

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales

**Efectos de la luz azul, roja y blanca en el potencial eléctrico de
Dionaea muscipula: Un análisis de electroactividad en plantas
carnívoras**

Melanie Anahi Santillán Figueroa

Ingeniería en Biotecnología

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniera en Biotecnología

Quito, 17 de diciembre de 2024

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

Efectos de la luz azul, roja y blanca en el potencial eléctrico de *Dionaea muscipula*: Un análisis de electroactividad en plantas carnívoras

Melanie Anahi Santillán Figueroa

Nombre del profesor, Título académico

**César Zambrano, PhD.
Diana Calderón, MsC**

Quito, 17 de diciembre de 2024

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Melanie Anahi Santillán Figueroa

Código: 00216401

Cédula de identidad: 1750838540

Lugar y fecha: Quito, 17 de diciembre de 2024

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

RESUMEN

En este trabajo se investigó cómo diferentes espectros de luz (azul, roja y blanca) afectan el potencial eléctrico de la planta carnívora *Dionaea muscipula* (Venus atrapamoscas), es un proyecto novedoso que explora la relación entre estímulos lumínicos y respuestas eléctricas en plantas. Usando el kit Plant SpikerBox, se registraron señales eléctricas durante 14 semanas, analizando parámetros como amplitud, frecuencia y variabilidad de los potenciales de acción.

El estudio incluyó dos estímulos mecánicos consecutivos: el estímulo 1, correspondiente al primer contacto con los cilios sensitivos de la trampa, y el estímulo 2, activado tras un segundo contacto dentro de un intervalo de 20 segundos, necesario para el cierre de la trampa. Los potenciales de acción registrados mostraron amplitudes que oscilaron entre 200 y 2,500 mV dependiendo del tipo de luz y las condiciones experimentales. La luz azul generó picos de amplitud más altos, reflejando una mayor activación de canales iónicos, mientras que la luz roja y blanca presentaron respuestas menos intensas. El presente estudio demuestra la utilidad de la electrofisiología como herramienta para monitorear respuestas en plantas, abriendo posibilidades para aplicaciones en agricultura, biotecnología y conservación.

Palabras clave: Electrofisiología, *Dionaea muscipula*, luz azul, luz roja, luz blanca potencial eléctrico.

ABSTRACT

In this study, we investigated how different light spectra (blue, red, and white) affect the electrical potential of the carnivorous plant *Dionaea muscipula* (Venus flytrap), a novel project exploring the relationship between light stimuli and electrical responses in plants. Using the Plant SpikerBox kit, electrical signals were recorded over 14 weeks, analyzing parameters such as amplitude, frequency, and variability of action potentials.

The study included two consecutive mechanical stimuli: Stimulus 1, corresponding to the first contact with the sensory cilia of the trap, and Stimulus 2, triggered by a second contact within a 20-second interval, necessary for the trap to close. The recorded action potentials showed amplitudes ranging from 200 to 2,500 mV, depending on the light type and experimental conditions. Blue light generated higher amplitude peaks, reflecting greater activation of ion channels, while red and white light elicited less intense responses. This study highlights the utility of electrophysiology as a tool for monitoring plant responses, opening possibilities for applications in agriculture, biotechnology, and conservation.

Key words: Electrophysiology, *Dionaea muscipula*, blue light, red light, electrical potential.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	9
Métodos	13
Resultados	16
Discusión	19
Conclusiones	23
Figuras	24
Referencias bibliográficas	28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Efecto de las luces en la actividad eléctrica de las Venus atrapamoscas.	24
Figura 2. Tasa de supervivencia de Venus atrapamoscas bajo diferentes tipos de luz.....	25
Figura 3. Promedio del potencial de acción bajo diferentes tipos de luz en 6 semanas.	26
Figura 4. Efecto del potencial máximos y mínimos registrado a lo largo de 14 semanas.	27

INTRODUCCIÓN

El estudio de las plantas carnívoras se remonta al trabajo pionero de Charles Darwin, quien publicó el primer registro detallado en su obra *Insectivorous Plants* en 1875 (Stein, 1876). La Venus atrapamoscas (*Dionaea muscipula*), perteneciente a la familia de las *Droseraceae*, es una planta carnívora que se encuentra en áreas húmedas y pantanosas, del sureste de los Estados Unidos (Luken, 2005). En la actualidad debido a su popularidad como planta ornamental, se ha expandido y naturalizado en otras regiones del mundo (Cifuentes, 2023). Su desarrollo se da a una temperatura de 20 a 30 °C, con alta humedad y luz solar indirecta (Hedrich & Neher, 2018). Además, crecen en suelos carentes de nutrientes como el nitrógeno o el fósforo (Hutchens, & Luken, 2009; Nuñez et al., 2019). De modo que han desarrollado una estrategia evolutiva para poder compensar las necesidades nutricionales a través de la captura de insectos y así equilibrar su escaso rendimiento fotosintético (Climent Soler, 2020).

Hasta la fecha se han descrito más de 600 plantas carnívoras, sin embargo, *Dionaea muscipula* se destaca por sus características distintivas únicas (Hutchens, & Luken, 2009). La planta presenta inflorescencias en forma de ramillete floral, sostenidas por una vareta que sobresale de las trampas, son pequeñas, de color blanco y con forma de estrella (Cifuentes, 2023). Por otro lado, posee entre 5 a 7 hojas gruesas que tienen una forma expandida, crecen al nivel del suelo en forma de roseta (Volkov et al., 2008). Presentan modificaciones en los extremos superiores, mediante un peciolo central se desarrollan dos lóbulos que adoptan una forma de concha abierta (Porcel, 2020). En el interior de cada lóbulo presenta tres cilios sensitivos, con un haz flexible y una base rígida (podium), lo que amplifica los estímulos recibidos (DiPalma et al., 1966). Por otra parte, en el borde de cada lóbulo se encuentran pelos

en forma de dientes y son los que permiten que la trampa se cierre herméticamente (Bobadilla et al., 2024; Hedrich & Kreuzer, 2023).

Por otro lado, *Dionaea muscipula* es una planta fotosintética que ha desarrollado una estrategia para poder compensar la falta de nutrientes mediante la captura de insectos (Alcalá, 2011). Este proceso, conocido como carnivoría vegetal, inicia cuando la planta atrae a sus presas mediante la emisión de compuestos fenólicos que imitan aromas frutales (Mogensen, 2024). Al entrar en contacto con los cilios sensitivos ubicados en los lóbulos de la trampa, se genera un potencial de acción, una señal eléctrica transitoria que se produce por la despolarización de las membranas celulares en respuesta a estímulos mecánicos mínimos, como el contacto con un insecto (Volkov et al., 2008). Este diseño estructural permite que incluso los estímulos más pequeños sean detectados con precisión, haciendo que la planta responda eficazmente al contacto con una presa (Böhm et al., 2016).

Después se produce la propagación del potencial de acción que se da a través de los plasmodesmos, que son canales que conectan las células de las plantas permitiendo el intercambio de nutrientes, agua, y señales, que están ubicados en las paredes celulares entre las células adyacentes, y en este caso se extienden hasta el pecíolo central de la trampa (Alonso Martínez, 2024; Volkov et al., 2010). Cuando un insecto entra en contacto con uno de los cilios sensitivos, se genera un estímulo inicial, denominado Estímulo 1 (Brownlee, 2017). No obstante, este primer estímulo por sí solo no es suficiente para provocar el cierre de la trampa. Para que esto ocurra, es necesario un segundo estímulo, conocido como Estímulo 2, que se produce cuando hay un nuevo contacto, ya sea con el mismo cilio o con otro, dentro de un intervalo de 20 segundos. Este segundo estímulo genera un segundo potencial de acción, lo que finalmente desencadena el cierre de la trampa. (Hedrich & Kreuzer, 2023; Volkov & Markin, 2015).

Esta señal eléctrica se propaga a través de los lóbulos de la trampa debido a cambios en los gradientes iónicos, principalmente a través de la entrada de iones de calcio Ca^{2+} , que despolariza las células circundantes (DiPalma et al., 1966; Qian et al., 2024). Posteriormente, la repolarización se lleva a cabo mediante la apertura de canales de potasio (K^+), que permiten que las células restablezcan su equilibrio iónico, restaurando así su estado inactivo y preparando la planta para una nueva activación en el futuro (Brownlee, 2017; Volkov et al., 2012).

Además, para que se dé el cierre de la trampa debe ocurrir un cambio en la turgencia de las células del lóbulo (Volkov et al., 2012). Ya que el cierre de la trampa involucra cambios rápidos en la turgencia de las células ubicadas en la bisagra del lóbulo, una estructura clave en el mecanismo de movimiento (DiPalma et al., 1966). Cuando se genera el impulso eléctrico, las células internas de la bisagra pierden agua rápidamente debido al flujo osmótico, disminuyendo su turgencia y colapsando, mientras que las células externas de la bisagra mantienen su presión interna. Esta diferencia en la turgencia genera una fuerza que impulsa el movimiento del lóbulo hacia adentro, cerrando la trampa (Trebacz & Sievers, 1998; Volkov et al., 2008).

Por otro lado, se sabe que la luz es un factor fundamental para la fisiología de las plantas, ya que proporciona la energía necesaria para la fotosíntesis y regula procesos esenciales como el crecimiento, desarrollo y adaptación al ambiente. Un espectro completo de luz, como el de la luz blanca, permite que las plantas realicen estos procesos de manera eficiente, promoviendo un crecimiento uniforme y óptimo (Lariguet & Dunand, 2005; Trebacz & Sievers, 1998). Sin embargo, cuando las plantas están expuestas únicamente a un tipo de luz, como la azul o la roja, pueden surgir cambios fisiológicos significativos. Por ejemplo, la luz azul puede favorecer respuestas rápidas y metabólicas intensas, pero puede resultar en un crecimiento más compacto y hojas más pequeñas. Por otro lado, la exposición exclusiva a luz

roja puede llevar a un crecimiento etiolado, con tallos alargados y débiles, afectando su estructura y funcionalidad (Gyula et al., 2003; Meisel et al., 2011).

La electrofisiología permite estudiar los fenómenos eléctricos en células al analizar los potenciales generados por diferencias iónicas, reguladas por canales iónicos (Boron & Boulpaep, 2016; Hille, 1978). Aunque la electrofisiología ha sido investigada extensamente en animales, recientemente se ha revelado información crucial sobre su aplicación en plantas (Pachú et al., 2023). Especies como *Mimosa pudica*, *Drosera*, y *Dionaea muscipula*, que responden de forma mecánica a estímulos táctiles con potenciales de acción similares a los observados en sistemas nerviosos animales, han sido objeto de estudio (Tran et al., 2019).

Además, existen herramientas más asequibles han permitido que los investigadores accedan a estas metodologías con mayor facilidad, ampliando así su uso para estudiar las respuestas eléctricas de las plantas ante diversos estímulos ambientales (Atum, 2021). Así como en este caso donde se utilizó el kit "SpikeBox" de Backyard Brains, que funciona mediante electrodos colocados en la superficie de la planta, que detectan los cambios eléctricos generados por los potenciales de acción. Estas señales son amplificadas y transmitidas a un dispositivo móvil o computadora por medio del aparato generador de señales que toma estas señales análogas y las convierte en señales digitales para analizarlas (Backyard Brains, 2024).

Actualmente, la electrofisiología en plantas tiene diversas aplicaciones prácticas, incluyendo el monitoreo de respuestas a cambios ambientales y la detección de enfermedades mediante variaciones en el potencial de membrana (Atum, 2021). El campo emergente de la electrofisiología promete aplicaciones futuras significativas, como el monitoreo rápido y en tiempo real del medio ambiente (Chaparro et al., 2021). Por ello, este proyecto tiene como objetivo principal medir y graficar el potencial eléctrico en *Dionaea muscipula* para analizar cómo los diferentes tipos de luz afectan los potenciales de acción, permitiendo comprender mejor las respuestas eléctricas de la planta bajo condiciones específicas de estrés lumínico.

MÉTODOS

Preparación de las plantas y condiciones iniciales

Se adquirieron 15 plantas de *Dionaea muscipula*, etiquetadas individualmente con códigos que incluían las siglas "Mcar" y un número específico. Estas siglas corresponden a la inicial del nombre del autor del proyecto (M) y la referencia a las plantas carnívoras (car), lo que facilitó la organización y el seguimiento de cada una de las plantas durante el experimento.

Las plantas se colocaron en el cuarto de cultivo del Laboratorio de Biotecnología Vegetal de la Universidad San Francisco de Quito, donde se mantuvieron a temperaturas entre 20 y 23 °C, con un fotoperiodo de 16 horas de luz y 8 horas de oscuridad. Se establecieron tres condiciones lumínicas: luz blanca, luz azul (450 nm) y luz roja (660 nm), se utilizó un luxómetro para asegurar la uniformidad en la intensidad de luz la cual se ajustó a $50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Las luces azul y roja se ajustaron en cubículos específicos, mientras que la luz blanca se mantuvo en los estantes del cuarto de cultivo, además las luces fueron reguladas mediante focos led.

Diseño experimental

El experimento se llevó a cabo durante 14 semanas con 15 plantas divididas en tres grupos de cinco, distribuidas por cada tipo de luz. De cada planta se seleccionaron dos lóbulos para su análisis. A cada lóbulo se le aplicaron dos estímulos consecutivos en una misma sesión, y las grabaciones se almacenaron con un sistema de nomenclatura que incluía detalles como el número de ensayo, tipo de luz, ID de la planta, estado del lóbulo (joven o maduro) y número del lóbulo analizado, por ejemplo: "Ensayo9_Luz_azul_Mcar1_lobulo_010". Además, se registraron observaciones sobre el estado general de las plantas, nuevos lóbulos formados y se incluyó además un registro fotográfico para documentar cambios estructurales, lo cual fue guardado en un documento Excel considerado como nuestra metadata.

Medición del potencial eléctrico

Para registrar los potenciales de acción, se utilizó el kit Plant SpikerBox y su software Spike Recorder. En cada sesión, se seleccionó una trampa abierta de la planta, donde se colocaron los electrodos y alambres necesarios para la medición. Específicamente, el electrodo naranja se ubicó en un costado del lóbulo, mientras que el alambre de platino se colocó en la parte ancha de la hoja. Además, se aplicó gel conductor en los puntos de contacto del tejido vegetal para asegurar una buena conductividad y minimizar el ruido en las mediciones. Los electrodos fueron conectados al Plant SpikerBox mediante pinzas RCA amarillas y un cable USB para transmitir los datos a una computadora. Tras estabilizar la señal, se aplicaron los estímulos. El primero se realizó mediante el contacto mecánico con un pelo sensorial del lóbulo, y el segundo se ejecutó entre 20 y 30 segundos después, generando el cierre del lóbulo. Las grabaciones resultantes se guardaron en formato .wav para su posterior análisis.

Normalización de los datos

Las grabaciones fueron procesadas utilizando el software Ardour (versión 8.4.0), donde se identificaron y segmentaron los estímulos correspondientes. Posteriormente, se aplicó un proceso de normalización para centrar los datos alrededor de cero, eliminando sesgos en las amplitudes y facilitando la comparación entre muestras. Además, se implementó un filtro mediante un código en Python para excluir las grabaciones que no estuvieran dentro del rango de 960,088 a 1,000,000 datos. Estos valores representan la cantidad de datos capturados durante las grabaciones individuales de los potenciales eléctricos.

El rango fue seleccionado porque, tras un análisis preliminar, se determinó que este intervalo abarcaba las grabaciones que cumplían con la duración estándar establecida para las sesiones experimentales. Las grabaciones fuera de este rango correspondían a datos incompletos o con artefactos técnicos (por ejemplo, interrupciones en la señal o ruido de fondo), lo que afectaría la calidad y la precisión del análisis. Este criterio permitió garantizar

la consistencia y calidad de los datos utilizados en el estudio, asegurando que todas las muestras incluidas reflejaran de manera confiable las respuestas eléctricas de la planta bajo las condiciones experimentales.

Análisis de los datos

El análisis de los datos se realizó mediante un script en Python diseñado específicamente para procesar las grabaciones en formato .wav. Este script incluyó varias etapas clave: primero, cargó los datos de las grabaciones y los convirtió a un formato numérico adecuado para el análisis. Luego, identificó los picos y las ondas relevantes en las señales eléctricas, utilizando algoritmos para calcular las ondas promedio y las desviaciones estándar en cada condición lumínica.

Finalmente, el script generó gráficos comparativos que mostraron las respuestas eléctricas bajo cada tipo de luz (blanca, azul y roja), visualizando las amplitudes en milivoltios y los tiempos en segundos. Estos gráficos incluyeron la señal promedio y los límites de la desviación estándar para cada condición, facilitando el análisis de la variabilidad y las diferencias entre los tratamientos lumínicos.

RESULTADOS

Grabaciones totales y curación de los datos

Se obtuvo grabaciones un total de 134, 132 y 132 grabaciones para la luz blanca, roja y azul, respectivamente. Después del proceso de curación de datos, se conservaron 127 grabaciones para el Estímulo 1 bajo luz blanca, 124 bajo luz roja y 124 bajo luz azul. Para el Estímulo 2, se obtuvieron 106 grabaciones bajo luz blanca, 109 bajo luz roja y 102 bajo luz azul, reflejando la cantidad de datos útiles para el análisis final del potencial de acción cuando es expuesto a diferentes tipos de luz.

Potencial eléctrico

La figura 1 muestra cómo las diferentes luces tienen un efecto en las amplitudes de los potenciales eléctricos. En el eje vertical se encuentran las amplitudes en milivoltios, mientras que en el eje horizontal se representa el tiempo en segundos. En el estímulo 1 (a), se puede observar que los potenciales de acción tienen un patrón parecido entre los potenciales de acción de las plantas expuestas a diferentes luces, ya que estos potenciales de acción tienen un pico causado por la despolarización de la membrana y un codo que corresponde a la repolarización de la membrana celular. Por otro lado, para el estímulo 2 (b) se observa que la amplitud que alcanza los potenciales de acción de las plantas que estuvieron expuestas a luz azul son mayores a comparación de los potenciales de acción bajo luz roja y luz blanca, alcanzado un potencial de acción de 2000 mV. Estos patrones destacan cómo las amplitudes y la consistencia de las respuestas eléctricas cambian en función de los estímulos y de las condiciones lumínicas.

Tasa de supervivencia

En la figura 2 se presenta la tasa de supervivencia de las plantas durante un periodo de 14 semanas bajo luz blanca, azul y roja. En el eje vertical se muestra el porcentaje de supervivencia, mientras que en el eje horizontal se representan las semanas transcurridas. Las

plantas bajo luz roja muestran una disminución constante en la supervivencia desde la semana 4, alcanzando un 0% en la semana 14. Por su parte, las plantas bajo luz azul y blanca mantuvieron tasas de supervivencia más altas en las primeras semanas, comenzando a disminuir a partir de la semana 6. Al finalizar el experimento, la supervivencia alcanzó un 10% bajo luz azul y un 30% bajo luz blanca. Estos resultados evidencian patrones de disminución que varían según el tipo de luz, resaltando diferencias en la capacidad de las plantas para mantenerse vivas a lo largo del tiempo.

Potencial de acción a las seis semanas

En la figura 3 detalla los promedios de los potenciales de acción registrados durante seis semanas de exposición a luz blanca, azul y roja, esto debido a que se observó que a las seis semanas se empezó a disminuir la supervivencia de las plantas, por lo que se quería analizar el comportamiento de los potenciales de acción durante este tiempo de exposición en las diferentes luces. Se observa que durante el estímulo 1 (a), los picos de amplitud bajo luz azul ocurren más temprano, alrededor de los 3 segundos, mientras que las luces blanca y roja generan respuestas más tardías. En el estímulo 2 (b) la luz azul continúa mostrando amplitudes más altas y una mayor variabilidad. Estos patrones revelan que el comportamiento de los potenciales de acción podría estar relacionado con el tiempo de exposición bajo diferentes tipos de luz.

Potenciales máximos y mínimos por cada semana

En la figura 4 se presentan los potenciales eléctricos máximos y mínimos registrados durante las 14 semanas de exposición, ya que se quiso evidenciar cómo variaba el comportamiento de los potenciales de acción durante todo el experimento. Los potenciales máximos y mínimos engloban los puntos máximos y mínimos del promedio que se obtuvo de los gráficos de cada semana.

De esta gráfica se puede analizar que, bajo luz azul, se observaron mayores fluctuaciones en las amplitudes, con picos destacados en las semanas 10 y 11. Por otro lado, las luces roja y blanca presentaron variaciones más estables y con amplitudes más bajas. Estos patrones evidencian la dinámica de las señales eléctricas durante el tiempo de exposición, resaltando diferencias entre los potenciales de acción.

DISCUSIÓN

Las señales eléctricas como los potenciales de acción permiten a las plantas reaccionar a estímulos externos, transmitir información y coordinar respuestas fisiológicas; de esta manera, comprender estas señales podría ayudar a optimizar el rendimiento de cultivos, contribuyendo así a la resiliencia agrícola ante condiciones climáticas adversas (Shabala, 2006). Investigaciones sobre estas señales han demostrado que pueden ser indicadores tempranos de estrés hídrico o la presencia de patógenos, lo que resulta crucial para una detección y respuesta rápidas en sistemas de cultivo (Zhou et al., 2022).

El estudio de plantas como *Dionaea muscipula* resulta especialmente útil, ya que sus respuestas mecánicas a estímulos externos, evidenciadas mediante potenciales de acción, ofrecen un modelo claro y accesible para analizar la comunicación eléctrica en plantas (Climent Soler, 2020). Este tipo de experimentos constituye un primer paso hacia el monitoreo de cultivos de interés comercial, en los cuales no se observan movimientos evidentes pero que igualmente responden a factores de estrés a través de señales eléctricas (Fromm & Lautner, 2007). Futuros estudios podrían implementar técnicas avanzadas para monitorear potenciales eléctricos en plantas sin respuestas visibles, contribuyendo así a la detección temprana de estrés y al desarrollo de sistemas de alerta agrícola más eficientes (Chaparro et al., 2021).

Por lo que, la obtención de gráficos de los potenciales de acción en la *Dionaea muscipula* representa un hallazgo valioso, ya que estos resultados confirman la capacidad de la planta para generar señales eléctricas en respuesta a estímulos específicos (Tran et al., 2019). Este registro no solo valida la existencia de estas respuestas, sino que también permite un análisis detallado de la dinámica de la señal, como la amplitud, la duración y los puntos de mayor actividad, lo que aporta una base sólida para profundizar en el estudio de los procesos de comunicación y respuesta en plantas (Lee & Calvo, 2023).

Además, la visualización de los límites superior e inferior, representados por la desviación estándar, junto con la señal promedio, proporciona una herramienta fundamental para evaluar la variabilidad inherente en las respuestas eléctricas en las plantas (Armada et al., 2022). En el caso de *Dionaea muscipula* esta variabilidad podría estar relacionada con factores como la energía del estímulo, el estado fisiológico de la planta, o incluso la exposición previa a diferentes espectros de luz, analizar esta desviación permite identificar patrones en la consistencia o fluctuación de los potenciales de acción, lo que aporta información clave sobre la sensibilidad y adaptabilidad de la planta frente a diferentes estímulos (Volkov, 2006).

Primero en la figura 1 se muestran las gráficas promedio de los potenciales de acción, el comportamiento que se observa puede estar relacionado con una mayor activación de los canales iónicos en las membranas celulares bajo la luz azul, atribuida a la activación de fototropinas, que son fotorreceptores específicos sensibles a este espectro lumínico (Meisel et al., 2011). La activación de las fototropinas no solo aumenta la sensibilidad de la planta hacia estímulos de luz azul, sino que también modula procesos fisiológicos como la apertura de estomas y el movimiento de cloroplastos, lo que podría incrementar la conductancia en las membranas celulares. Este aumento de conductancia facilita un flujo iónico más intenso, particularmente de Ca^{2+} y K^+ , lo que se refleja en los datos como un pico de amplitud más alto durante los potenciales de acción (Trebacz & Sievers, 1998).

En conjunto, la literatura sugiere que los potenciales de acción en esta especie oscilan entre 5 y 40 mV, dependiendo de las condiciones experimentales (Di Palma et al., 1961; Pavlovič et al., 2017; Volkov et al., 2012). En comparación, los resultados obtenidos en este estudio revelaron amplitudes que varían entre 200 y 2500 mV, valores significativamente mayores. Esta disparidad podría explicarse por las condiciones lumínicas específicas utilizadas, que podrían haber potenciado la respuesta eléctrica de las plantas y también por el empleo de herramientas de registro modernas, como el kit Plant SpikerBox, que ofrecen una

mayor sensibilidad y resolución temporal en la detección de señales eléctricas (Backyard Brains, 2024; Volkov et al., 2008).

Por otro lado, con respecto a la reducción de la supervivencia de los lóbulos en la Figura 2, se sugiere que la exposición a un solo tipo de luz afecta negativamente el desarrollo de los lóbulos (Wei et al., 2023). De esta manera, las plantas expuestas únicamente a luz roja podrían desarrollar un estrés fisiológico significativo y un agotamiento de sus reservas energéticas debido a una fotosíntesis ineficaz, lo que limita su desarrollo y afecta su salud a largo plazo (Mader & Windelspecht, 2019). Este estrés también influye en la fisiología general de las plantas, incluyendo una elongación excesiva de los lóbulos y una reducción en la funcionalidad de los cilios sensitivos, lo que compromete su capacidad de detectar estímulos de manera eficiente (Meisel et al., 2011). Por otro lado, la luz azul también genera efectos fisiológicos que resultan en plantas más pequeñas y compactas. Esto podría deberse a que las células acumulan una gran cantidad de energía para responder a estímulos eléctricos, lo que desvía recursos metabólicos que de otra manera serían utilizados para el crecimiento, dando como resultado cilios sensitivos más rígidos y reactivos, lo que, aunque mejora su sensibilidad, podría limitar su flexibilidad y eficacia en el tiempo (Wang et al., 2024).

Por otro lado, el 30% de supervivencia bajo luz blanca a las 14 semanas hace referencia específicamente a las plantas que aún conservan lóbulos verdes y funcionales, con capacidad para realizar su actividad de captura. Esto no significa que las plantas restantes se hayan secado por completo, sino que sus lóbulos (trampas) han oscurecido o deteriorado como parte del ciclo natural de renovación de los tejidos. Según Marcel Lecoufle y Manuel Pijoan (2007), *Dionaea muscipula* tienen una longevidad superior a 10 años, pero sus lóbulos suelen deteriorarse con el tiempo, especialmente en respuesta a cambios estacionales o al desgaste natural de su ciclo vegetativo. Este proceso puede ser comparado con la caída de hojas en árboles caducifolios

durante el otoño, donde se produce una renovación constante de los tejidos de captura (Lecoufle & Pijoan, 2007).

Por otro parte, en la figura 3 se observa que los potenciales de acción durante seis semanas de exposición a las luces, lo cual sugiere que cada tipo de luz induce respuestas fisiológicas distintas en el sistema analizado. La luz azul, que presenta picos de amplitud más pronunciados, podría estar generando una mayor excitación debido a su longitud de onda más corta (450-495 nm), lo que la hace energéticamente más intensa en comparación con la luz roja. Esta alta energía ha sido asociada con respuestas fotomorfogénicas en plantas, como el cierre estomático y la activación de fototropinas, las cuales modulan procesos clave para la sensibilidad eléctrica y fisiológica (Christie, 2007). Sin embargo, aunque las luces azules mostraron una acumulación de mayor energía y sus patrones resultaron más dinámicos, esto no estuvo relacionado con una mayor rapidez en el cierre de la trampa, ya que el resultado final fue el mismo en todos los casos, estas variaciones observadas en las respuestas también pueden estar influenciadas por el tiempo de exposición ya que una exposición prolongada a la luz azul puede generar una acumulación de señales eléctricas, saturando o alterando la sensibilidad del sistema a estímulos mecánicos (Demarsy & Fankhauser, 2009; Volkov et al., 2010).

Para finalizar, sería valioso explorar otros tipos de estrés o estímulos, así como variaciones de temperatura, estímulos mecánicos o químicos, podría ampliar significativamente nuestra comprensión de cómo las plantas responden a su entorno y ampliar el campo de la electrofisiología vegetal (Chaparro et al., 2021). Cada tipo de estímulo activa rutas bioquímicas y eléctricas específicas que afectan los potenciales de acción, revelando cómo las plantas ajustan sus respuestas a distintos factores; por ejemplo, los cambios de temperatura pueden desencadenar respuestas en los canales iónicos que regulan el flujo de calcio y potasio, alterando los potenciales de membrana y provocando adaptaciones celulares que no se observarían únicamente con estímulos lumínicos (Sukhova & Sukhov, 2021).

CONCLUSIONES

Este estudio demuestra que la luz tiene un impacto significativo en las respuestas eléctricas, fisiológicas y la supervivencia de *Dionaea muscipula*, revelando que la luz azul, aunque potencia la actividad eléctrica, no garantiza una alta supervivencia a largo plazo, mientras que la luz blanca, con un espectro completo, favorece la longevidad de las plantas. Además, cabe resaltar que se logró evidenciar un comportamiento diferente entre los potenciales de acción de las plantas cuando están expuestas a diferentes tipos de luces, lo cual resulta ser realmente valioso ya que de esta manera se puede enriquecer los estudios de electrofisiología en plantas abriendo un campo nuevo de estudio. De esta manera, la electrofisiología se confirma como una técnica valiosa para monitorear las respuestas de las plantas a estímulos externos, aportando información clave sobre los patrones iónicos que regulan su excitabilidad y adaptación. Futuros estudios podrían concluir un mayor número de plantas, controles más robustos y estímulos adicionales, como variaciones de temperatura o químicos, para ampliar la comprensión de las respuestas de las plantas. Este tipo de monitoreo preliminar puede ser aplicado en otros sistemas vegetales y tipos de estrés, abriendo posibilidades para desarrollar herramientas que detecten signos tempranos de deterioro y optimicen el manejo de cultivos en agricultura, ecología y fisiología vegetal.

FIGURAS

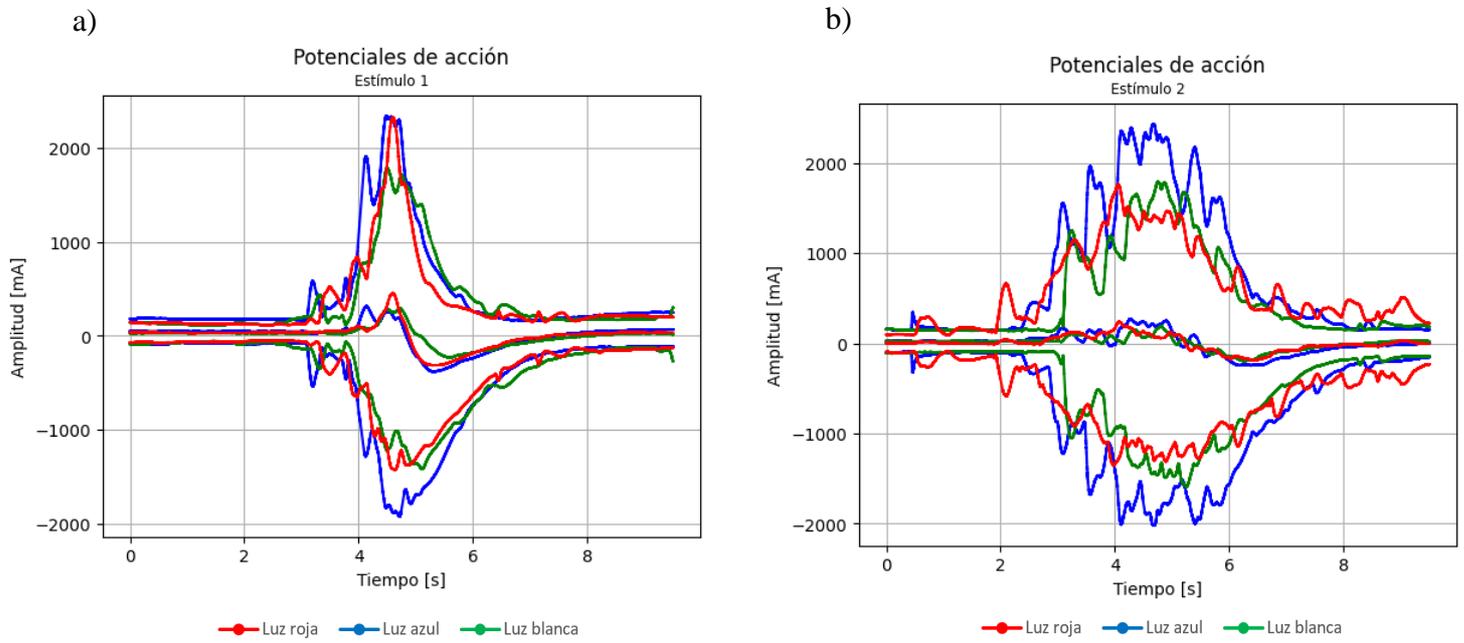


Figura 1. Efecto de las luces en la actividad eléctrica de las Venus atrapamoscas.

Descripción: La figura compuesta muestra las respuestas del sistema a dos estímulos de luz (a y b) aplicados en tres tipos de luz: azul, roja y blanca.

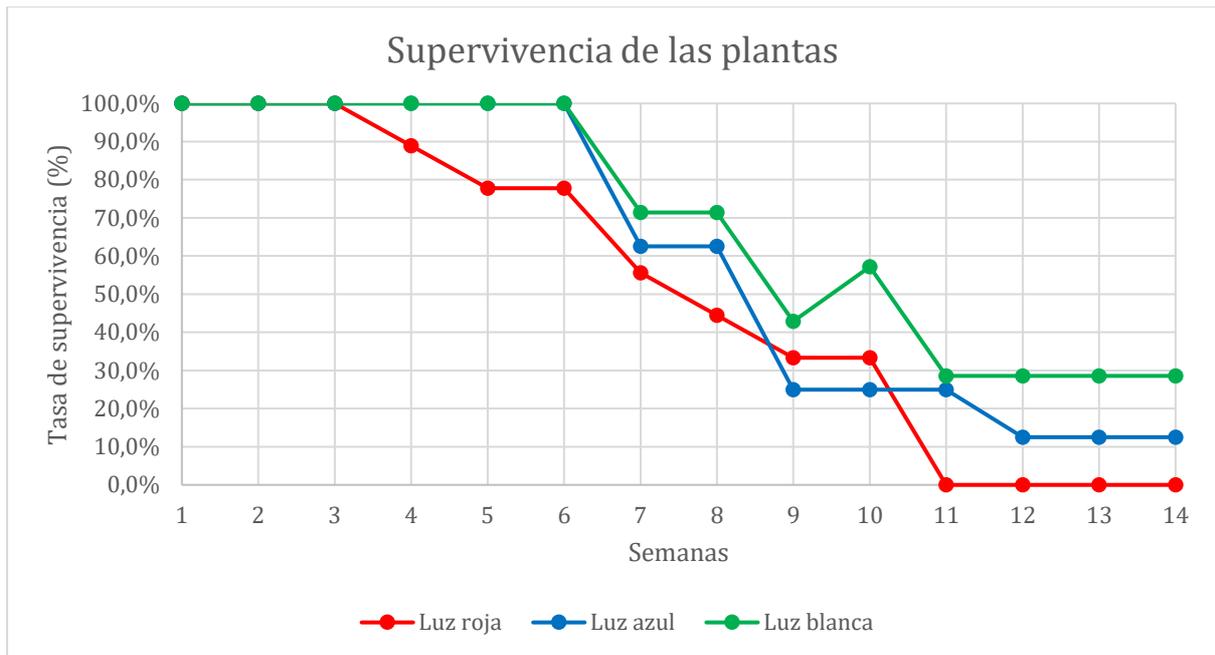


Figura 2. Tasa de supervivencia de Venus atrapamoscas bajo diferentes tipos de luz.

Descripción: Este gráfico muestra la tasa de supervivencia de las plantas Venus atrapamoscas durante 14 semanas, expuestas a luz roja, luz azul y luz blanca. En el eje vertical se representa el porcentaje de supervivencia, y en el eje horizontal, las semanas de duración del experimento. Las líneas de colores indican las tasas de supervivencia para cada tipo de luz.

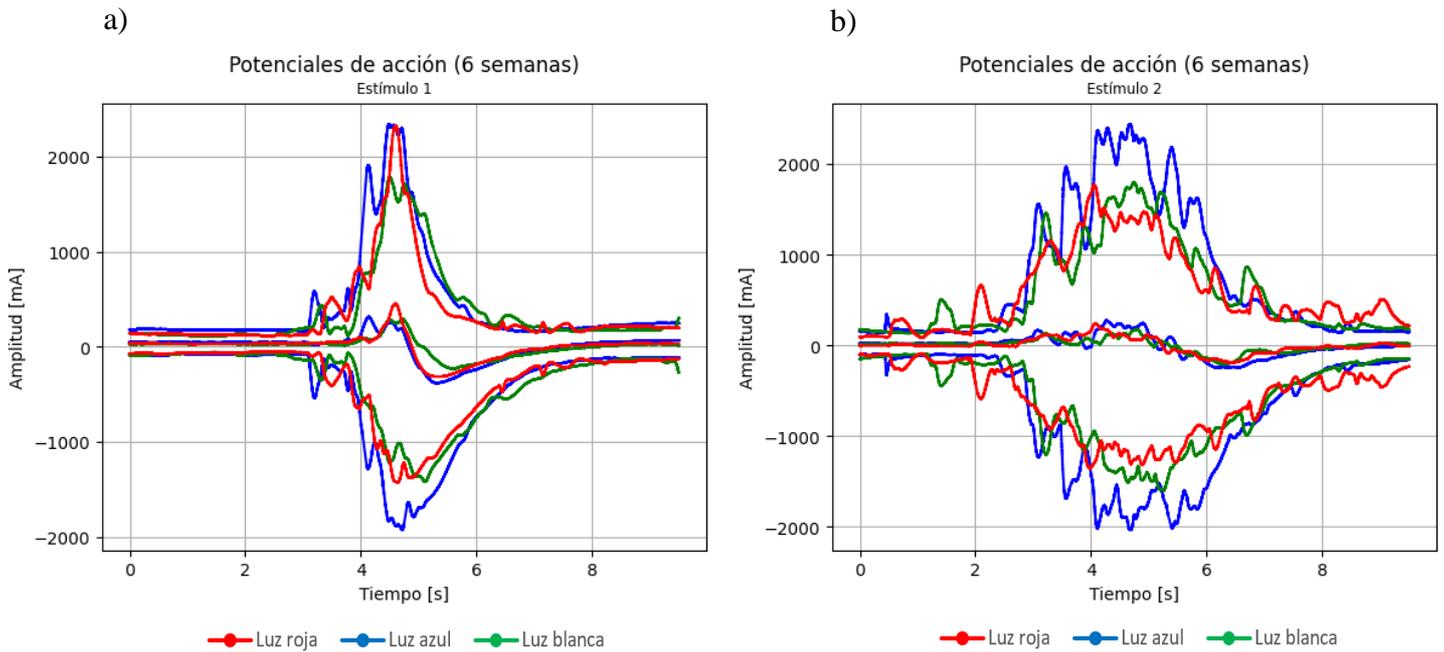


Figura 3. Promedio del potencial de acción bajo diferentes tipos de luz en 6 semanas.

Descripción: La tabla muestra el promedio del potencial de acción registrado en Venus atrapamoscas expuestas a tres tipos de luz (luz azul, luz blanca y luz roja) durante 6 semanas. Los gráficos comparan las respuestas al Estímulo 1 y Estímulo 2 en términos de amplitud y tiempo

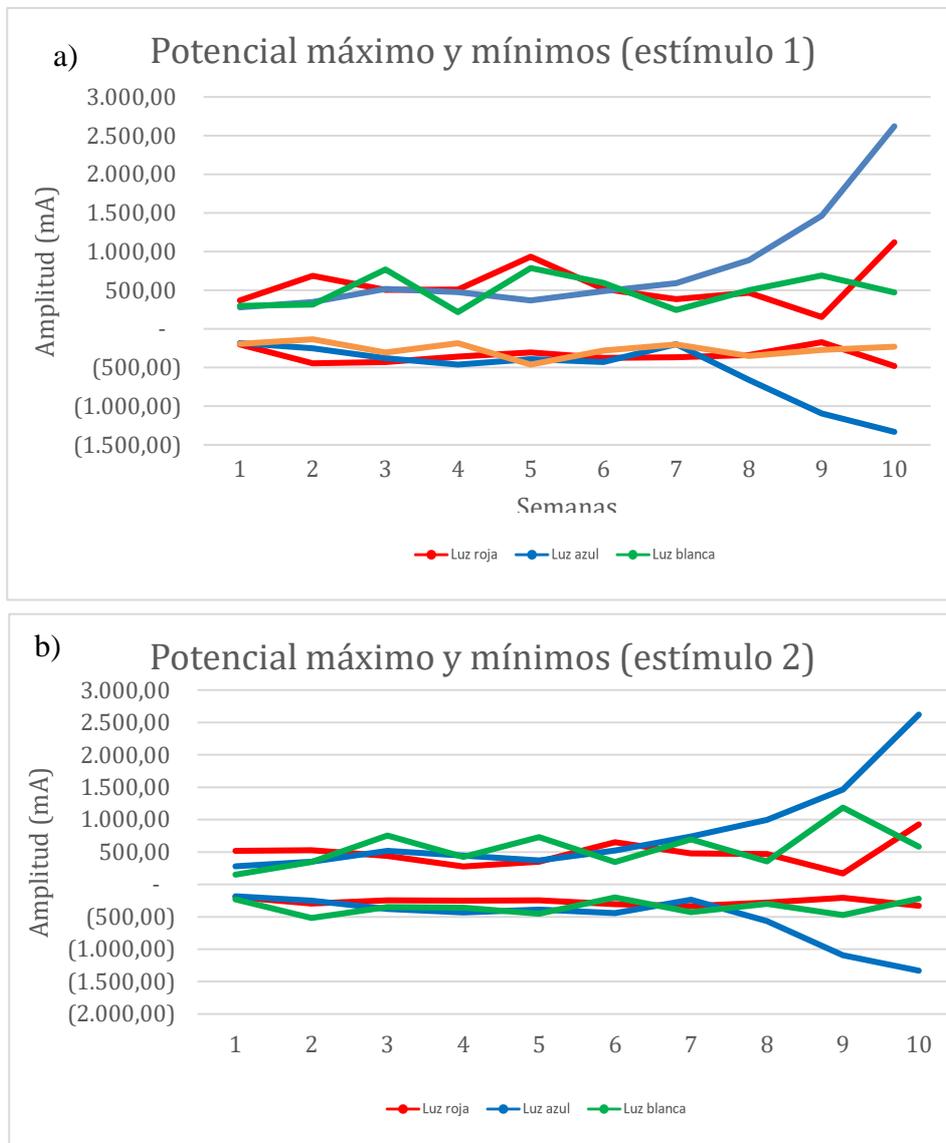


Figura 4. Efecto del potencial máximos y mínimos registrado a lo largo de 14 semanas.

Descripción: Este gráfico ilustra las amplitudes del potencial máximo en miliamperios (mA) bajo la influencia de tres tipos de luz: roja, azul y blanca, durante un periodo de 14 semanas. Se observan tanto los valores de amplitud máxima como mínima para la luz azul y la luz roja.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcalá, R. E. (2011). Darwin, los pinzones y las plantas carnívoras. *Inventio, la génesis de la cultura universitaria en Morelos*, 7(13), 73–77.
- Alonso Martínez, A. (2024). *Relación entre la concentración de potasio y sólidos solubles totales en el extracto celular del peciolo con el rendimiento y crecimiento en pepino (Cucumis sativus L.)*. <https://repositorio.uaaan.mx/xmlui/handle/123456789/49868>
- Armada, A., Diacci, C., Dar, A. M., Berggren, M., Simon, D. T., & Stavrinidou, E. (2022). Benchmarking organic electrochemical transistors for plant electrophysiology. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.916120>
- Atum, Y. V. (2021). Análisis objetivo de la evolución de la descarga de peso mediante el registro de parámetros biomecánicos y electrofisiológicos. *Ciencia, Docencia y Tecnología Suplemento*, 11(12), Article 12. <https://pcient.uner.edu.ar/index.php/Scdyt/article/view/1210>
- Backyard Brains. (2024). *Getting Started with the Plant SpikerBox: Venus Flytrap Electrophysiology*. https://backyardbrains.com/experiments/Plants_VenusFlytrap
- Bobadilla, L. I. B., Guerrero, E. A. G., & Fuentes, J. M. F. (2024). Unidad Didáctica Para La Enseñanza Del Mecanismo Evolutivo De Selección Natural Usando A Dionea Muscipula Como Modelo Biológico, En Estudiantes De 9° Del Colegio Cedit San Pablo Bosa Ied, Bogotá D.C. *Bio-grafía*, 17(32), Article 32. <https://revistas.upn.edu.co/index.php/bio-grafia/article/view/20425>
- Böhm, J., Scherzer, S., Krol, E., Kreuzer, I., von Meyer, K., Lorey, C., Mueller, T. D., Shabala, L., Monte, I., Solano, R., Al-Rasheid, K. A. S., Rennenberg, H., Shabala, S., Neher, E., & Hedrich, R. (2016). The Venus Flytrap *Dionaea muscipula* Counts Prey-

- Induced Action Potentials to Induce Sodium Uptake. *Current Biology*, 26(3), 286–295. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2015.11.057>
- Boron, W. F., & Boulpaep, E. L. (2016). *Medical Physiology E-Book*. Elsevier Health Sciences.
- Briggs, W. R., & Christie, J. M. (2002). Phototropins 1 and 2: Versatile plant blue-light receptors. *Trends in Plant Science*, 7(5), 204–210. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(02\)02245-8](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(02)02245-8)
- Brownlee, C. (2017). Plant Physiology: The Venus Flytrap Counts on Secretion. *Current Biology*, 27(15), R763–R764. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.06.029>
- Chaparro, S. L., Ramirez-Bautista, J. A., Gamboa-Contreras, W., Moreno-Chacón, A. L., & Vargas-Tangua, F. C. (2021). Plant electrophysiology: Bibliometric analysis, methods and applications in the monitoring of plant-environment interactions. *DYNA*, 88(218), 212–223.
- Christie, J. M. (2007). Phototropin Blue-Light Receptors. *Annual Review of Plant Biology*, 58(Volume 58, 2007), 21–45. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.58.032806.103951>
- Cifuentes, M. (2023). *Evaluación de dos sustratos principales y un drenante en la aclimatación de vitro plantas de venus atrapamoscas (Dionaea muscipula)* [ESPE (Universidad de las fuerzas armadas)]. <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/2485/browse?type=author&order=ASC&rpp=70&value=Cifuentes+Ilbay%2C+Mar%C3%ADa+Cristina>
- Climent Soler, Ó. (2020). *Las plantas carnívoras y sus interacciones con los insectos*. <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/107689>

Demarsy, E., & Fankhauser, C. (2009). Higher plants use LOV to perceive blue light.

Current Opinion in Plant Biology, 12(1), 69–74.

<https://doi.org/10.1016/j.pbi.2008.09.002>

DiPalma, J. R., McMichael, R., & DiPalma, M. (1966). Touch Receptor of Venus Flytrap,

Dionaea muscipula. *Science*, 152(3721), 539–540.

Fromm, J., & Lautner, S. (2007). Electrical signals and their physiological significance in

plants. *Plant, Cell & Environment*, 30(3), 249–257. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2006.01614.x>

Gyula, P., Schäfer, E., & Nagy, F. (2003). Light perception and signalling in higher plants.

Current Opinion in Plant Biology, 6(5), 446–452. [https://doi.org/10.1016/S1369-5266\(03\)00082-7](https://doi.org/10.1016/S1369-5266(03)00082-7)

Hedrich, R., & Kreuzer, I. (2023). Demystifying the Venus flytrap action potential. *New*

Phytologist, 239(6), 2108–2112. <https://doi.org/10.1111/nph.19113>

Hedrich, R., & Neher, E. (2018). Venus Flytrap: How an Excitable, Carnivorous Plant

Works. *Trends in Plant Science*, 23(3), 220–234.

<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2017.12.004>

Hille, B. (1978). Ionic channels in excitable membranes. Current problems and biophysical

approaches. *Biophysical Journal*, 22(2), 283–294. [https://doi.org/10.1016/S0006-3495\(78\)85489-7](https://doi.org/10.1016/S0006-3495(78)85489-7)

Hutchens, J. J., & Luken, J. O. (2009). Prey capture in the Venus flytrap: Collection or

selection? *Botany*, 87(10), 1007–1010. <https://doi.org/10.1139/B09-064>

Lariguet, P., & Dunand, C. (2005). Plant Photoreceptors: Phylogenetic Overview. *Journal of*

Molecular Evolution, 61(4), 559–569. <https://doi.org/10.1007/s00239-004-0294-2>

Lecoufle, M., & Pijoan, M. (2007). *Plantas carnívoras*. Omega.

- Lee, J., & Calvo, P. (2023). The potential of plant action potentials. *Synthese*, 202(6), 176.
<https://doi.org/10.1007/s11229-023-04398-7>
- Luken, J. O. (2005). Habitats of *Dionaea muscipula* (Venus' Fly Trap), Droseraceae, Associated with Carolina Bays. *Southeastern Naturalist*, 4(4), 573–584.
[https://doi.org/10.1656/1528-7092\(2005\)004\[0573:HODMVF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1656/1528-7092(2005)004[0573:HODMVF]2.0.CO;2)
- Mader, S., & Windelspecht, M. (with Carlson, J., Cox, D., Guest, G., & Quiroga, G.). (2019). *Biología* (M. de L. Amador, Trad.; 13a ed.). Mac Graw-Hill. <https://www-ebooks7-24-com.ezbiblio.usfq.edu.ec/stage.aspx?il=9515&pg=&ed=>
- Meisel, L., Urbina, D., & Pinto, M. (2011). Fotorreceptores y respuestas de plantas a señales lumínicas. En *Fisiología vegetal* (Ediciones Universidad de La Serena, pp. 1–10).
 chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.biouls.cl/librofv/web/pdf_word/Capitulo%2018.pdf
- Mogensen, J. F. (2024). Unnatural Selection. *Mother Jones*, 49(2), 26-31,56.
- Núñez, C. I., Fernández Cánepa, G., Vidal Russell, R., & Ezcurra, C. (2019). *Plantas carnívoras en Puerto Blest: Invasiones biológicas y conservación*.
<https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/183725>
- Pachú, J. K. S., Macedo, F. C. O., Malaquias, J. B., Ramalho, F. S., Oliveira, R. F., Godoy, W. A. C., & Salustino, A. S. (2023). Electrical signalling and plant response to herbivory: A short review. *Plant Signaling & Behavior*.
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15592324.2023.2277578>
- Porcel, R. (2020). *Eso no estaba en mi libro de Botánica*. Guadalmazán.
- Qian, Y., Chen, S., Zhang, Z., Bao, G., Ma, M., Wang, K., Liu, C., & Wang, Q. (2024). Characterization and Theoretical Analysis of the Venus Flytrap Trigger Hair. *Applied Sciences*, 14(13). <https://doi.org/10.3390/app14135937>

- Shabala, S. (2006). Non-Invasive Microelectrode Ion Flux Measurements In Plant Stress Physiology. En A. G. Volkov (Ed.), *Plant Electrophysiology: Theory and Methods* (pp. 35–71). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-37843-3_3
- Stein, B. (1876). Insectivorous plants by Charles Darwin. (London, John Murray, Albemarle Street, 1875.). *Österreichische Botanische Zeitschrift*, 26(2), 61–67.
- Sukhova, E., & Sukhov, V. (2021). Electrical Signals, Plant Tolerance to Actions of Stressors, and Programmed Cell Death: Is Interaction Possible? *Plants*, 10(8), Article 8. <https://doi.org/10.3390/plants10081704>
- Tran, D., Dutoit, F., Najdenovska, E., Wallbridge, N., Plummer, C., Mazza, M., Raileanu, L. E., & Camps, C. (2019). Electrophysiological assessment of plant status outside a Faraday cage using supervised machine learning. *Scientific Reports*, 9(1), 17073. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53675-4>
- Trebacz, K., & Sievers, A. (1998). Action Potentials Evoked by Light in Traps of *Dionaea muscipula* Ellis. *Plant & Cell Physiology*, 39(4), 369–372. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a029379>
- Volkov, A. G. (2006). *Plant Electrophysiology: Theory and Methods* | Springer-Verlag: Vol. Vol. 1. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-540-37843-3>
- Volkov, A. G., Adesina, T., Markin, V. S., & Jovanov, E. (2008). Kinetics and Mechanism of *Dionaea muscipula* Trap Closing. *Plant Physiology*, 146(2), 323–324. <https://doi.org/10.1104/pp.107.108241>
- Volkov, A. G., Foster, J. C., Baker, K. D., & Markin, V. S. (2010). Mechanical and electrical anisotropy in *Mimosa pudica* pulvini. *Plant Signaling & Behavior*, 5(10), 1211–1221. <https://doi.org/10.4161/psb.5.10.12658>

- Volkov, A. G., & Markin, V. S. (2015). Active and Passive Electrical Signaling in Plants. In U. Lüttge & W. Beyschlag (Eds.), *Progress in Botany: Vol. 76* (pp. 143–176). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-08807-5_6
- Volkov, A. G., Murphy, V. A., Clemmons, J. I., Curley, M. J., & Markin, V. S. (2012). Energetics and forces of the *Dionaea muscipula* trap closing. *Journal of Plant Physiology*, *169*(1), 55–64. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2011.08.003>
- Wang, T., Sun, Q., Zheng, Y., Xu, Y., Liu, B., & Li, Q. (2024). Effects of Red and Blue Light on the Growth, Photosynthesis, and Subsequent Growth under Fluctuating Light of Cucumber Seedlings. *Plants*, *13*(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/plants13121668>
- Wei, Y., Wang, S., & Yu, D. (2023). The Role of Light Quality in Regulating Early Seedling Development. *Plants*, *12*(14), Article 14. <https://doi.org/10.3390/plants12142746>
- Zhou, J., Yuan, W., Di, B., Zhang, G., Zhu, J., Zhou, P., Ding, T., & Qian, J. (2022). Relationship among Electrical Signals, Chlorophyll Fluorescence, and Root Vitality of Strawberry Seedlings under Drought Stress. *Agronomy*, *12*(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/agronomy12061428>