

MÁRTA GAJDOSNÉ SZABÓ · JANINE HERMANN · GIORGIA MESSORI · MAAIKE SMEETS · RICHARD SPENCER

LA FRECUENCIA PERFECTA



🔍 césped, campo de fútbol, fotosíntesis, fase luminosa, longitud de onda, espectro de absorción, indicador redox, clorofila, cloroplasto

📖 Biología

👥 16–18 años

1 | SUMARIO

En este proyecto, los alumnos utilizan luces de distinto color para estudiar el efecto de la longitud de onda en la tasa de fotosíntesis y el crecimiento del césped. Después de evaluar las pruebas experimentales, los alumnos podrán recomendar el color de la luz que debe usarse en los focos para ayudar al crecimiento y la recuperación del césped del campo entre partidos.

2 | INTRODUCCIÓN DE CONCEPTOS

En las regiones templadas apenas hay luz natural durante gran parte de la temporada futbolística, sobre todo durante los cortos días del invierno. Así pues, se utilizan focos para acelerar el crecimiento del césped en las partes del campo que quedan en sombra y para la rápida recuperación del césped dañado durante los partidos (FIG. 1).

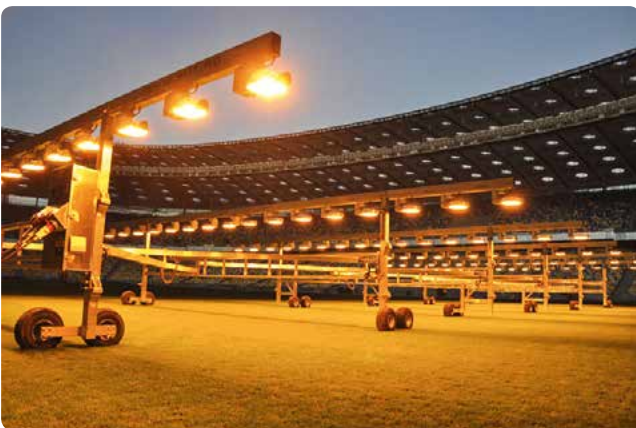


FIG. 1 La luz de los focos acelera el crecimiento del césped

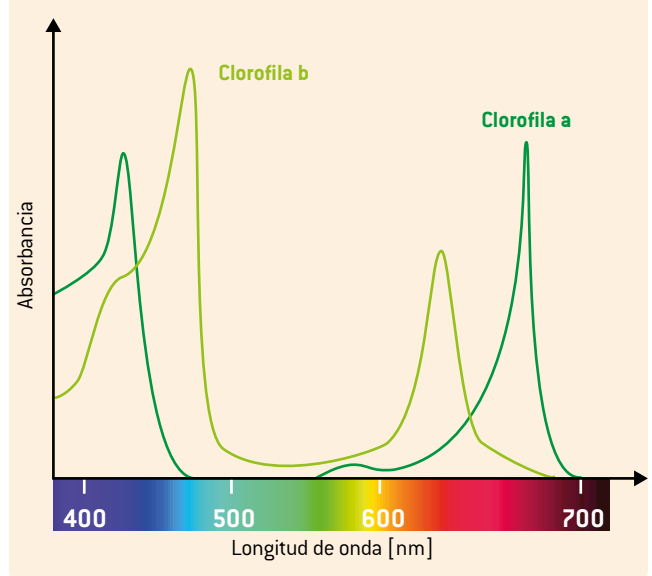
FIG. 2 El espectro visible [1]



V: violeta, B: azul, G: verde, Y: amarillo, O: naranja, R: rojo

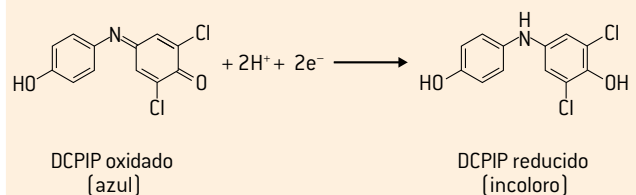
El espectro visible está formado por una serie de longitudes de onda de luz, es decir, distintos colores (FIG. 2). El pigmento fotosintético más común, la clorofila, es en realidad una mezcla de dos pigmentos (clorofila A y clorofila B) que absorben algunas longitudes de onda de luz más que otras, mostrando una absorción máxima de luz roja y azul y una absorción mínima de luz verde (FIG. 3).

FIG. 3 Absorción de la clorofila según la longitud de onda de la luz [2]



La energía absorbida por la clorofila se usa en la fase luminosa de la fotosíntesis para excitar los electrones a niveles de energía mayores. La energía que obtienen estos electrones se usa después en reacciones redox para liberar energía, que se usa para fabricar ATP. Este producto, junto con otro producto de la fase luminosa (NADP reducida), es utilizado por la planta en el ciclo de Calvin para fabricar glucosa. La planta utiliza la glucosa como fuente de energía y materia prima para sintetizar una serie de materias orgánicas necesarias para que la planta crezca sana.

FIG. 4 DCPIP: 2,6-Diclorofenol indofenol



La tasa de fotosíntesis puede estudiarse con un indicador redox denominado DCPIP, que es azul cuando se oxida e incoloro cuando se reduce (FIG. 4). Cuando se añade DCPIP a cloroplastos recién extraídos de las plantas, los electrones producidos durante la fase luminosa de la fotosíntesis lo reducen al iluminar los cloroplastos. Cuanto más rápida sea esta fase, más deprisa se reduce el DCPIP. En una investigación, los alumnos calculan la velocidad a la que el DCPIP se reduce (decolora) bajo luces de distinto color para determinar el efecto de la longitud de onda de la luz en la tasa de fotosíntesis. En otra investigación, los alumnos iluminan bandejas de césped durante una semana con luces de distinto color, y después cosechan el césped para pesar la cantidad de materia fresca como medida de crecimiento del césped. A continuación evalúan los resultados de ambos

experimentos para recomendar el color de la luz que debe usarse en los focos para ayudar al crecimiento y la recuperación del césped del campo entre partidos.

3 | QUÉ HACEN LOS ALUMNOS

3|1 Advertencia de seguridad

Los productos químicos usados son de bajo riesgo, pero los alumnos tienen que ser conscientes del riesgo que entraña el uso de equipos eléctricos (lámparas, batidora y balanza electrónica), y deben utilizar gafas de seguridad como buena práctica de laboratorio.

3|2 Preparativos

La lista completa de materiales necesarios puede descargarse de la web de Science on Stage.^[3]

1. Se plantan semillas de raigrás en 7 bandejas pequeñas (8 cm × 16 cm × 5 cm fondo). Cada bandeja debe contener la misma masa de compost y sembrarse por igual con la misma cantidad de semillas de césped (suficiente para cubrir la superficie del compost). Se colocan las bandejas en un alféizar soleado y se cultivan durante cinco semanas. Se debe regar con la frecuencia adecuada con agua destilada para que la tierra esté húmeda, añadiendo el mismo volumen de agua en cada bandeja. Los factores ambientales como la humedad o la temperatura no se pueden controlar, pero como todas las bandejas están en el mismo sitio, están sometidas a las mismas fluctuaciones medioambientales.
2. Transcurridas las cinco semanas, se corta el césped con tijeras, dejándolo con una altura de 3 cm. El césped recogido se utiliza para el estudio "tasa de fotosíntesis" (pasos 3–12), y las siete bandejas de césped se emplean para el estudio "tasa de crecimiento" (3.4). En los dos estudios se necesitan siete flexos con una bombilla de luz global LED RGB 3W B22 (estas bombillas se encuentran a bajo coste en tiendas de internet normales). Las bombillas vienen con un mando a distancia para poder ajustar el color en rojo, naranja, amarillo, verde, azul, violeta o blanco (FIG. 5).



FIG. 5 En los flexos se colocaron bombillas de luz LED RGB 3W B22 global, que se suministran con un mando a distancia para poder ajustar el color en rojo, naranja, amarillo, verde, azul, violeta o blanco.

Los mismos siete flexos con sus bombillas se pueden utilizar en ambos estudios para ahorrar costes.

3|3 Efecto de la longitud de onda de la luz en la tasa de fotosíntesis

3. Se añaden unos 30 g de hojas de césped fresco (cosechados en el paso 2) a 250 cm³ de una solución tampón fría de sacarosa/pH 7,5. La solución se prepara disolviendo 2,7 g de fosfato disódico de hidrógeno hidratado, 1,0 g de fosfato diácido de potasio anhidro, 33 g de sacarosa y 0,25 g de cloruro de potasio en 250 cm³ de agua destilada.
4. Se mezcla durante 60 segundos para que se abran las células y se liberen los cloroplastos. Se filtra con una muselina para eliminar restos celulares. Se conserva el filtrado en hielo.
5. Se moja un extremo de un tubo capilar en el extracto de cloroplastos de modo que el extracto suba por él. Se retira el tubo capilar y se seca la parte exterior del mismo con un pañuelo de papel. Este tubo es el tubo de referencia de color (es de color verde).
6. Con un cuentagotas, se añade una solución de DCPIP al 1,0% al resto del extracto de cloroplasto, gota a gota, sacudiendo suavemente la botella para mezclar. La solución de DCPIP se prepara disolviendo 0,1 g de DCIP y 0,4 g de cloruro de potasio en 100 cm³ de agua destilada. Debe estar recién preparada.
7. Se añade suficiente DCPIP hasta que el extracto cambie permanentemente de color verde a verde azulado; se envuelve deprisa la botella en papel de aluminio para mantener el extracto de cloroplastos y DCPIP a oscuras.
8. Se coloca un flexo con luz violeta 8 cm por encima de una baldosa blanca (pero sin encenderla todavía). Se coloca el tubo de referencia de color del paso 6 sobre la baldosa. Ahora se mojan los tubos capilares en el extracto de cloroplastos y DCPIP, se secan como antes y se colocan bajo la lámpara violeta junto al tubo de referencia de color. Debe hacerse lo más deprisa posible. Estos son los tubos de ensayo (FIG. 6).

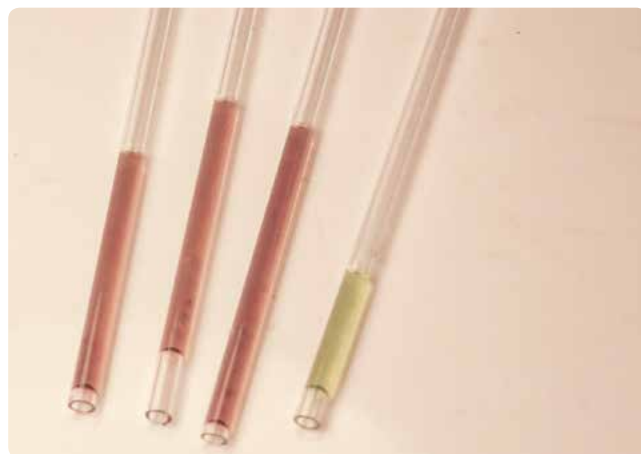


FIG. 6 Comparación del color de los tubos de ensayo (que contienen extracto de cloroplasto y DCPIP) antes de la iluminación respecto a un tubo de referencia de color (con extracto de cloroplasto sin DCPIP).

FIG. 7 Datos de muestra sobre el efecto de la longitud de onda en la tasa de reducción de DCPIP (como medida de la tasa de fotosíntesis)

| Color de la bombilla | Longitud de onda de la luz [nm] | Tiempo que tarda el tubo de ensayo en coincidir con el color de referencia [s] | | | | Tasa media de reducción de DCPIP = $\frac{1.000}{t} \left[\frac{1}{s} \right]$ |
|----------------------|---------------------------------|--|--------|--------|-------|--|
| | | Tubo 1 | Tubo 2 | Tubo 3 | Media | |
| Violeta | 420 | 660 | 660 | 640 | 653 | 1,53 |
| Azul | 450 | 520 | 520 | 520 | 520 | 1,92 |
| Verde | 520 | >900 | >900 | >900 | >900 | 0,00 |
| Amarillo | 570 | 680 | 740 | 760 | 727 | 1,38 |
| Naranja | 620 | 520 | 520 | 560 | 533 | 1,88 |
| Rojo | 680 | 440 | 420 | 400 | 420 | 2,38 |
| Blanco | / | 500 | 520 | 540 | 520 | 1,92 |

- Se enciende la luz y se pone en marcha el cronómetro.
- Se debe registrar el tiempo necesario hasta que el color de cada tubo de ensayo coincide con el del tubo de referencia (t) en una tabla adecuada (datos de muestra en la FIG. 7). Como es muy difícil ver el color del contenido del tubo bajo distintas luces de color, se utiliza el mando a distancia para cambiar la bombilla a “blanco” durante un segundo cada 20 segundos para comprobar si el color coincide.
- Se repiten los pasos 9 y 10 con las otras bombillas de colores y una bombilla que emita luz blanca (FIG. 8).
- Calcular el tiempo medio de reducción y registrar la velocidad media de cambio de color ($1000/t$). Si el color no cambia después de 15 minutos, se anota “sin cambios” y la velocidad de cambio de color se registra como “0”.



FIG. 8 Los tubos de ensayo y de color de referencia se iluminaron con luces de distinto color, registrando el tiempo hasta la coincidencia de color como indicador de la tasa de decoloración del DCPIP, y por tanto la de fotosíntesis.

3 | 4 Efecto de la longitud de onda de la luz en la tasa de crecimiento

Se colocan las siete bandejas del paso 2 en una habitación a oscuras, iluminando cada bandeja con un flexo con una bombilla de luz LED RGB 3W B22. Para cada bandeja se debe utilizar el mando a distancia suministrado para ajustar el color en rojo, naranja, amarillo, verde, azul, violeta o blanco. Se dejan las bandejas iluminadas durante seis días, regándose periódicamente cuando sea necesario (FIG. 9).



FIG. 9 Las bandejas se iluminaron con luces de distintos colores durante seis días antes de cosechar el césped y pesar la materia fresca como indicador de la tasa de crecimiento.

Transcurridos seis días, se recoge el césped de cada bandeja (recortando con unas tijeras en la base del tallo) y, con una balanza electrónica, se pesa la materia fresca del césped recogido en cada bandeja. Los datos se registran en una tabla adecuada (ver muestra en la FIG. 10).

FIG. 10 Datos de muestra del efecto de la longitud de onda de la luz en la materia fresca del césped recogido tras seis días de iluminación (como medida de la tasa de crecimiento)

| Color de la bombilla | Longitud de onda de la luz [nm] | Materia fresca del césped cosechado tras 6 días de iluminación [g] |
|----------------------|---------------------------------|--|
| Violeta | 420 | 4,15 |
| Azul | 450 | 6,02 |
| Verde | 520 | 3,66 |
| Amarillo | 570 | 4,09 |
| Naranja | 620 | 5,54 |
| Rojo | 680 | 6,23 |
| Blanco | / | 5,43 |

4 | CONCLUSIÓN

Los alumnos que participaron en este proyecto comprendieron mejor la fase luminosa y la fase oscura de la fotosíntesis (ciclo de Calvin); en concreto, la manera en que los productos de las fases luminosas se usan en el ciclo de Calvin y cómo afectan a la velocidad de crecimiento de la planta. Los alumnos debatieron con aprovechamiento la importancia de controlar todas las variables posibles durante la germinación y el crecimiento de los plantones (p. ej., profundidad de la tierra, régimen de riego, distancia de las bombillas de color a las bandejas) y durante el estudio de la tasa de fotosíntesis (p. ej., distancia de las bombillas de color al extracto con cloroplastos). Gracias a estos debates, los alumnos comprendieron mejor la importancia de un diseño experimental válido en investigación.

Tras evaluar los resultados de ambos experimentos, los alumnos determinaron que había una correlación entre la tasa de fotosíntesis y la de crecimiento del césped para las luces de distintos colores, y que la tasa de fotosíntesis y de crecimiento fue mayor con luz roja y menor con luz verde. Los resultados fueron los esperados, dado el espectro de absorción de clorofila (**FIG. 3**).

Los resultados con luz azul no fueron tan altos como se esperaba, lo que dio pie a un interesante debate sobre sus causas. Los alumnos sugirieron que podía deberse a las distintas proporciones de clorofila A y clorofila B de los cloroplastos (ya que la clorofila A absorbe menos luz azul que la clorofila B). Aun así, la luz azul tiene más energía que la roja y, por lo tanto, teóricamente debería excitar más electrones que la roja, produciendo una tasa de fotosíntesis más rápida y un mayor crecimiento. Estudios posteriores indicaron una posible explicación: los cloroplastos contienen otro grupo de pigmentos fotosintéticos llamados carotenoides que incluyen pigmentos naranja (carotenos) y amarillos (xantofilas). Estos pigmentos muestran una absorción máxima de la luz azul y, como la clorofila B, transfieren la energía absorbida a la clorofila A para provocar la excitación de los electrones en una reacción de fase luminosa. Sin embargo, la transferencia de energía es ineficiente. Aunque esta disipación de energía pueda parecer excesiva, quizás sea necesaria para proteger a la planta de posibles efectos dañinos de la alta energía de la luz azul.

En su recomendación final, los alumnos planteaban que los focos podrían conllevar un crecimiento y una recuperación más eficientes con luz roja, pero los campos de fútbol usan luces de sodio a alta presión (HPS). El inventor de los focos móviles (Kolbjørn Saether, comunicación personal) explicó que su empresa ha participado en varios programas de investigación junto con el Instituto noruego de investigación de cultivos para averiguar más sobre el efecto de la luz artificial en el crecimiento del césped. Estudiaron varios parámetros tales como intensidad, cantidad de luz por día, temperatura y nutrición. Sin embargo, no investigaron el efecto de la longitud de onda de la luz y están muy interesados en los resultados de nuestra investigación.

Experiencia personal

Durante la extracción de cloroplastos, la mezcla libera enzimas que dañan los cloroplastos y frenan la tasa de fotosíntesis (la actividad de estas enzimas se reduce con un tampón de extracción frío y manteniendo el extracto de cloroplastos en hielo). En el estudio, los alumnos se dieron cuenta de que los extractos de cloroplastos pierden actividad con el tiempo. Para solucionar este problema y hacer comparaciones válidas, los alumnos realizaron los experimentos de tasa de fotosíntesis lo más deprisa posible, escalonando los experimentos y utilizando distintas bombillas en el tiempo más breve posible para que los extractos fueran muy recientes.

Era imposible comparar el color de los extractos de cloroplastos en los tubos de ensayo con el color del tubo de referencia bajo distintos regímenes de iluminación. Esta fue una de las ventajas de utilizar bombillas con mando a distancia para cambiar periódicamente la luz a “blanca” y comprobar la coincidencia de color. Otra ventaja de estas bombillas es que no se calientan, ya que cualquier aumento de temperatura habría afectado tanto a la tasa de crecimiento del césped como a la de decoloración de DCPIP. Esto permitió a los alumnos dejar las luces encendidas con seguridad durante seis días.

Las cifras de la **FIG. 7** y la **FIG. 10** para la longitud de onda de la luz de distintos colores son aproximadas, ya que cada color está formado por una serie de longitudes de onda en un espectro continuo.

5 | OPCIONES DE COOPERACIÓN

Los alumnos de diferentes centros educativos e institutos podrían comparar sus resultados para ambos estudios, sus mejoras en el diseño del experimento y sus investigaciones sobre los efectos de la longitud de onda de la luz sobre la tasa de fotosíntesis en otras especies de plantas.

REFERENCIAS

- [1] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Linear_visible_spectrum.svg [08/03/2016]
- [2] Chlorophyll_ab_spectra2.PNG: Aushulz derivative work: M0tty [CC BY-SA 3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0>) o GFDL (<http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html>)], a través de Wikimedia Commons [08/03/2016]
- [3] www.science-on-stage.de/iStage3_materials



IMPRINT

TAKEN FROM

iStage 3 - Football in Science Teaching
available in Czech, English, French, German,
Hungarian, Polish, Spanish, Swedish
www.science-on-stage.eu/istage3

PUBLISHED BY

Science on Stage Deutschland e.V.
Poststraße 4/5
10178 Berlin · Germany

REVISION AND TRANSLATION

TransForm Gesellschaft für Sprachen- und Mediendienste mbH
www.transformcologne.de

CREDITS

The authors have checked all aspects of copyright for the images and texts used in this publication to the best of their knowledge.

DESIGN

WEBERSUPIRAN.berlin

ILLUSTRATION

Tricom Kommunikation und Verlag GmbH
www.tricom-agentur.de

PLEASE ORDER FROM

www.science-on-stage.de
info@science-on-stage.de

Creative-Commons-License: Attribution Non-Commercial
Share Alike



First edition published in 2016

© Science on Stage Deutschland e.V.



SCIENCE ON STAGE – THE EUROPEAN NETWORK FOR SCIENCE TEACHERS

- ... is a network of and for science, technology, engineering and mathematics (STEM) teachers of all school levels.
- ... provides a European platform for the exchange of teaching ideas.
- ... highlights the importance of science and technology in schools and among the public.

The main supporter of Science on Stage is the Federation of German Employers' Associations in the Metal and Electrical Engineering Industries (GESAMTMETALL) with its initiative think ING.

Join in - find your country on

WWW.SCIENCE-ON-STAGE.EU

 www.facebook.com/scienceonstageeurope

 www.twitter.com/ScienceOnStage

Subscribe for our newsletter:

 www.science-on-stage.eu/newsletter



MAIN SUPPORTER OF
SCIENCE ON STAGE GERMANY

think
ING.
Die Initiative für
Ingenieur Nachwuchs

Proudly supported by

