e invertebrados (larvas de insectos) en una muestra de agua con un biofilm** de pared de una de las lagunas de Campotejar (Molina de Segura). (A) Objetivo 40x. (B) Objetivo 100x e inmersión en aceite. (C-D) Objetivo 100x e inmersión en aceite. (E) Objetivo 10X. (F) Objetivo 100x e inmersión en aceite. (G-H) Objetivo 40x. (I) Objetivo 10x. (J) Objetivo 40x. (A) Fitoplancton dulceacuícola dominado por el alga colonial verde *Pediastrum* sp. Esta microalga, de morfología espectacular, se origina mediante bipartición, constituyendo un cenobio celular o colonia. (B) Detalle a gran aumento del cenobio celular que constituye *Pediastrum*. Este tipo de organismo y su organización celular ha sido objeto de estudio por científicos evolutivos (Margulis, 2001), ya que marca un punto de inflexión en el paso de arquitectura unicelular a la pluricelular (origen de los organismos superiores-constitución de tejidos). (C) Protoctista móvil heterótrofo, el paramecio. Quizás el organismo más conocido por la comunidad educativa. Se caracteriza por la multitud de cilios que tapizan la superficie, responsables del movimiento del microorganismo. (D) Pareja de paramecios unidos, posiblemente para intercambio de material génico (la llamada conjugación sexual). (E) Larva de insecto acuático. Organismo detritívoro muy influyente en el correcto equilibrio del ecosistema. (F) Cianobacteria, integrante del género *Oscillatoria*. Se recomienda la lectura de la Figura 38. (G) Detalle de una colonia de *Pediastrum* sp. (H) Detalle del alga verde colonial, no móvil, *Scenedesmus* sp. Presenta ornamentaciones externas a modo de cuernos protectores. Este tipo de microalgas se están utilizando en tecnología de producción de biocombustibles (Christenson y Sims, 2011). (I-J) Blooms de diatomeas focalizadas en torno a un flóculo de materia orgánica, tras la exposición continua del haz de luz del microscopio sobre la muestra.

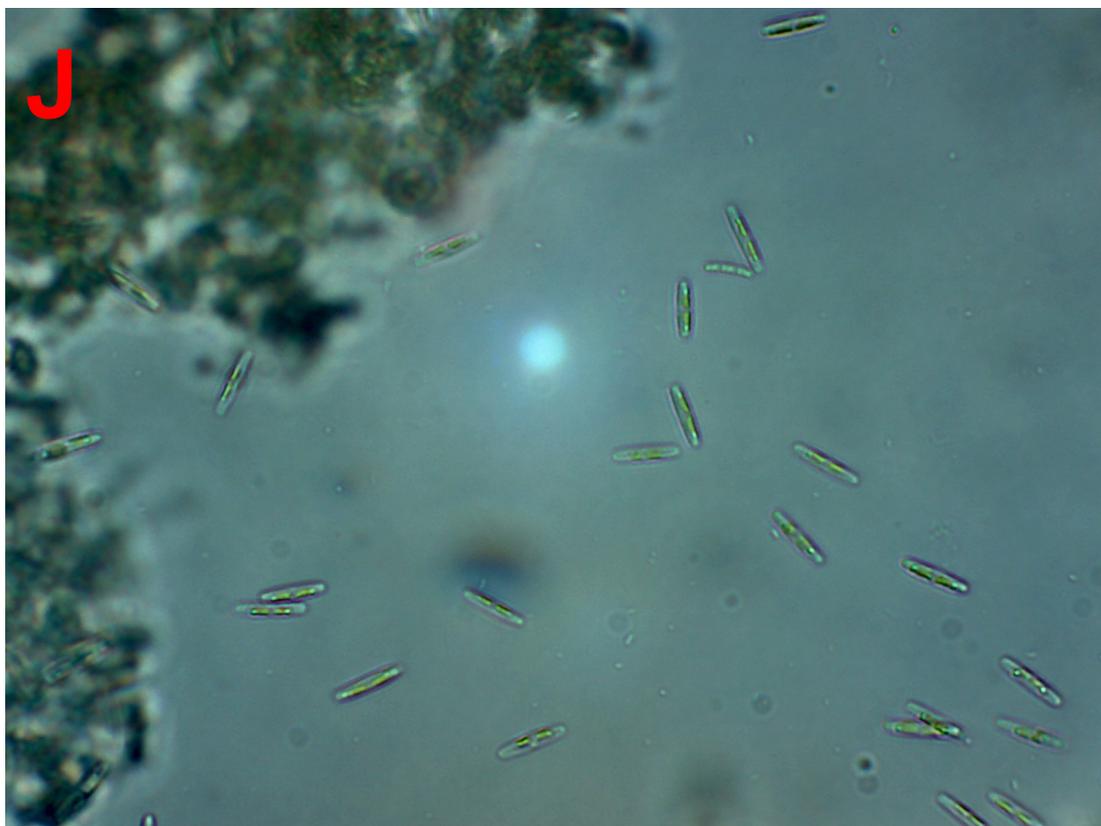
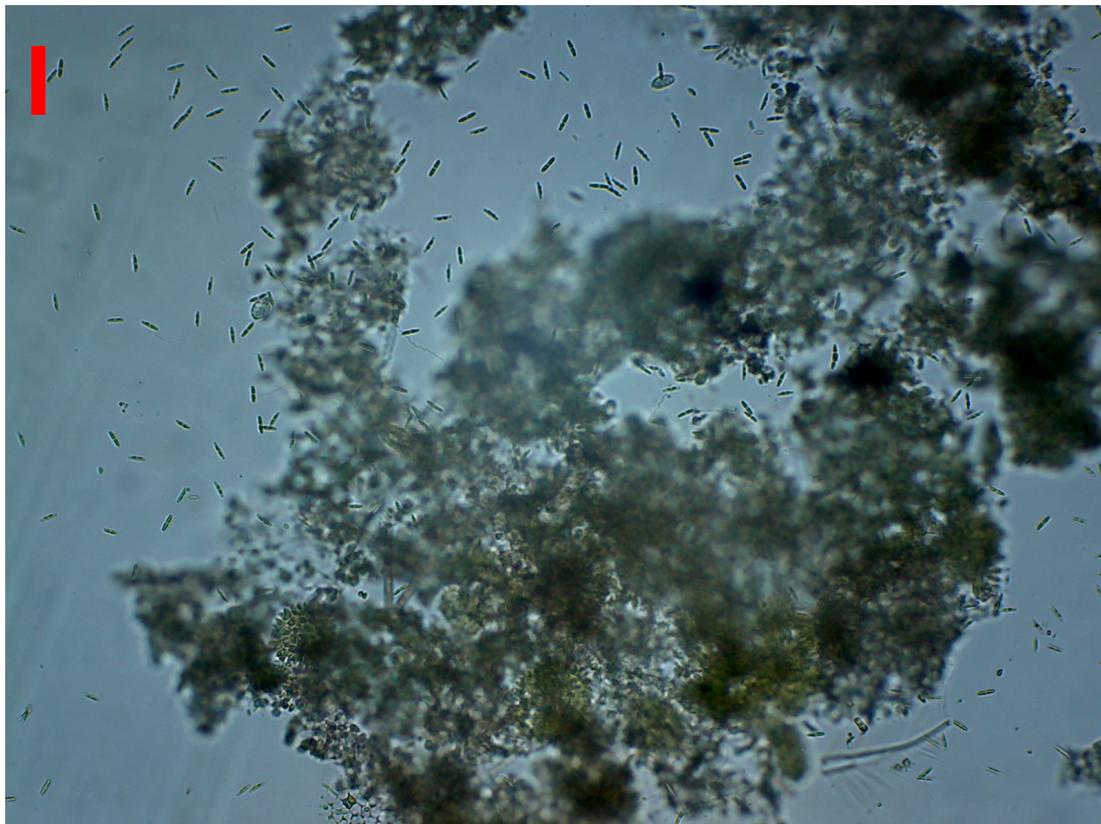
El uso de este material en la Enseñanza media puede ser muy útil en la elaboración de preparaciones microscópicas de bajo coste para la observación de comunidades microscópicas y las relaciones tróficas entre sus integrantes. Se recomienda para alumnos de primer curso de enseñanza media como medio de estimulación, motivación y acercamiento incipiente hacia las Ciencias Naturales.











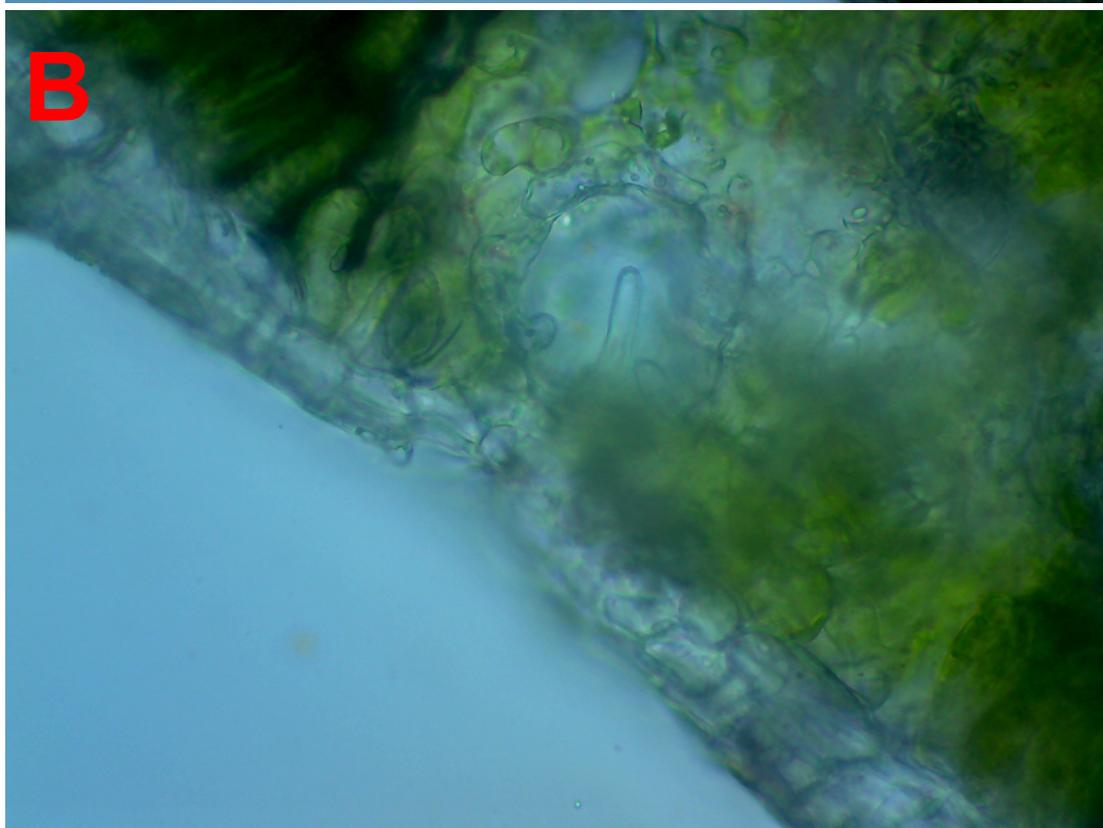
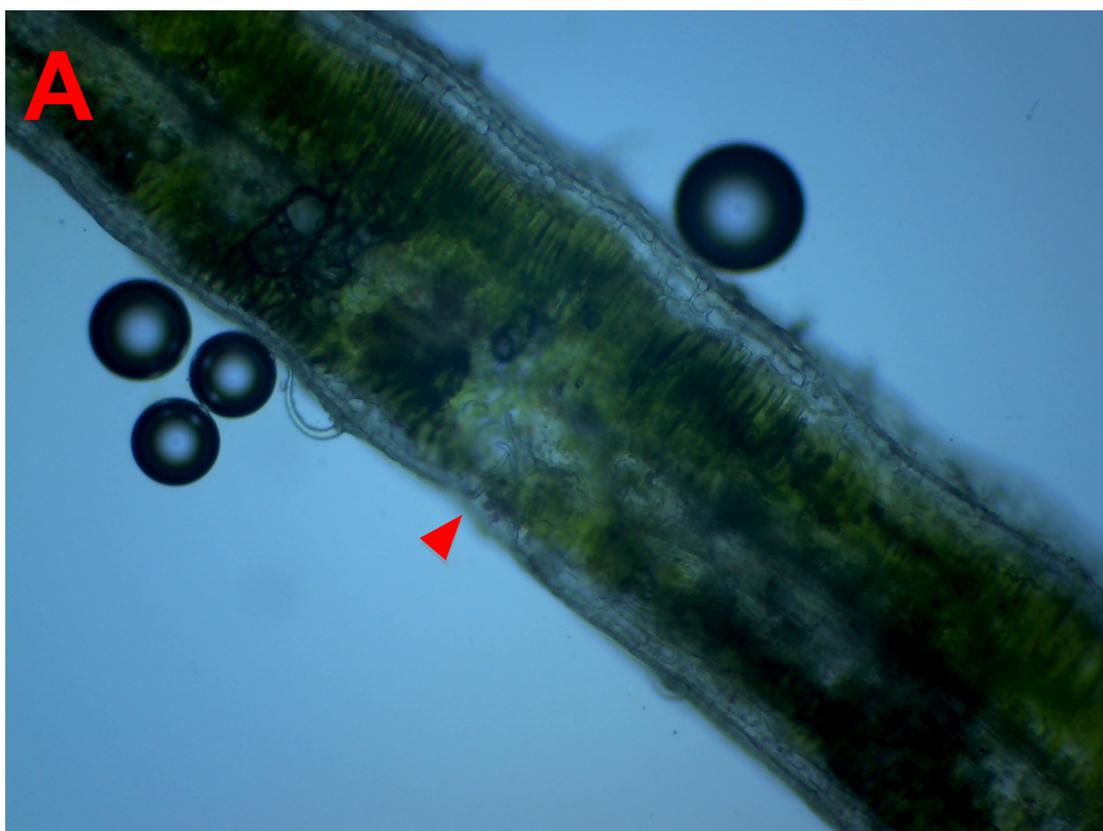
**FIGURA 61.** Imágenes al microscopio de campo claro de la observación de la **degradación de materia orgánica por parte de los descomponedores del mundo microbiano**. (A) Objetivo 10x. (B) Objetivo 40x. La descomposición de la materia orgánica se lleva a cabo por bacterias y hongos, haciendo la transformación en moléculas inorgánicas sencillas. Incluso, los materiales más recalcitrantes de eliminar del medio, caso de la quitina (polímero estructural que forma parte de la paredes de los hongos y los esqueletos externos de los artrópodos –como el que constituye el apéndice que aparece en las imágenes-), resultan desalojados del medio ambiente por la acción de estos microorganismos.

El uso de este material en la Enseñanza media puede ser muy útil en la elaboración de preparaciones microscópicas de bajo coste para la observación de comunidades microscópicas y las relaciones tróficas entre sus integrantes. Se recomienda para alumnos de primer curso de enseñanza media como medio de estimulación, motivación y acercamiento incipiente hacia las Ciencias Naturales.



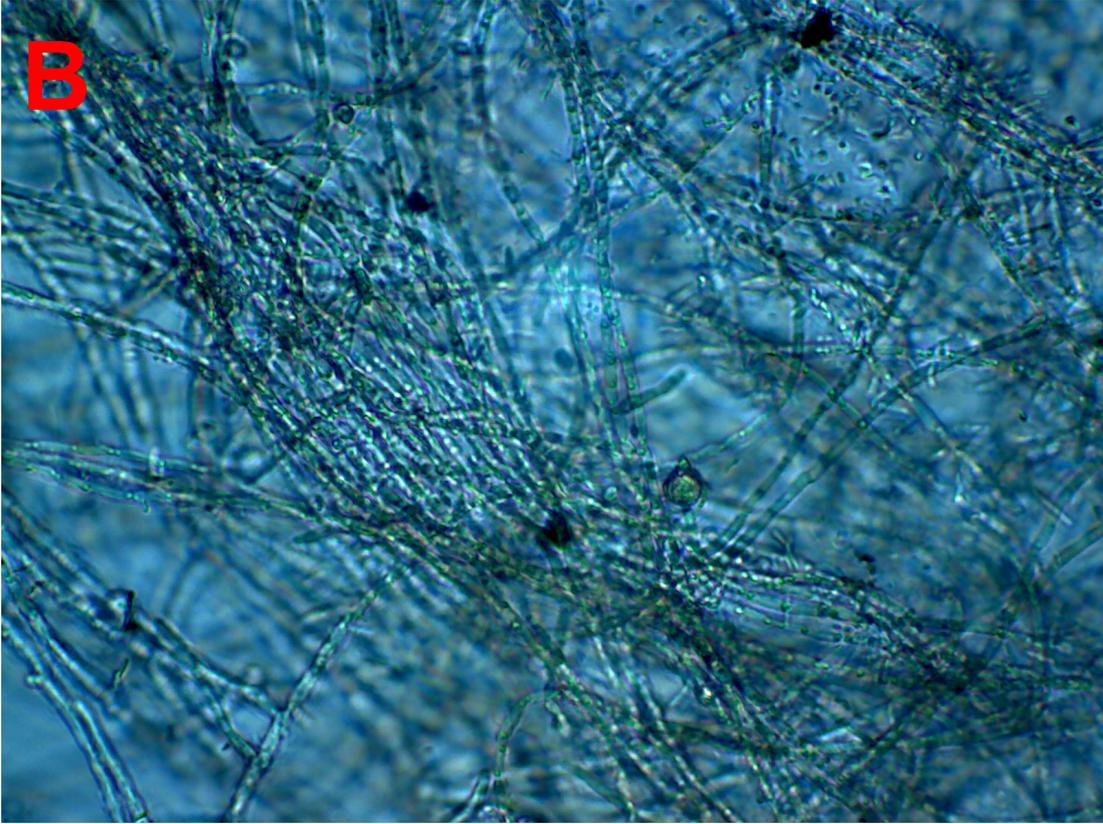
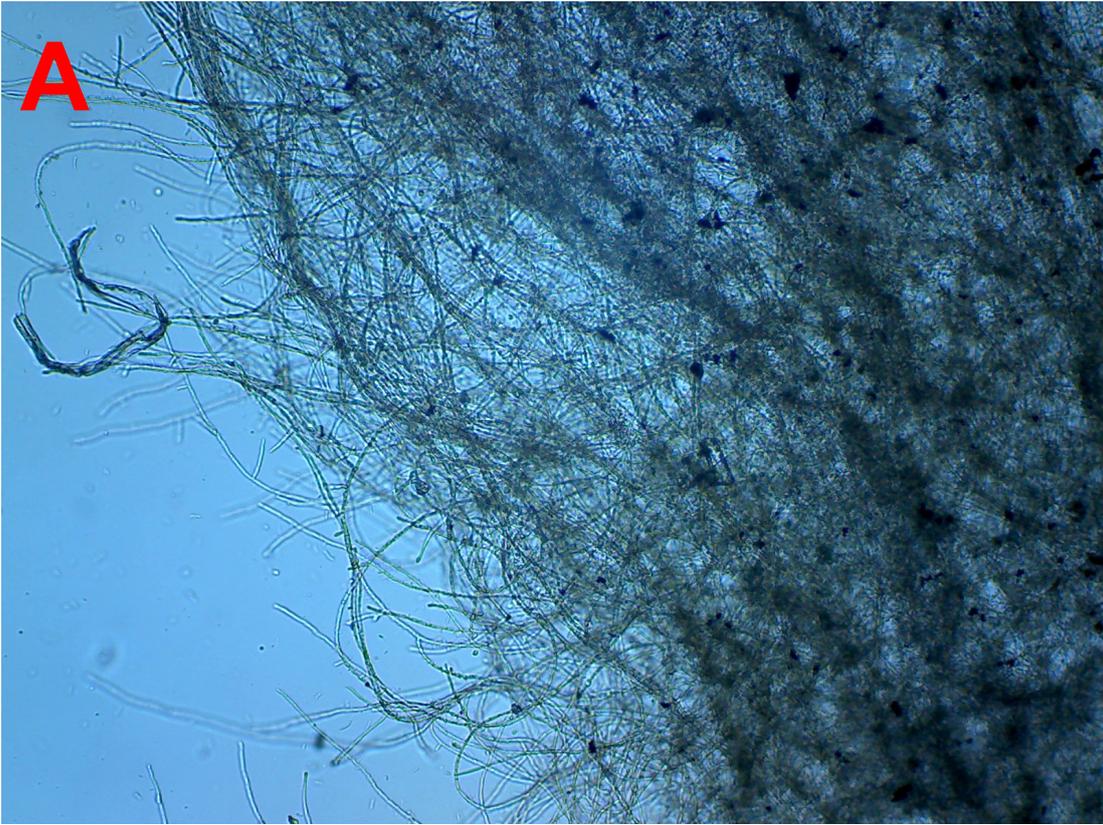
**FIGURA 62.** Imágenes al microscopio de campo claro de la **observación de las criptas estomáticas de baladre** (*Nerium oleander*). (A) Objetivo 10x. (B) Objetivo 40x. Las adaptaciones de la vegetación para evitar la pérdida de agua y resistir la insolación extrema pasan por (1) la reducción del tamaño de la planta hacia un sistema redondeado, (2) la disminución del tamaño y número de hojas, (3) la disposición de los foliolos paralelos a la radiación solar, (4) el desprendimiento de aceites volátiles que rodean la hoja e imposibilitan la salida de agua por transpiración, (5) la caída de las hojas en períodos secos, (6) la ausencia de hojas y presencia de tallos clorofilicos, (7) el almacenamiento de agua en el parénquima, (8) el color verde brillante o colores claros, capaces de reflejar la luz, (9) la presencia de hojas enrolladas permanentemente, (10) la figura de cutículas gruesas e impermeables, así como (11) la presencia de estomas hundidos y alojados dentro de una cripta estomática (Alcaraz, 1999). Esta última adaptación se ha podido comprobar con los alumnos de 1º de bachillerato realizando cortes finos a una hoja de baladre. La presencia de estomas hundidos y alojados en el interior de una cripta (flecha roja) permite que la pérdida de agua sufrida en periodo cálido se albergue en una cavidad intermedia previa a la salida al exterior. La presión parcial de vapor de agua en esta cripta es importante para avisar a la planta de reducir el hecho de transpiración. Esta explicación es muy importante de discutir con el alumnado por qué la presencia de este tipo de vegetación de hoja con foliolo grande en climas extremos no es fácilmente plausible de entender; si bien la reducción del tamaño de la hoja sería lo más lógico para evitar la transpiración abusiva por incremento de la temperatura externa.

El uso de este material en la Enseñanza media puede ser muy útil en la elaboración de preparaciones microscópicas de bajo coste para la observación de células eucariotas. El problema que presenta este tipo de preparaciones es el corte del material vegetal. Se aconseja la lectura de “Material y Metodología especial”, al final del tema, con el objetivo de profundizar en una técnica de bajo coste y de relativa sencillez para trabajar las secciones finas de muestra en microscopía con alumnos (sobretudo con aquellos de 4º ESO y 1º Bachillerato).



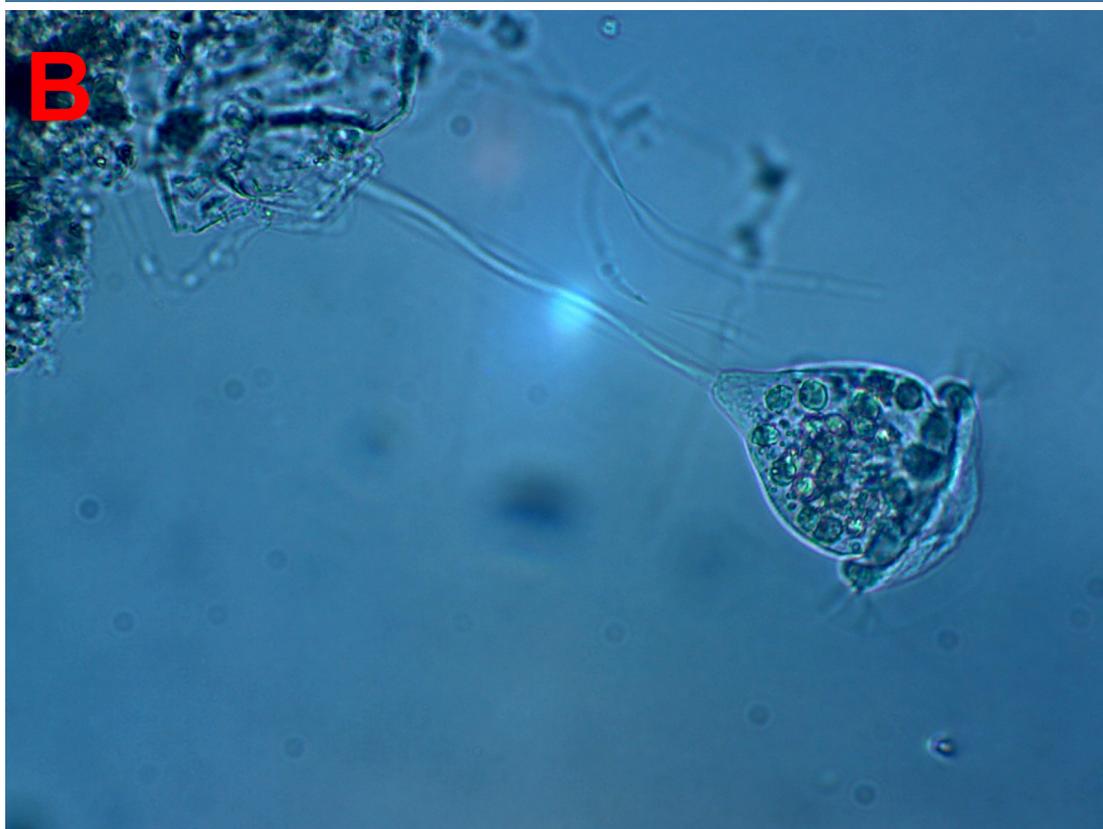
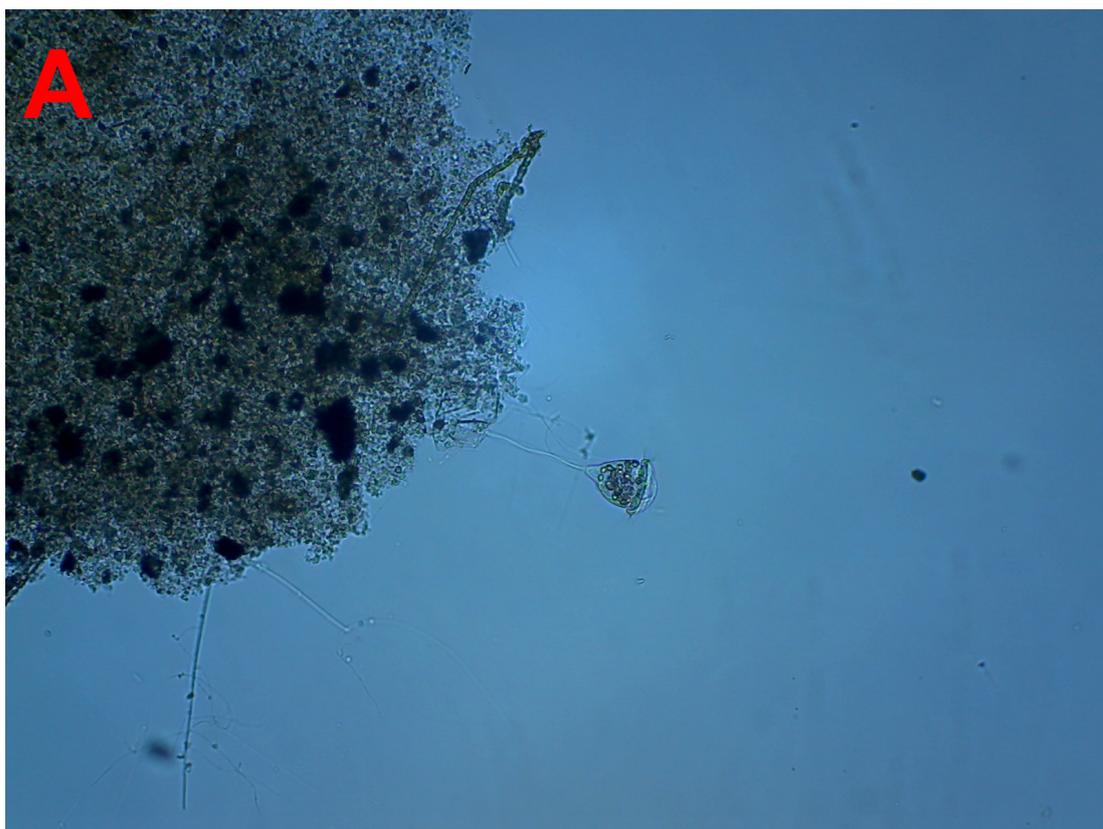
**FIGURA 63.** Imágenes al microscopio de campo claro de un **biofilms presente en la red de distribución de agua osmotizada casera.** (A) Objetivo 10x. (B) Objetivo 40x. Hasta bien entrados los años 60 del pasado siglo, se consideraba que la calidad de las aguas de la red de potables se conservaba inalterada hasta llegar al punto de consumo. No obstante, desde finales de los años 70 y comienzos de los 80 del pasado siglo, se conoce la existencia de una pérdida en la calidad del agua como consecuencia directa de la acción microbiana (Block et al., 1993; López, 2000). Para subsanar en parte este agravio, la desinfección mediante agentes oxidantes es un remedio muy demandado (van der Wende y Characklis, 1990). No obstante, algunos sistemas caseros de tratamiento de las aguas eliminan los reactivos químicos que controlan las poblaciones microbianas (algunas de las cuales son difíciles de erradicar), dando casos de crecimientos bacterianos y fúngicos como el que muestran las imágenes siguientes.

El uso de este material en la Enseñanza media puede ser muy útil en la elaboración de preparaciones microscópicas de bajo coste para la observación de células eucariotas y procariotas. Se aconseja este tipo de preparaciones para abrir debate sobre la necesidad de potenciar una calidad óptima en las aguas de red de potables y matizar el uso de sistemas de osmotización casera sin control rutinario de los mismos, previniendo con ello posibles patologías asociadas a crecimientos microbianos.



**FIGURA 64.** Imágenes al microscopio de campo claro de **vorticelas sobre flóculos de material particulado**, mucilaginoso, que constituyen el filtro biológico de un acuario. (A) Objetivo 10x. (B) Objetivo 40x. Las vorticelas (*Vorticella* sp.) comprenden un grupo de protozoos sésiles presentes en aguas con riqueza importante en materia orgánica (eutrofizadas). Disponen de un pedúnculo contráctil en su base y, sobre la cavidad bucal, de un conjunto de cilios que movilizan las aguas cargadas en microorganismos (base de su alimentación).

El uso de este material en la Enseñanza media puede ser muy útil en la elaboración de preparaciones microscópicas de bajo coste para la observación de células eucariotas, el estudio de los morfotipos y tamaños celulares. También puede ser muy útil para los estudios de interpretación de los componentes de la cadena trófica en ecosistemas acuáticos.



## 10. NOTA FINAL

---

A lo largo de la presente monografía se han comentado diferentes aspectos de la microscopía de interés en la enseñanza media y bachillerato; incluso la construcción de un microscopio simple adaptado a un teléfono “Smart-phone” que funciona igual que lo hiciera el del mismísimo Leeuwenhoek, modificado mediante un tornillo de enfoque manual.



**Figura 65.** Soporte adaptador para Smart-phone acoplado a un microscopio óptico de campo claro utilizado de rutina en un laboratorio de Educación Secundaria.

No obstante, la tecnología de bajo coste está revolucionando el campo de la microscopía. Si bien un equipo de cámara adaptada a un microscopio, con software de salida de tratamiento de imágenes puede no

estar al alcance de muchos centros de Educación Secundaria, sí se puede disponer de un acople sencillo a la lente ocular. La Figura 65 muestra un adaptador de Smart-phone para ajustarlo a cualquier sistema de lente ocular, muy sencillo y de amplia utilidad para sacar imágenes a elevada resolución. Desde este momento, quien no quiera disponer de un simple equipo para ilustrar el mundo microbiano es porque no quiere. La sensación que como docentes hemos tenido al poder ver a un grupo de alumnos contemplar una muestra microscópica, no tiene precio si te exclaman: Maestro... ¡muy chulo!

## 11. BIBLIOGRAFÍA

---

- Aguilera, P. et al. 2004. *Salinas de Andalucía*. 1ª Edición. Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía y Universidad de Cádiz. 303 páginas. Disponible en la web en la dirección:  
[https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal\\_web/servicios\\_generales/doc\\_tecnicos/2004/salina\\_andalucia.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/servicios_generales/doc_tecnicos/2004/salina_andalucia.pdf)
- Alberts, B., D. Bray, J. Lewis, M. Raff, K. Roberts y J.D. Watson. 1996. *Biología molecular de la célula*. 3ª Edición. Ediciones Omega. Barcelona. 1378 páginas.
- Alcaraz, F. 1999. *Manual de teoría y práctica de geobotánica*. 1ª Edición. Edición ICE-Universidad de Murcia-DM. 401 páginas.
- Alexopoulos, C.J. y C.W. Mims. 1985. *Introducción a la micología*. 1ª Edición. Editorial Omega. 638 páginas.
- Artola, I. 2016. *Las minas cobrizas de Río Tinto se convierten en Marte durante dos semanas*. Sociedad-OK Diario. Disponible en la web en la dirección:  
<https://okdiario.com/sociedad/2016/04/15/las-minas-cobrizas-de-rio-tinto-se-convierten-en-marte-durante-dos-semanas-110167>
- Block, J.C., K. Haudidier, J.L. Paquin, J. Miazga y Y. Levi. 1993. *Biofilms accumulation in drinking water distribution systems*. En "Biofouling". 1ª Edición. Harwood Academic Publisher GmbH. 333-343. Singapore.
- BOE. 2013. *Real Decreto 630/2013, de 2 de agosto, por el que se regula el catálogo español de especies exóticas invasoras*. Boletín Oficial del Estado nº 185 de 3 de agosto de 2013. 56764-56786. Disponible en la web en: <http://www.boe.es/buscar/pdf/2013/BOE-A-2013-8565-consolidado.pdf>
- BORM. 2015a. *Decreto 220/2015, de 2 de septiembre de 2015, por el que se establece el currículo de la Educación Secundaria Obligatoria en la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia*. BORM nº 223, de 3 de septiembre de 2015. 30727-31593.
- BORM. 2015b. *Decreto 221/2015, de 2 de septiembre de 2015, por el que se establece el currículo de Bachillerato en la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia*. BORM nº 223, de 3 de septiembre de 2015. 31594-32545.
- Boronat, R. y J.P. López. 2011. *El estudio de la fermentación en el laboratorio de educación secundaria*. Rev. Eureka Enseñ. Divul. Cien. 8(1): 111-114.
- Brock, T. y M. Madigan. 1991. *Arqueobacterias*. Capítulo 20. En "Microbiología". 6ª Edición. Editorial Prentice-Hall. 858-887.

- Carrascosa, A. 2011. *¿Qué sabemos de? Los microbios que comemos*. CSIC. Editorial Catarata. Madrid. España. 101 páginas.
- Cernuda, O. 2004. *La NASA prueba que corrió agua por Marte gracias a la jarosita, un mineral descubierto en Almería*. Ciencia/Ecología. Diario El Mundo. Disponible en la web en la dirección:  
<http://www.elmundo.es/elmundo/2004/03/03/ciencia/1078313962.html>
- Christenson, L. y R. Sims. 2011. *Production and harvesting of microalgae for wastewater treatment, biofuels, and bioproducts*. Biotechnology Advances. 29(6): 686-702
- Curtis, H., N.S. Barnes, A. Schneek y G. Flores. 2006. *Invitación a la biología*. 6ª Edición. Editorial Panamericana. Buenos Aires.
- Cyrulíes, E. y M. Schamne. 2014. *Construcción de un microscopio simple con la lente de un teléfono celular*. Rev. Eureka Enseñ. Divul. Cien. 12(2): 263-268.
- Danti, R., G. Della, B. Mori, G. Torraca, R. Calamassi y M. Mariotti. 2010. *Old World and New World Cupressus pollen: morphological and cytological remarks*. Plant Systematics Evolution. 287(3): 167-177.
- Faricelli, M.E., T.A. Kraus y C.A. Bianco. 2004. *Análisis palinológico de las especies melitófilas de la familia Fabaceae del centro de la Argentina*. Parte I. Revista FAVE Ciencias Agrarias. 3(1-2): 13-23.
- Fox, D.L., A.A. Wolfson y J.W. McBeth. 1969. *Metabolism of  $\beta$ -carotene in the American flaming, *Phoenicopterus ruber**. Comparative Biochemistry and Physiology. 29 (3): 1223-1229.
- García, M., M. Furió, M.A. García, R. Sendra y X. Varela. 2005. *Biología. 2º Bachillerato*. 1ª Edición. Editorial Ecir. Valencia. 403 páginas.
- Garrido, B. y M. Barcía. 2011. *Microscopio de Leeuwenhoek*. Rev. Eureka Enseñ. Divul. Cien. 8(número extraordinario): 487-490.
- Giménez, A., J. Gómez-Elvira y D.M. Mayorga. 2001. *Astrobiología. Sobre el origen y evolución de la vida en el universo*. Editorial CSIC-Los libros de la Catarata. 187 páginas.
- Granados, F. y V. López. 2003. *Biología. Ciencias de la Naturaleza y Salud. 2º Bachillerato*. 1ª Edición. Editorial Edelvives. 359 páginas.
- Guerra, J., J.S. Carrión, M. Aboal, J.M. Egea y R.M. Ros. 1988. *Guiones de clases prácticas de botánica*. PPU-Diego Marin. Murcia. 398 páginas.
- Kane, J.W. y M.M. Sternheim. 1992. *Física*. 2ª Edición. Editorial Reverté. Barcelona. 795 páginas.
- Kuenen, J.G., L.A. Robertson y O.H. Tuovinen. 1992. *The genera Thiobacillus, Thiomicrospira and Thiosphaera*. Capítulo 138. En "The Prokaryotes: a handbook on habitats, isolation and identification of bacteria". 2ª Edición. Editorial Springer-Verlag. 2638-2657 páginas.
- Hsu, W.J., C.O. Chichester y B.H. Davies. 1970. *The metabolism of  $\beta$ -carotene and other carotenoids in the*

- brine shrimp*, *Artemia salina* L. (Crustacea: Branchiopoda). Comparative Biochemistry and Physiology. 32 (1): 69-79.
- Levin, B.J., Y.Y. Huang, S.C. Peck, Y. Wei, A. Martínez-del Campo, J.A. Marks, E.A. Franzosa, C. Huttenhower y E.P. Balskus. 2017. *A prominent glycol radical enzyme in human gut microbiomes metabolizes trans-4-hydroxy-L-proline*. Science. 355(6325), 8386.
- López, J.P. 2000. *Microbiología de las aguas potables de redes de distribución urbana y caracterización de una bacteria típica de red*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología. Departamento de Genética y Microbiología. Universidad de Murcia. 164 páginas. Inédita.
- López-Aguayo, F., C. Pérez, R. Ortiz y R. Arana. 1992. *Composición química de las aguas de lixiviación minera en el cabezo de San Cristóbal (Mazarrón, Murcia)*. Revista Sociedad Geológica de España. 5 (3-4): 73-79.
- López, J.P. 2008. *La columna de Winogradsky. Un ejemplo de microbiología básica en un laboratorio de educación secundaria*. Rev. Eureka Enseñ. Divul. Cien. 5 (3): 373-376.
- López, J.P., J.J. Jiménez, A. Fabregat y J.A. Gutiérrez. 2010. *Microbiología de la producción controlada de sulfuro de hidrógeno. Una experiencia de trabajo en el laboratorio de educación secundaria*. Rev. Eureka Enseñ. Divul. Cien. 7 (2): 573-578.
- López, J.P. 2011a. *Microbiología de la producción de hidrógeno*. Rev. Eureka Enseñ. Divul. Cien. 8(2): 201-204.
- López, J.P. 2011b. *Microbiología de la producción de hidrógeno. Un estudio sencillo en el laboratorio de educación secundaria*. Alambique. Didáctica de las ciencias experimentales. 68: 109-112.
- López, J.P. y A. Durán. 2008. *Introducción a la anatomía externa e interna de un invertebrado. Aplicación en el laboratorio de Educación Secundaria*. Rev. Eureka Enseñ. Divul. Cien. 5(2): 247-250.
- López, J.P. y R. Boronat. 2013. *Estudio de la inhibición de la respiración/fermentación en células de levadura por fluoruro de sodio*. Rev. Eureka Enseñ. Divul. Cien. 10(1): 133-138.
- López, J.P. y R. Boronat. 2014. *Microbiología básica del yogur como recurso en el laboratorio de educación secundaria*. Alambique. Didáctica de las ciencias experimentales. 76: 80-86.
- López, J.P. y R. Boronat. 2016. *Efectos de la acción microbiana en el color de algunos estratos. Estudio en un laboratorio de Educación Secundaria*. Revista Enseñanza de las Ciencias de la Tierra. 24 (2): 190-194.
- López, J.P. y R. Boronat. 2017. *Una dolomía muy especial. Una propuesta conjunta de trabajo de campo y laboratorio con alumnos de educación secundaria obligatoria*. Rev. Eureka Enseñ. Divul. Cien. 14 (1): 126-134.
- López, J.P. y R. Boronat. 2018a. *Prácticas de microbiología básica en el laboratorio de Educación Secundaria*. 1ª Edición. Consejería de Educación, Juventud y Deportes. Comunidad Autónoma de la

Región de Murcia. 183 páginas. Disponible en la web en la dirección:

[http://www.carm.es/web/pagina?  
IDCONTENIDO=17499&IDTIPO=246&RASTRO=c2709\\$m4331,4330](http://www.carm.es/web/pagina?IDCONTENIDO=17499&IDTIPO=246&RASTRO=c2709$m4331,4330)

- López, J.P. y R. Boronat. 2018b. *Microbiología y olores desagradables en el ambiente. Observación de la actividad ureasa en un laboratorio de Educación Secundaria*. Rev. Eureka Enseñ. Divul. Cien. En prensa.
- Loustau, J. 1950. *Clave determinativa de las especies del género Penicillium*. Anales Universidad de Murcia. 3: 417-433. Disponible en la web en la dirección: <https://digitum.um.es/xmlui/bitstream/10201/6407/1/N%2017%20%20Clave%20determinativa%20de%20las%20especies%20del%20genero%20Penicillium.pdf>
- Maier, L., M. Pruteanu, M. Kuhn, G. Zeller, A. Telzerow, E.E. Anderson, A.R. Brochado, K.C. Fernández, H. Dose, H. Mori, K.R. Patil, P. Bork y A. Typas. 2018. *Extensive impact of non-antibiotic drugs on human gut bacteria*. Nature. 555: 623-628.
- Margulis, L. 2001. El origen de la célula. 4ª reimpresión. Editorial Reverté. Barcelona. 140 páginas.
- Margulis, L. 2002. *Del Kéfir a la muerte*. En “Una Revolución en la Evolución”. 1ª Edición. Col·lecció Honoris Causa. Universitat de València. 141-148.
- Margulis, L. y M.F. Dolan. 2009. *Los inicios de la vida. La evolución en la Tierra Precámbrica*. 1ª Edición. Editorial Càtedra de Divulgació de la Ciència. Universidad de Valencia. 225 páginas.
- Ordóñez, J., V. Navarro y J.M. Sánchez. 2008. *Historia de la ciencia*. 5ª Edición. Editorial Austral. Madrid. 564 páginas.
- Robertson, L.A. 2015. *van Leeuwenhoek microscopes-where are they now?* FEMS Microbiology Letters. 362(9): 1-7.
- Schwendemann, A.B., G. Wang, M.L. Mertz, R.T. McWilliams, S.L. Thatcher y J.M. Osborn. 2007. *Aerodynamics of saccate pollen and its implications for wind pollination*. American Journal of Botany. 94(8): 1371-1381.
- Stoeckenius, W. y R.A. Bogomolni. 1982. *Bacteriorhodopsin and related pigments of halobacteria*. Annual Review of Biochemistry. 52: 587-616.
- Stong, C.L. 1996. *Construcción de un microscopio simple de Anton Leeuwenhoek*. Temas de Investigación y Ciencia. 6: 42-44.
- Strasburger, E., F. Noll, H. Schenck y A.F. Schimper. 1986. *Tratado de botánica*. 7ª edición. Editorial Marín. Barcelona. 1098 páginas.
- Van der Wende, E. y W.G. Characklis. 1990. *Biofilms in potable water distribution system*. En “*Drinking water microbiology progress and recent developments*”. McFeter (eds). 249-268. 1ª Edición. Editorial Springer-Verlag. New York.

Voet, D. y J.G. Voet. 1992. *Estructura tridimensional de las proteínas*. En "Bioquímica". 1ª Edición. Editorial Omega. Barcelona. 154-206.

## 11.1. Lecturas recomendadas

Bozzo, M.G., M. Durfort y N. Mercadé. 1973. *La vida microscópica*. 1ª Edición. Editorial Salvat. Barcelona. 140 páginas.

Curtin, C.B., N.K. Mottet, G. Pontecorvo y W.R. Siström. 1990. *Diccionario de ciencias*. 1ª Edición. Editorial McGraw-Hill y Akal. Madrid. 996 páginas.

de Kruif, P. 2006. *Los cazadores de microbios*. 12ª edición. Editorial Porrúa. México. 355 páginas.

Gracia, M., M. Durfort y N. Mercadé. 1975. *La vida microscópica*. Biblioteca Salvat de grandes Temas. 1ª Edición. Editorial Salvat. Barcelona. 140 páginas.

Margulis, L. y D. Sagan. 2003. *Captando genomas. Una teoría sobre el origen de las especies*. 1ª edición. Editorial Kairos. Barcelona. 308 páginas.

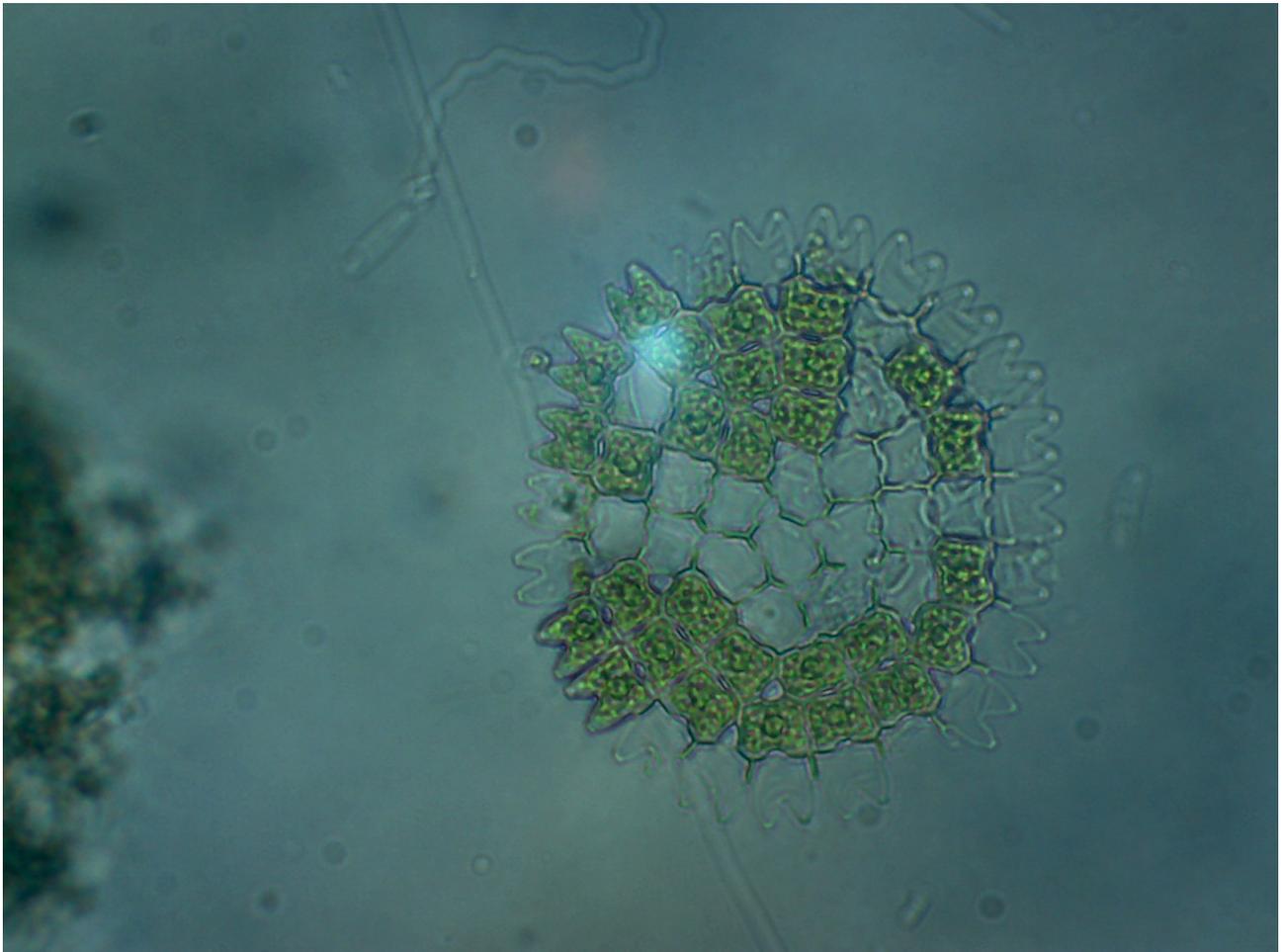
Margulis, L. y D. Sagan. 2009. *¿Qué es la vida?* 3ª edición. Metatemas. Editorial Tusquets. 207 páginas.

Nachtigall, W. 2004. *Microscopía: materiales, instrumental y métodos*. Editorial Omega. Barcelona. 160 páginas.

Prygiel, J. (coord.). 2000. *Guide méthodologique pour la mise en œuvre de l'Indice Biologique Diatomées. NF T 90-345*. Agence de l'Eau Adour Garonne. Toulouse. 134 páginas. Disponible en la web en la dirección: [http://consultation.eau-artois-picardie.fr/OAI\\_Docs/aegis/2496/B\\_16478\\_\(12.04Mo\).pdf](http://consultation.eau-artois-picardie.fr/OAI_Docs/aegis/2496/B_16478_(12.04Mo).pdf)

Ramón y Cajal, S. 2007. *Fotografía de los colores. Bases científicas y reglas prácticas*. 1ª Edición. Editorial Prames-las tres sonoras. Gobierno de Aragón. 290 páginas.

Sánchez, M.I. y A. Palomar. 1985. *El laboratorio de ciencias naturales*. 1ª Edición. Editorial Penthalon. Madrid. 151 páginas.



Estructura del alga verde *Pediastrum* sp. bajo el microscopio de campo claro. Objetivo de 100x e inmersión en aceite.

## Una visión cercana de la Microscopía en el Laboratorio de Educación Secundaria

El microscopio óptico de campo claro es quizás el instrumental complejo de laboratorio que mejor se conoce entre el alumnado de enseñanza media; si bien muestran cierta dificultad en entender su base teórica y funcionamiento. La presente monografía acerca una nueva visión de la enseñanza de las ciencias basada en el manejo de este instrumento óptico, con una recreativa metodología de enseñanza y elaboración de preparaciones cotidianas

por parte del alumnado, así como la selección de una nutrida iconografía constituida por más de 130 figuras y esquemas ilustrativos, que potenciarán y motivarán a docentes y discentes en su pleno acercamiento al estudio de la biología.

[www.educarm.es/publicaciones](http://www.educarm.es/publicaciones)

